

**ZALECENIA PROJEKTOWE I TECHNOLOGICZNE
DLA PODATNYCH DROGOWYCH KONSTRUKCJI
INŻYNIERSKICH Z TWORZYW SZTUCZNYCH**

Autorzy opracowania

dr Wiktor Jasiński, mgr inż. Andrzej Łęgosz, mgr inż. Arkadiusz Nowak,
mgr inż. Aneta Pryga - Szulc, doc. dr hab. inż. Adam Wysokowski, prof. UZ

Rysunki

mgr inż. Adam Czerepak

Konsultacja

dr inż. Leszek Janusz
dr inż. Andrzej Kolonko
mgr Wojciech Wika-Czarnowski

Opiniodawcy

Prof. dr hab. inż. Cezary Madryas – Politechnika Wrocławska
Prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski – Politechnika Warszawska

Załącznik do Zarządzenia Nr 30
Generalnego Dyrektora Dróg
Krajowych i Autostrad
z 2 listopada 2006 roku

**ZALECENIA PROJEKTOWE I TECHNOLOGICZNE
DLA PODATNYCH DROGOWYCH KONSTRUKCJI
INŻYNIERSKICH Z TWORZYW SZTUCZNYCH**

ISBN 83-911213-8-0

Żmigród, 2006

SPIS TREŚCI

	Nr strony
1. Wstęp	7
1.1. Przedmiot i cel Zaleceń	7
1.2. Zakres opracowania	8
1.3. Podstawowe określenia używane w Zaleceniach	8
1.4. Rys historyczny i obecny zakres stosowania drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	10
2. Charakterystyka drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	12
2.1. Materiały stosowane do produkcji drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	12
2.1.1. Rury z tworzyw termoplastycznych	12
2.1.2. Rury z duroplastów	13
2.2. Profile ścianek - rodzaje ścianek rur z tworzyw sztucznych	15
2.3. Połączenia rur z tworzyw sztucznych	16
2.4. Sztywność obwodowa rur z tworzyw sztucznych	18
2.5. Klasy odporności ogniowej	18
3. Zasady i metody projektowania drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	20
3.1. Obliczenie światła przepustów z rur z tworzyw sztucznych	20
3.1.1. Przepusty jednootworowe	20
3.1.2. Przepusty wielootworowe	21
3.2. Wymagana długość rury	22
3.3. Dopuszczalne obciążenie użytkowe	23
3.4. Posadowienie konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	23
3.4.1. Podłoże	24
3.4.2. Podsypka	24
3.5. Zasady kształtowania geometrii zasypki wokół konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	27
3.5.1. Zасыпка	27
3.5.2. Nасыпка	27
3.5.3. Wymagana wysokość naziomu	27
3.6. Sposoby zakończenia przepustów z rur z tworzyw sztucznych	28
3.7. Metody obliczeniowe statyczno-wytrzymałościowe rur z tworzyw sztucznych	28
3.7.1. Wprowadzenie	28
3.7.2. Założenia do metod obliczeniowych – podstawowe pojęcia	29

3.7.3	Metoda Skandynawska wymiarowania konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	31
3.7.4	Metoda wymiarowania wg wytycznych niemieckich	39
4	Budowa podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych oraz metody kontroli	44
4.1	Metoda wykopu otwartego	44
4.1.1	Przygotowanie podłoża rury	45
4.1.2	Wykonanie fundamentu z kruszywa	45
4.1.3	Wykonanie podsypki	45
4.1.4	Metody kontroli wskaźnika zagęszczenia i grubości warstw	45
4.1.5	Sposób układania rury	46
4.1.6	Sprzęt ułatwiający montaż	46
4.1.7	Kontrola kształtu dostarczonej rury	46
4.1.8	Zасыpywanie rur z tworzyw sztucznych	47
4.1.9	Obciążenie od ruchu technologicznego	52
4.1.10	Odkształcenie przekroju rury	52
4.2	Metody bezwykopowe	53
4.2.1	Przevierty sterowane	53
4.2.2	Mikrotunelowanie	54
4.2.3	Wiercenia kierunkowe	56
5	Wzmacnianie, przebudowa i wydłużanie istniejących obiektów inżynierskich za pomocą konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych	57
5.1	Wzmacnianie istniejących obiektów inżynierskich za pomocą rur z tworzyw sztucznych	57
5.1.1	Sposoby montażu konstrukcji wzmacniającej	58
5.1.2	Rekonstrukcja otoczenia gruntowego	58
5.1.3	Wypełnienie przestrzeni pomiędzy wzmacnianym obiektem a konstrukcją wzmacniającą	58
5.2	Przebudowa istniejących obiektów inżynierskich na rury z tworzyw sztucznych	59
5.3	Wydłużenie istniejącego obiektu za pomocą rur z tworzyw sztucznych	60
6	Estetyka obiektów inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych	61
	Załącznik	
	Literatura	

1. Wstęp

1.1. Przedmiot i cel Zaleceń

Przedmiotem Zaleceń są wymagania i wytyczne dotyczące projektowania, budowy i remontów obiektów inżynierskich z zastosowaniem konstrukcji podatnych, wykonanych z rur z tworzyw sztucznych o przekroju kołowym, zwanych dalej konstrukcjami podatnymi z rur z tworzyw sztucznych.

Celem Zaleceń jest określenie i ujednoczenie zasad projektowania i realizacji obiektów inżynierskich z zastosowaniem konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych.

Zalecenia są przeznaczone do stosowania przez administrację drogową, jednostki projektowe oraz jednostki wykonawcze w planowaniu, projektowaniu, budowie, nadzorze i utrzymaniu konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych.

Zalecenia dotyczą konstrukcji podatnych z rur wykonanych z tworzyw sztucznych takich jak: polietylen (PE), polipropylen (PP), duroplastów wzmacnianych włóknem szklanym (GRP). Ścianki niektórych rur są odpowiednio wyprofilowane, tj. mają karby, których rozmiary i budowa zależą od zastosowanych przez producenta technologii ich wykonania. Karby spełniają rolę usztywnienia oraz zwiększają współpracę rury z otaczającym je gruntem w przenoszeniu obciążeń.

Zgodnie z § 318 Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie „Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie” (Dz. U. z dnia 3 sierpnia 2000 r.) [1] obiekty inżynierskie powinny być zaprojektowane i wykonane z materiałów niepalnych. Dopuszcza się stosowanie rur z tworzyw sztucznych przy spełnieniu warunków określonych w rozdziale 2.5.

Zalecenia należy stosować łącznie z pozostałymi obowiązującymi przepisami i normami.

Niniejsze „Zalecenia...” powstały m.in. w oparciu o wiedzę zawartą w literaturze zestawionej na końcu pracy. Przy opracowywaniu tych zaleceń korzystano również z doświadczeń przedstawicieli firm, których wyroby stosowane są na terenie Polski. Wszystkim tym osobom autorzy składają serdeczne podziękowania za zaangażowanie i okazaną pomoc w tworzeniu tego opracowania.

1.2. Zakres opracowania

W Zaleceniach omówiono całościowo proces wykonania nowych podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych i remontów istniejących obiektów.

W Zaleceniach zawarto:

- charakterystykę konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych,
- zasady i metody ich projektowania,
- technologię budowy obiektów inżynierskich z rur tworzyw sztucznych oraz metody kontroli,
- technologię wzmacniania, przebudowy i wydłużania istniejących obiektów inżynierskich przy wykorzystaniu konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych,
- zagadnienie estetyki obiektów inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych.

1.3. Podstawowe określenia używane w Zaleceniach

Abrazja – proces mechanicznego niszczenia powierzchni i krawędzi konstrukcji rury, np. przez tarcie wywołane przepływającą wodą i niesionymi przez nią materiałami.

Długość karbu (L_k) – odległość pomiędzy dwoma kolejnymi karbami mierzona wzdłuż stycznej do wierzchołków (rys. 2.3).

Długość rury – odległość pomiędzy skrajnymi krawędziami rury mierzona po dnie wzdłuż osi rury (rys. 3.2).

Fundament z kruszywa – odpowiednio dobrane, ułożone i zagęszczone kruszywo, stanowiące fundament, na którym posadowiona jest rura z tworzyw sztucznych (rys. 1.1).

Grunt nośny – grunt niewysadzinowy zaliczony do grupy nośności G1 [2].

Grunt słabonośny – grunt wątpliwy i wysadzinowy zaliczony do grupy nośności od G2 do G4 [2].

Kąt skrzyżowania – kąt α między osią rury z tworzyw sztucznych (przeszkody), a osią drogi (rys. 3.2).

Nadsypka – warstwa gruntu ułożona bezpośrednio nad zewnętrzną ścianką rury z tworzyw sztucznych (przynajmniej do wysokości 15–30 cm ponad jej górną krawędź), wykonana z kruszywa mrozoodpornego, o frakcji zawierającej się w przedziale 0–40 mm i o nierównomiernym uziarnieniu ($U > 5$).

Podłoże gruntowe - warstwa gruntu rodzimego zalegająca pod fundamentem z kruszywa, jeśli jest stosowany.

Podsypka – warstwa piasku o grubości 5 do 15 cm, ułożona na fundamencie z kruszywa, bezpośrednio pod rurą z tworzyw sztucznych (rys. 1.1).

Przesklepienie gruntu – zjawisko redystrybucji obciążeń, w wyniku którego w kluczu rury następuje redukcja nacisku gruntu na rurę. Polega ono na przejmowaniu określonej części obciążeń przez otaczający rurę grunt i może występować niezależnie od tego, czy konstrukcja jest sztywna czy podatna. Wielkość redukcji nacisku na konstrukcję zagłębioną w gruncie zależy od jej sztywności i wysokości naziomu.

Rury z tworzyw sztucznych – konstrukcje wykonane z tworzywa sztucznego:

- polietylenu wysokiej gęstości (PEHD),
- polipropylenu (PP),
- duroplastów wzmacnianych włóknem szklanym (GRP),

które pod wpływem obciążeń zewnętrznych ulegają dopuszczalnym deformacjom. Rury w trakcie przenoszenia obciążeń współpracują z otaczającym ją gruntem.

Średnica wewnętrzna rury z tworzyw sztucznych (DN) – największy wymiar mierzony pomiędzy wewnętrznymi ściankami rury (rys. 1.1). W tekście operujemy skrótem - średnica.

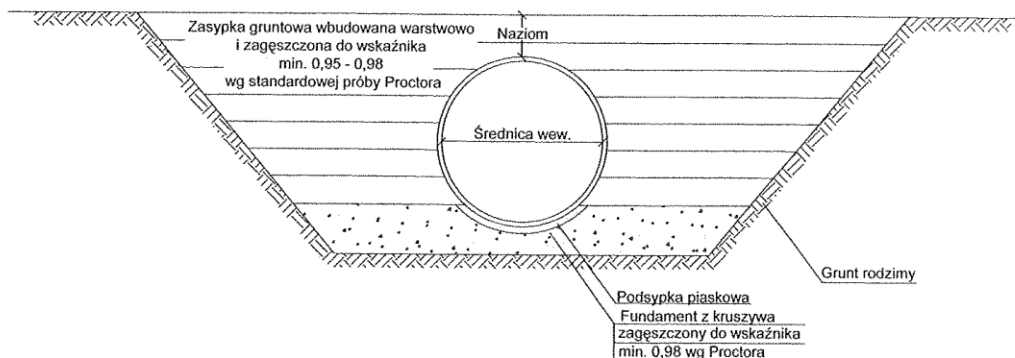
Wyboczenie ścianki rury z tworzyw sztucznych – uszkodzenie ścianki rury w wyniku przekroczenia granicznej wartości obciążenia (ciężar naziomu i obciążenia użytkowego), powodujące trwałą zmianę kształtu przekroju poprzecznego rury.

Wysokość naziomu – pionowa odległość pomiędzy zewnętrzną ścianką rury z tworzyw sztucznych a niweletą drogi, mierzona łącznie z warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni (rys. 1.1).

Względne pionowe ugięcie rury – deformacja rury mierzona w pionie wywołana przez ciężar naziomu, obciążenie użytkowe oraz z warunków technologicznych wykonania przepustu (sposobu montażu i posadowienia).

Zagęszczenie zasypki – proces kontrolowanego zagęszczania gruntu użytego do zasypania rury, wykonywany za pomocą przeznaczonych do tego ręcznych i mechanicznych urządzeń.

Zasyпка gruntowa – odpowiednio dobrany grunt, który zostaje ułożony i zagęszczony wokół rury z tworzyw sztucznych i współpracuje z nią w przeniesieniu obciążeń (rys. 1.1).



Rys. 1.1. Przekrój poprzeczny konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych posadowionej w wykopie otwartym.

1.4. Rys historyczny i obecny zakres stosowania drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

Produkcja rur z polimerów rozpoczęła się w latach 30-tych dwudziestego wieku. W wyniku dynamicznego rozwoju produkcji tworzyw sztucznych (materiałów, których podstawowym składnikiem są wielocząsteczkowe związki nieorganiczne, nazywane polimerami) miał miejsce szybki wzrost różnych zastosowań konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych na całym świecie.

Rury z tworzyw sztucznych współpracują z gruntem, wykorzystując zjawisko przesklepienia, powstającego w gruncie przy przejmowaniu obciążeń. Zadaniem karbu jest zwiększenie sztywności konstrukcji i zwiększenie stopnia współpracy konstrukcji z otaczającym ją gruntem - zasypką. Odcinki rur łączone są ze sobą za pomocą złączek opaskowych, połączenia kielichowego lub poprzez zgrzewanie do projektowanej długości. Rozwiązania takie pozwalają na łatwy, szybki i ekonomiczny montaż konstrukcji.

Wzrost zastosowań konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych w budownictwie komunikacyjnym wiąże się z ich licznymi zaletami, takimi jak [3]:

- dobra odporność na chemiczną agresywność środowiska eksploatacji,
- nietoksyczność,
- dobra odporność na ścieranie,
- szczelność,

- długi okres trwałości (przyjmuje się żywotność dla celów projektowych min. 50 lat),
- brak potrzeby stosowania dodatkowych powłok ochronnych,
- odporność na prądy błędzące,
- dobre właściwości hydrauliczne,
- wysoka elastyczność,
- możliwość stosowania na obszarach szkód górniczych,
- mały ciężar w stosunku do rur o konstrukcji tradycyjnej (betonowych, stalowych),
- łatwy, szybki i nie wymagający dużych nakładów montaż,
- łatwość obróbki mechanicznej i łączenia z rurami i armaturą z innych materiałów.

Rury z tworzyw sztucznych są obecnie powszechnie stosowane w szczególności w budownictwie komunikacyjnym jako:

- przepusty,
- przepusty ekologiczne dla małych zwierząt,
- kanały wentylacyjne,
- rurociągi,
- rury osłonowe,
- kolektory zbiorcze, kolektory deszczowe itp.,
- wykładziny wewnętrzne w technologiach odnowy konstrukcji przepustów i przewodów.

Rury te mogą być stosowane zarówno do budowy nowych, jak i wzmocnienia czy przebudowy istniejących obiektów inżynierskich.

2. Charakterystyka drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

2.1. Materiały stosowane do produkcji drogowych konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

Rury z tworzyw sztucznych produkowane są z tworzyw termoplastycznych lub duroplastów.

2.1.1. Rury z tworzyw termoplastycznych

Do najczęściej stosowanych materiałów z tworzyw termoplastycznych do produkcji rur należy: polietylen (PE) – z tej grupy materiałowej zaleca się stosować tylko odmiany o wysokiej gęstości (PEHD) oraz polipropylen (PP). Tworzywa te charakteryzują się nieuporządkowaną (amorficzną) lub częściowo uporządkowaną (krystaliczną) strukturą wewnętrzną, co ma decydujący wpływ na ich właściwości techniczne i materiałowe. Przykładowe cechy materiałowe zamieszczono w tabelicy 2.1 [3].

Przykładowe cechy tworzyw termoplastycznych do produkcji rur z tworzyw sztucznych [3]

Tablica 2.1

Lp.	Właściwości	Jednostka	Rodzaj materiału	
			PEHD	PP
1	Gęstość	kg/m ³	910 - 930	915 - 965
2	Wytrzymałość na rozciąganie do pkt. płynięcia	MPa	10 - 25	25 - 33
3	Wytrzymałość na rozciąganie do pkt. zerwania	MPa	30	30 - 41
4	Moduł sprężystości E krótkotrwały długotrwały	MPa	600 - >1000 150 - >300	1250 800
5	Wydłużenie do pkt. płynięcia	%	15	15 - 20
6	Wydłużenie do pkt. zerwania	%	300 - 600	800 - 1000
7	Wskaźnik płynięcia	g/10min	0,4 - 1,3	1,3 - 2,4
8	Twardość wg Shora	ShoreD	58 - 65	67 - 72
9	Temperatura mięknięcia	°C	116 - 131	85 - 90
10	Współczynnik przewodności cieplnej (23°C)	W/mK	0,35 - 0,45	0,23
11	Współczynnik rozszerzalności termicznej	K ⁻¹	1,3 - 2,2x10 ⁻⁴	1,5 - 2,3x10 ⁻⁴
12	Rozszerzalność liniowa (20-90°C)	mm/m°C	0,17 - 1,70	0,15
13	Ciepło właściwe (23°C)	J/gK	1,9	2,0

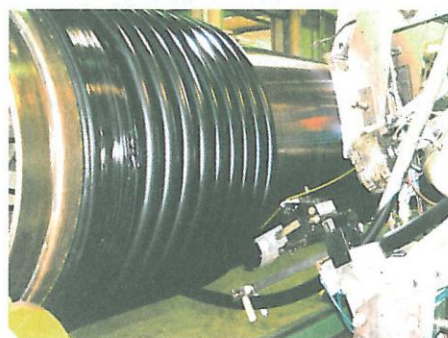
Rury z tworzyw termoplastycznych produkowane są metodą wytłaczania polegającą na przeciskaniu przez głowicę formującą uplastycznionego granulatu

z dodatkami antyutleniaczy, stabilizatorów i pigmentów (PEHD, PP) lub metodą nawijania masy polietylenowej (PEHD) lub polipropylenowej (PP) na obracający się walec stalowy [3] (rys. 2.1).

a)



b)



Rys. 2.1. Produkcja rur z tworzyw termoplastycznych: a) metodą wytłaczania;
b) metodą nawijania.

2.1.2. Rury z duroplastów

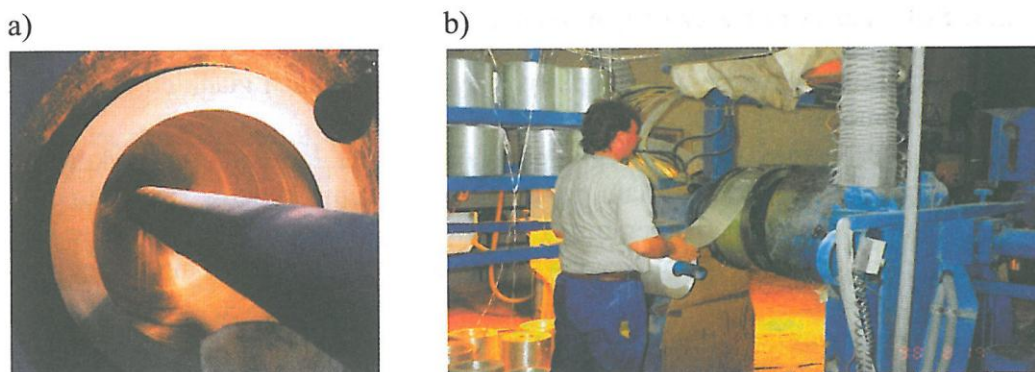
Tworzywa z duroplastów do produkcji rur zaczęto stosować w latach sześćdziesiątych XX wieku. Charakteryzują się one ściśle powiązaną we wszystkich kierunkach wewnętrzną siecią atomową, co ma wpływ na ich cechy materiałowe [3] (tablica 2.2). Po utwardzeniu w wyniku nieodwracalnego procesu sieciowania, tworzywo to nie ulega powtórnemu uplastycznieniu pod wpływem temperatury. W zależności od sposobu utwardzania rozróżnia się duroplasty termoutwardzalne i chemoutwardzalne.

Przykładowe cechy tworzywa GRP do produkcji rur [3]

Tablica 2.2

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość
1	Gęstość	kg/m ³	1600 - 2200
2	Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	50 - 450
3	Maksymalne wydłużenie przy zerwaniu: - obwodowe przy rozciąganiu: początkowe długotrwałe - obwodowe przy zginaniu: początkowe długotrwałe	%	1,4 0,9 1,9 1,2
4	Moduł sprężystości E: - krótkotrwały - długotrwały	MPa	8000 - 24000 5000 - 14000
5	Współczynnik Poissona	-	0,25 - 0,40
6	Odporność na ścieranie (po 400000 cykli obciążeniowych)	mm	0,7
7	Lepkość kinematyczna dla temp.: - 0°C - 10°C	m ² /s	1,79x10 ⁻⁶ 1,31x10 ⁻⁶
8	Maksymalna temperatura robocza (żywica poliestrowa-standard): - stała - krótkotrwała	°C	45 60
9	Współczynnik przewodności cieplnej	W/mK	0,19 - 0,30
10	Współczynnik rozszerzalności termicznej: - w kierunku wzdłużnym - w kierunku obwodowym: rury bezciśnieniowe rury ciśnieniowe	K ⁻¹	0,30x10 ⁻⁴ 0,20x10 ⁻⁴ 0,15x10 ⁻⁴

Przykładem takiego tworzywa jest tworzywo GRP, w skład którego wchodzi żywice poliestrowe, włókno szklane pełniące rolę zbrojenia oraz wypełniacze w postaci węgla wapnia i piasku kwarcowego. Dla konstrukcji o specjalnym przeznaczeniu mogą być także stosowane żywice epoksydowe i winyloestrowe oraz modyfikowane. Rury z GRP wytwarzane są metodą odlewania odśrodkowego lub metodą nawijania (rys. 2.2).

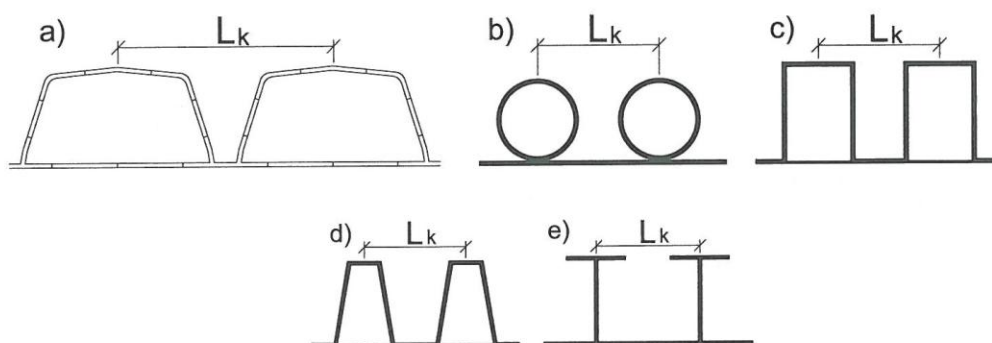


Rys. 2.2. Produkcja rur z tworzywa GRP: a) metodą odlewania odśrodkowego;
b) metodą nawijania.

2.2. Profile ścianek - rodzaje ścianek rur z tworzyw sztucznych

Rury z tworzyw sztucznych mogą być produkowane o zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach gładkich lub o zewnętrznej powierzchni profilowanej i wewnętrznej gładkiej. Rury o ściankach profilowanych charakteryzują się mniejszym ciężarem w stosunku do rur o ściankach gładkich. Do produkcji rur o ściankach profilowanych stosuje się polietylen wysokiej gęstości (PEHD), polipropylen (PP) oraz połączenie obu tych materiałów. Najczęściej stosowane są następujące typy przekrojów ścianek profilowanych (rys. 2.3):

- ścianka o profilu Twin wall,
- ścianka o profilu omega,
- ścianka o profilu prostokątnym,
- ścianka o profilu trapezowym,
- ścianka o profilu teowym.



Rys. 2.3. Najczęściej spotykane typy przekrojów ścianek profilowanych rur z tworzyw sztucznych:

- a) Twin wall; b) omega; c) prostokątny; d) trapezowy; e) teowy.

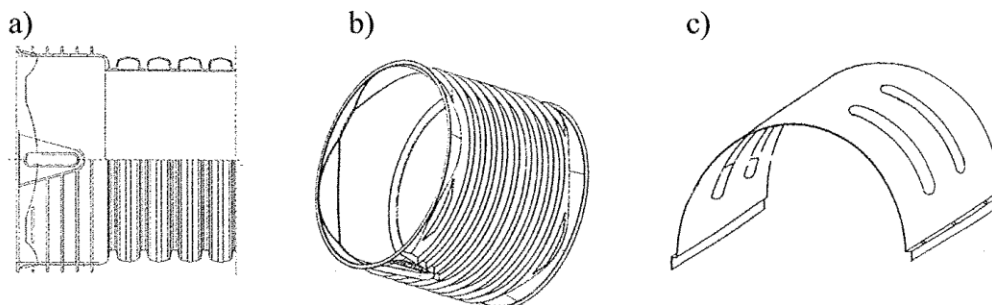
2.3. Połączenia rur z tworzyw sztucznych

Odcinki rur z tworzyw termoplastycznych o ściankach gładkich łączy się ze sobą za pomocą:

- **zgrzewania doczołowego**, polegającego na łączeniu rur wykonanych z tego samego materiału poprzez rozgrzewanie końców tych elementów do wymaganej temperatury i dociśnięcie ich do siebie; wykonuje się to przy pomocy sprzętu zapewniającego stałą kontrolę temperatury i siły docisku,
- **zgrzewania elektrooporowego**, polegającego na łączeniu rur wykonanych z tego samego materiału przy użyciu odpowiednich muf, kształtek lub opasek rozgrzewanych ciepłem wydzielanym przez prąd płynący w umieszczonym w nich drucie oporowym,
- **zgrzewania za pomocą mufy termokurczliwej**, polegającego na łączeniu rur wykonanych z tego samego materiału poprzez nagrzanie zewnętrznej części rury i wewnętrznej powierzchni mufy do temperatury zgrzewania, a następnie ich zespoleniu poprzez docisk,
- **spawania ekstruderem**, polegającego na łączeniu rur za pomocą rozgrzanej masy tworzywa,
- **połączenia kielichowego** polegającego na łączeniu elementów poprzez wsunięcie bosego końca w kielich z uszczelką elastomerową zamontowaną w jego wnętrzu.

Odcinki rur z tworzyw termoplastycznych o ściankach profilowanych, łączy się ze sobą za pomocą (rys. 2.4):

- połączenia kielichowego,
- dwuzłączki,
- łączników z tworzywa termoplastycznego,
- łączników stalowych, powlekanych,
- łączników mufowych,
- spawania ekstruderem.

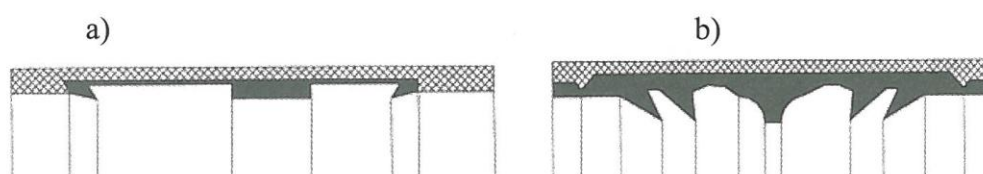


Rys. 2.4. Sposoby łączenia rur z tworzyw termoplastycznych o ściankach profilowanych: a) połączenie kielichowe; b) dwuzłączka; c) łącznik.

Odcinki rur z duroplastów (GRP) łączy się ze sobą za pomocą (rys. 2.6):

- łączników standardowych,
- laminatów z mat szklanych i żywicy poliestrowej,
- łączników specjalnych.

Łączniki standardowe wykonywane są z elementów poliestrowych zbrojonych włóknem szklanym z zamontowaną uszczelką elastomerową. Przykładowe rozwiązania kształtu uszczelki elastomerowej w łączniku standardowym przedstawiono na rys. 2.5. Łączniki standardowe montowane są na jednym z końców rur. Do przecisków i mikrotunelowania stosowane są łączniki wykonane z GRP lub stali nierdzewnych, których zewnętrzna średnica odpowiada zewnętrznej średnicy rury.



Rys. 2.5. Przykładowe rozwiązania rozmieszczenia uszczelki elastomerowej w łączniku standardowym: a) asymetrycznym, b) symetrycznym.

Laminaty z mat szklanych i żywicy poliestrowej nakładane są ręcznie lub w sposób nawojowy na odcinki konstrukcji, w miejscu gdzie nie można zastosować innego rodzaju połączenia.

Do zastosowań specjalnych, wykorzystywane są indywidualne systemy połączeń, przystosowane do pracy w różnych warunkach otoczenia. Wykonane one mogą być zarówno z tworzywa GRP jak i ze stali oraz innych materiałów w zależności od warunków i potrzeb.



Rys. 2.6. Sposoby łączenia rur z duroplastów (GRP): a) łącznik standardowy; b) laminat z mat szklanych i żywicy poliestrowej; c) łącznik specjalny typu Key Lock.

2.4. Sztywność obwodowa rur z tworzyw sztucznych

Sztywność przekroju rury charakteryzowana jest najczęściej parametrem określanym w specjalistycznej literaturze jako tzw. sztywność obwodowa. Zależy ona od wymiarów geometrycznych (średnicy, grubości i typu ścianki) oraz od właściwości wytrzymałościowych materiału konstrukcyjnego (modułu sprężystości materiału rury E). W przypadku rur wyprodukowanych z najczęściej stosowanych termoplastów tzn. PEHD i PP sztywność obwodowa oznaczana jest symbolem SN lub S_R .

Sztywność obwodową SN wyznacza się zgodnie z PN-EN ISO 9969 [4] wg wzoru (2.1), a S_R wyznacza się zgodnie z DIN 16961-2 [5] wg wzoru (2.2).

$$SN = \frac{E \cdot J}{D^3} \quad (2.1)$$

$$S_R = \frac{E \cdot J}{r^3} \quad (2.2)$$

gdzie: J – jednostkowy moment bezwładności ścianki rury,

$$J = \frac{s^3}{12} \quad (2.3)$$

D – średnica w środku grubości ścianki rury [m],

s – grubość ścianki rury [m],

r – promień rury $D/2$ [m],

E – moduł sprężystości materiału rury [MPa].

Dla rur wykonanych z duroplastów sztywność obwodową wyznacza się wg DIN 53769-3 [6]. Sztywność obwodową na podstawie tych norm wyznacza się doświadczalnie wg szczegółowo opisanych procedur.

W przedstawionej dalej Metodzie Skandynawskiej [7] projektowania rur z tworzyw sztucznych, sztywność obwodową SN wyznacza się wg wzoru 2.1. Według niemieckich wytycznych ATV-DVWK-A127P „Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych” [8], sztywność obwodową rury S_R wyznacza się wg wzoru 2.2.

2.5. Klasy odporności ogniowej

Konstrukcje podatne wykonane z rur z tworzyw sztucznych powinny mieć odpowiednie orzeczenie klasyfikacyjne wydane na podstawie wyników badań przeprowadzonych wg Procedury Badawczej PB/BM/3 [9] w akredytowanym

przez Polskie Centrum Akredytacji laboratorium badawczym [10]. Orzeczenie to w zależności od wielkości współczynników zapłonu „i” oraz spalania „c” zalicza materiały użyte do wykonania tych rur do następujących klas:

- klasa odporności ogniowej A – ($i = 0$ i $c \leq 0,5$),
- klasa odporności ogniowej B – ($i \leq 0,5$ i $c \leq 0,5$),
- klasa odporności ogniowej C – ($i > 0,5$ lub $c > 0,5$).

Konstrukcje podatne wykonane z rur z tworzyw sztucznych o średnicy $DN \leq 1200$ mm powinny być wykonane z materiałów w klasie odporności ogniowej A, B lub C. Konstrukcje podatne wykonane z rur z tworzyw sztucznych o średnicy $DN > 1200$ mm powinny być wykonane tylko z materiałów w klasie odporności ogniowej A.

Niezależnie od klasy odporności ogniowej użytego materiału, wlot i wylot podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych należy wykonać w formie:

- obetonowania,
- umocnienia kostką brukową (kamienną, betonową),
- umocnienia z kamieni łamanych,
- umocnienia płytami betonowymi,
- wbudowania gabionów,

oraz zabezpieczenie koryta cieku w wlocie i wylocie na długości min. 5 m, według jednego z powyższych sposobów.

Przykłady zastosowania umocnień ścianek czołowych jak wyżej, pokazano w rozdziale 6 „Estetyka obiektów inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych”.

3. Zasady i metody projektowania drogowych konstrukcji podatnych wykonanych z rur z tworzyw sztucznych

Istotą konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych przy przenoszeniu obciążeń, jest ich współdziałanie z otaczającą zasypką gruntową poprzez wykorzystanie, tzw. zjawiska przesklepienia. Przepusty rurowe z tworzyw sztucznych poddane są, jak wszystkie inne obiekty inżynierskie, działaniom obciążeń stałych oraz zmiennych.

Obciążenia stałe to otaczający rurę z tworzyw sztucznych ciężar gruntu łącznie z warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni drogowej. Ciężar własny rury z tworzyw sztucznych, jako relatywnie mały, jest pomijalny. Obciążenie zmienne powinno być przyjmowane zgodnie z obowiązującymi normami [11].

Obiekty inżynierskie z rur z tworzyw sztucznych wymiaruje się w stanach granicznych nośności i użytkowania.

3.1. Obliczenie światła przepustów z rur z tworzyw sztucznych

Przy projektowaniu podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych jako przepustów służących do przeprowadzenia, np.: wód opadowych i roztopowych przez nasyp drogowy należy postępować zgodnie z obowiązującymi wytycznymi i przepisami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [1] oraz w oparciu o opracowanie „Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z komentarzem i przykładami” [12].

3.1.1. Przepusty jednootworowe

Średnicę rury należy dobrać na podstawie obliczeń hydraulicznych (zgodnie z Rozporządzeniem [1]), w zależności od spodziewanego przepływu wody. Zalecana minimalna średnica wewnętrzna rury wynika z konieczności odpowiedniego utrzymania wnętrza przepustu oraz ryzyka formowania się zatorów lodowych. Przepusty mogą pracować jako zatopione (przepływ pod ciśnieniem) lub przy swobodnym przepływie wody. W przypadku pracy pod ciśnieniem wymagane jest specjalne zabezpieczenie wlotu i wylotu przed rozmywaniem.

W celu określenia światła obiektu należy obliczyć przepływ miarodajny. Do obliczania wielkości przepływu miarodajnego zaleca się stosowanie wzoru Manninga:

$$Q = \frac{A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (3.1)$$

gdzie:

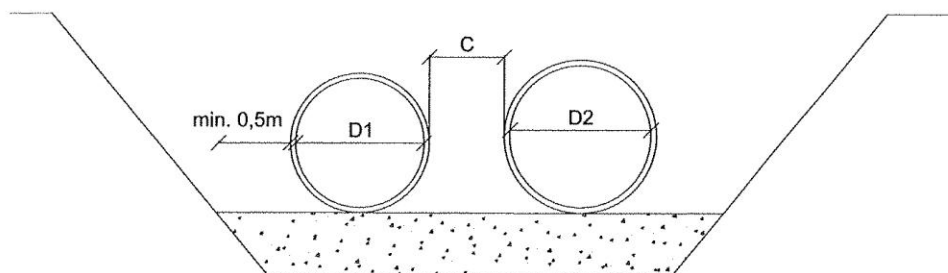
- n – współczynnik szorstkości [-],
- A – pole przekroju poprzecznego rury [m^2],
- R_h – promień hydrauliczny przekroju [m],
- I – spadek hydrauliczny zwierciadła wody w cieku [-].

Współczynnik szorstkości n można przyjmować zgodnie z wartościami deklarowanymi przez producentów rur z tworzyw sztucznych. Najczęściej mieści się on w przedziale od 0,007 do 0,014.

Pozostałe obliczenia prowadzące do określenia światła przepustów rurowych z tworzyw sztucznych należy prowadzić zgodnie z zasadami podanymi w pracy [12].

3.1.2. Przepusty wielootworowe

W przypadku projektowania przepustów wielootworowych, tzn. kiedy zasypywane rury ułożone są równoległe względem siebie, należy pamiętać o zapewnieniu odpowiedniej odległości między nimi, pozwalającej na właściwe zagęszczenie gruntu. Wymagane minimalne odległości pomiędzy rurami podano na rys 3.1.



jeżeli $D \leq 0,6$ m	to	$C \geq 0,3$ m,
jeżeli $0,6 < D \leq 1,8$ m	to	$C \geq D/2$,
jeżeli $D > 1,8$ m	to	$C \geq 0,9$ m.

Rys. 3.1. Odstęp między rurami ułożonymi w tym samym wykopie.

Jeżeli, w tym samym wykopie instalowane są równoległe dwie rury lub więcej, to odstęp między nimi (C) powinien być taki jak pokazano na rys. 3.1. Odległość między rurą, a ścianą wykopu powinna być nie mniejsza niż 0,5 m ze względu na możliwość zagęszczenia zasyпки.

Zaleca się, aby rury o różnych średnicach (D_1 , D_2) układane w tym samym wykopie, były posadowione na tej samej głębokości. Jeżeli to nie jest możliwe, to wówczas całą przestrzeń od dna wykopu do spodu wyżej położonej rury należy wypełnić zasypką typu G1. Przestrzeń ta musi być odpowiednio zagęszczona (min. 98% wg standardowej próby Proctora).

Wysokość przykrycia do 4 m:

$$C \geq (D_1 + D_2)/6$$

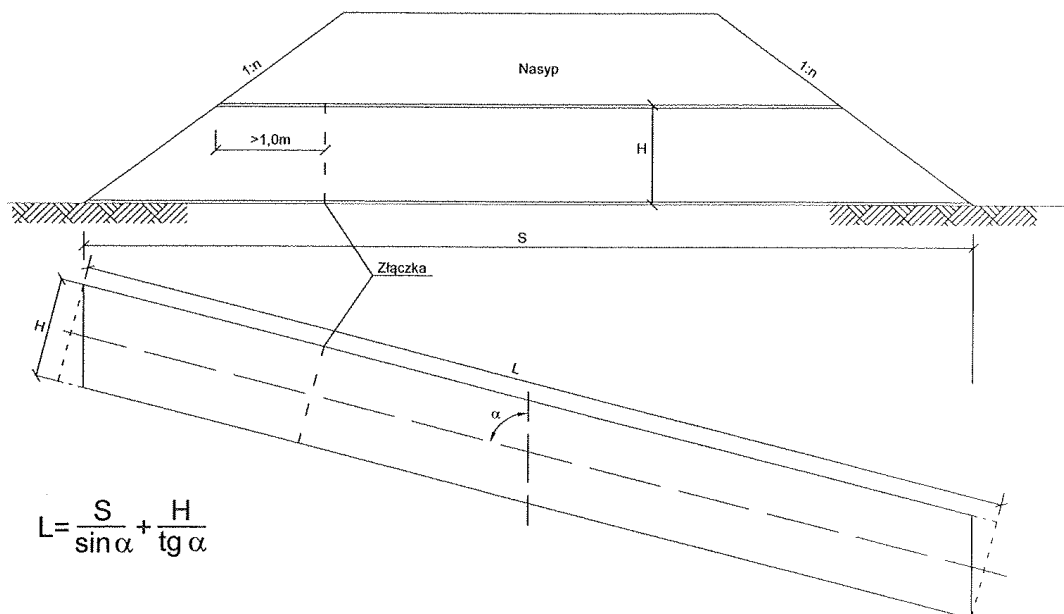
Wysokość przykrycia ponad 4 m:

$$C \geq (D_1 + D_2)/4$$

W każdym z wymienionych wariantów przestrzeń pomiędzy rurami powinna być wystarczająca do umieszczenia i zagęszczenia zasyпки.

3.2. Wymagana długość rury

Długość rury należy dostosować do projektowanej długości przepustu. Przy ustaleniu długości rury należy brać pod uwagę konieczność ścięcia końców zgodnie z kątem pochylenia skarpy nasypu oraz uwzględnić kąt przecięcia przepustu z osią drogi. Przykładowy sposób określenia długości rury pokazano na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Sposób wyznaczenia niezbędnej długości rury.

Jeżeli długość całkowita przepustu rurowego przekracza handlową długość rury, to należy przewidzieć łączenie rur na długości obiektu. Sposób łączenia rur, przy zastosowaniu opasek zaciskowych, pokazano na rys. 2.4.

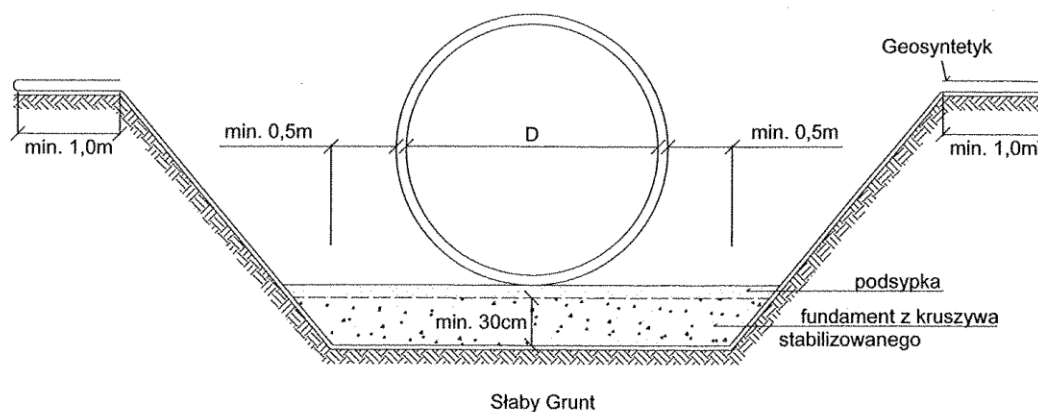
Jeśli przepust pracuje pod ciśnieniem (jako przepust zatopiony), zaleca się stosowanie rury w jednym odcinku (jeśli to możliwe). Długość końcowego odcinka rury, mierzona w najkrótszym miejscu (rys. 3.2), nie powinna być mniejsza od 1 m.

3.3. Dopuszczalne obciążenie użytkowe

Konstrukcje podatne z rur z tworzyw sztucznych o sztywności obwodowej nie mniejszej niż 8 kN/m^2 (oznaczonej wg PN-EN ISO 9969:1997 [4]) mogą być wykonywane pod wszystkimi rodzajami dróg kołowych. Należy jednak pamiętać, że obciążenia ruchome nie mogą przekroczyć maksymalnych nacisków określonych w normie PN-85/S-10030 [11] oraz, że rura z tworzyw sztucznych musi spełniać wszystkie wymagania związane z procesem jej wykonania, które zawiera Aprobata Techniczna IBDiM.

3.4. Posadowienie konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

Konstrukcje podatne z rur z tworzyw sztucznych mogą być układane w gruncie dowolnego typu, przy spełnieniu wymagań nośności podłoża (w oparciu o stosowne badania geologiczno – inżynierskie).



Rys. 3.3. Sposób układania rury na gruncie słabonośnym.

3.4.1. Podłoże

Nośność podłoża gruntowego jest wystarczająca, jeśli gwarantuje ona stateczność wykonanej na nim konstrukcji drogi lub nasypu. Minimalna nośność podłoża, na którym ma zostać posadowiona rura, jest określona w normie PN-S-02205:1998 [13]. W przypadku, gdy warunek nośności podłoża nie jest spełniony, należy zaprojektować jego wzmocnienie, np. przez:

- zastosowanie geosyntetyków,
- zwiększenie grubości fundamentu z kruszywa,
- wymianę gruntu w przypadkach koniecznych,
- inną skuteczną metodę uzyskania podłoża nośnego.

Jeżeli grunt rodzimy spełnia wymagania kategorii nośności G1 wg ATV-DVWK-A127P [8] to może być traktowany jako podłoże do bezpośredniego posadowienia rury. Dla pozostałych kategorii nośności gruntu wymagane jest wykonanie ławy fundamentowej z kruszywa ze wzmocnieniem, w uzasadnionych przypadkach, materiałami geosyntetycznymi (geowłókniną lub geotkaniną) – zgodnie z rys. 3.3 (klasę geosyntetyku należy dobrać indywidualnie).

Do budowy ławy fundamentowej z kruszywa należy używać gruntów dobrze uziarnionych ($U > 5$), zagęszczalnych, wodoprzepuszczalnych, niespoistych i mrozoodpornych, które spełniają wymagania nośności. Wielkość frakcji kruszywa powinna się mieścić w przedziale 0–32 mm.

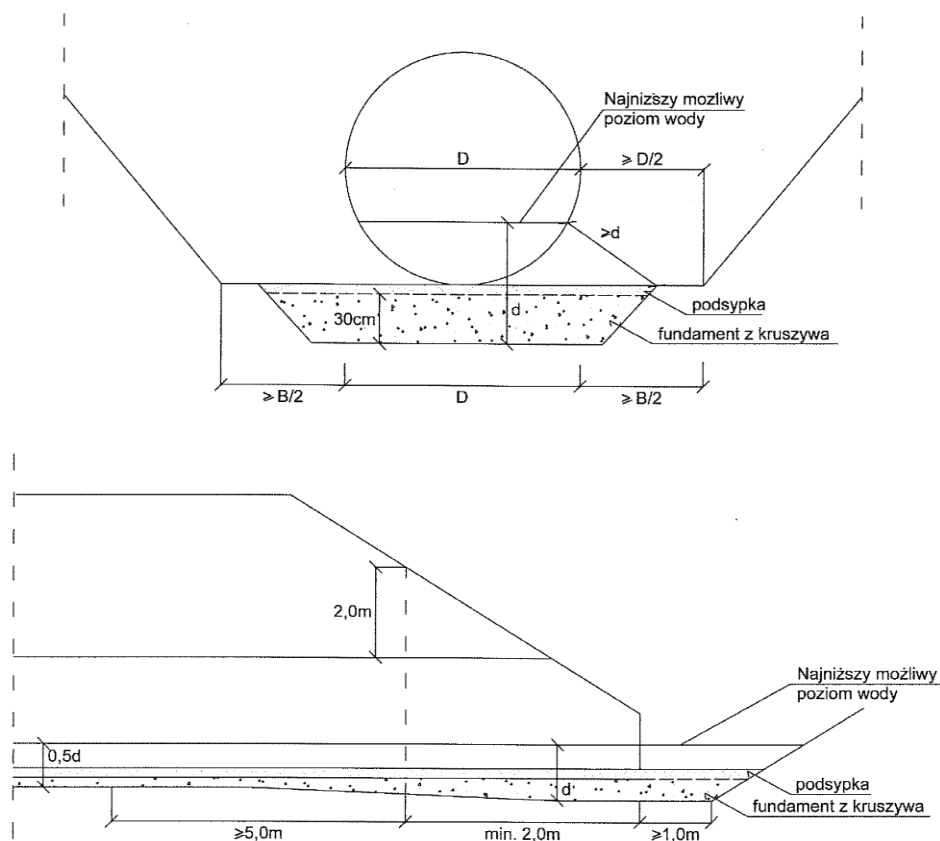
Alternatywnym rozwiązaniem może być wykonanie ławy fundamentowej z gruntu stabilizowanego cementem (w ilości 100 – 120 kg/m³). Górna warstwa podłoża musi być wyrównana z dokładnością do ± 2 cm i musi mieć nadany odpowiedni spadek zgodnie z kierunkiem przepływu cieku. Podłoże pod rurą należy ukształtować w kierunku poprzecznym i wzdłużnym zgodnie z rys. 3.4. Wymagane wielkości spadków podłużnych należy dostosować do aktualnie obowiązujących norm i przepisów.

Zabrania się układania rur z tworzyw sztucznych bezpośrednio na wszelkiego rodzaju fundamentach sztywnych, w tym na podłożu skalistym. W takim przypadku należy wykonać poduszkę z gruntu zagęszczalnego (piaski, żwiry, itp.) o grubości min. 20cm. Rury układać można dopiero na tak wykonanej poduszce gruntowej.

3.4.2 Podsypka

Podsypka znajdująca się bezpośrednio pod rurą musi być wykonana z materiału niespoistego, zagęszczalnego, mrozoodpornego, wodoprzepuszczalnego i wolnego od części organicznych. Na podsypkę należy używać piasku o maksymalnej średnicy ziaren kruszywa do 2 mm. Minimalna grubość podsypki

musi wynosić 15 cm; w miejscu spodziewanej złączki (bezpośrednio pod złączką) minimum 10 cm. Górna warstwa podsypki, miąższości min. 5 cm, musi być ułożona luźno tak, aby karby rury mogły się w niej swobodnie zagłębić. Dolną warstwę podsypki należy zagęścić. Wymagany wskaźnik zagęszczenia 0,98 wg standardowej próby Proctora normalnego.



Rys. 3.4. Sposób ukształtowania podłoża pod rurą z tworzyw sztucznych.

Rury z tworzyw sztucznych posadowione są najczęściej na:

- ławach fundamentach z kruszywa (wskaźnik zagęszczenia $I_D \geq 0,98$ wg standardowej próby Proctora),
- ławach z gruntu stabilizowanego cementem,

z ewentualnym wzmocnieniem ławy geosyntetykiem, w przypadku słabej nośności gruntu rodzimego.

Wymagania jakie powinien spełniać geosyntetyk ustala się indywidualnie, na podstawie analizy nośności istniejącego podłoża. Minimalne, zalecane parametry geosyntetyku to:

- wskaźnik CBR ≥ 2 kN (dla geotkanin i geowłóknin),
- umowny wymiar porów $O_{90} \leq 0,15$ mm (dla geowłóknin),
- wytrzymałość na rozciąganie w obu kierunkach dla geosiatek, min. 20 kN/m,

Szczegółowe zasady wykonania fundamentów z kruszywa opisano w punkcie 4 niniejszych Zaleceń.

3.5. Zasady kształtowania geometrii zasypki wokół konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

3.5.1 Zasypka

Zasypkę dzielimy na dwa obszary: obszar ograniczony dolną ćwiartką koła i obszar znajdujący się bezpośrednio nad nim w otoczeniu rury ograniczony od góry nadsypką. Materiał na zasypkę w obszarze ograniczonym dolną ćwiartką koła (rys. 4.3) musi mieć takie same parametry jak podsypka. Materiał na pozostałą część zasypki powinien mieć parametry nie gorsze niż materiał stosowany do budowy nasypu drogowego. Zasypka powinna wykaczać poza obrys rury na minimalną szerokość równą połowie jej średnicy w każdą ze stron (rys. 4.3), nie mniej jednak niż 0,5 m.

Prawidłowy sposób ukształtowania zasypki opisano w punkcie 4.1.8 niniejszych Zaleceń.

3.5.2 Nadsypka

Nadsypkę nad rurą należy wykonać z kruszywa mrozoodpornego, o frakcji zawierającej się w przedziale 0–40 mm i o nierównomiernym uziarnieniu ($U > 5$) na całej szerokości, przynajmniej do wysokości 15–30 cm ponad jej górną krawędź. Mogą to być mieszanki: żwirowe lub żwirowo — kłińcowe (materiał użyty do wykonania nadsypki powinien mieć parametry nie gorsze niż zasypka gruntowa). Wymagane jest, by maksymalna średnica ziaren kruszywa układanego bezpośrednio na rurze nie przekraczała wielkości skoku karbu zewnętrznego.

3.5.3 Wymagana wysokość naziomu

Jeśli nadsypka została wykonana zgodnie z wymaganiami opisanymi powyżej, to wysokość naziomu uzależniona jest od średnicy rury. Dla rur o średnicy od 600 do 1000 mm powinna wynosić nie mniej niż 0,50 m. Dla rur o średnicy > 1000 mm wysokość naziomu powinna wynosić nie mniej niż 0,5 średnicy rury. Dla pozostałych średnic rur minimalna wysokość naziomu powinna wynieść 0,30 m. Na zjazdach do posesji dopuszcza się 0,20 m.

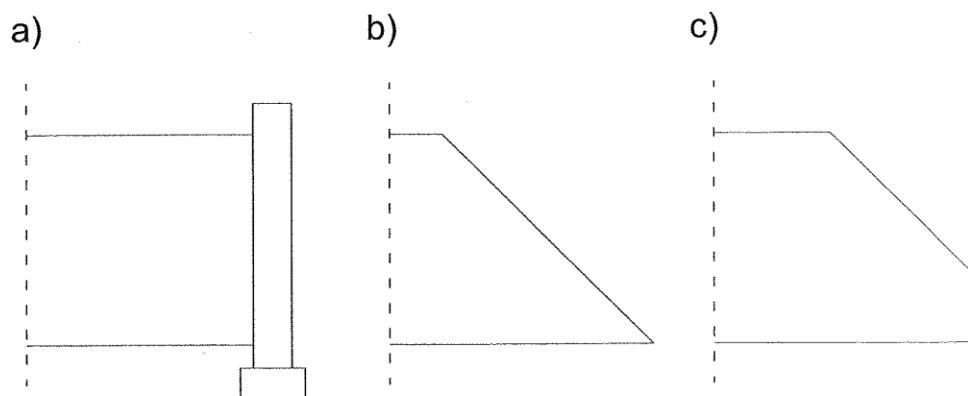
W przypadku, gdy warstwy konstrukcyjne nawierzchni są grubsze niż zalecana minimalna wysokość naziomu, dopuszcza się zmniejszenie grubości nadsypki nad rurą do 0,1 m (to musi być poparte obliczeniami statycznymi).

Dla wszystkich typów rur z tworzyw sztucznych istnieje możliwość zmniejszenia wysokości naziomu przy jednoczesnym zastosowaniu żelbetowej płyty odciążającej lub wzmocnienia nadsypki geosiatką o sztywnych węzłach (minimalna wytrzymałość w obu kierunkach 20 kN/m). Redukcję sił wewnętrznych należy określić indywidualnie dla każdego przypadku.

3.6. Sposoby zakończenia konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

Możliwe są następujące rodzaje zakończeń konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych (rys. 3.5):

- rura przycięta pod kątem prostym z licowaniem ścianką czołową,
- ścięcie rury zgodnie z pochyleniem skarpy wraz z jej umocnieniem,
- ukośne ścięcie rury zakończone pionowym odcinkiem z umocnieniem np. palisadą z pali drewnianych.



Rys. 3.5. Schematy zakończeń rur z tworzyw sztucznych.

W zależności od tego czy rura jest zakończona prosto, czy ścięta zgodnie z pochyleniem skarpy, różne jest wykończenie wlotu i wylotu obiektu (tzw. głowice). W przypadku rur zakończonych prosto, można wykonać ścianki czołowe z: betonu, kamienia, cegły lub gabionów.

Dla rur ściętych zgodnie z pochyleniem skarpy konieczne jest wykończenie skarpy przez, np.: brukowanie, obudowanie gabionami lub obsianie trawą (patrz rozdz. 6: „Estetyka obiektów inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych”).

3.7. Metody obliczeniowe statyczno-wytrzymałościowe rur z tworzyw sztucznych

3.7.1. Wprowadzenie

Podstawową trudnością napotykaną przy projektowaniu podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych jest wyznaczenie wielkości oraz rozkładu obciążeń działających na ich powierzchnię zewnętrzną. Trudności te wynikają z losowego i reologicznego charakteru czynników mających wpływ na pracę rury zagłębionej w ośrodku gruntowym [14,15]. Powoduje to występowanie znacznych rozbieżności pomiędzy wynikami

otrzymywanymi podczas analiz teoretycznych oraz badań eksperymentalnych. Trudna do osiągnięcia jest także powtarzalność badań doświadczalnych [16,17]. Konsekwencją tego stanu jest m.in. brak polskiej normy, dotyczącej obliczania obciążeń działających na rury z tworzyw sztucznych.

Analiza pracy rury zagłębionej w gruncie prowadzona jest zwykle przy założeniu płaskiego stanu odkształceń. Takie założenie zawiera pewne uproszczenie polegające na przyjęciu, że rura nie pracuje w kierunku podłużnym. Nie jest to wprawdzie w pełni zgodne ze stanem faktycznym, ale w większości przypadków takie uproszczenie jest możliwe do przyjęcia. Dotyczy to szczególnie rur z tworzyw sztucznych.

W kraju w praktyce najczęściej stosowane są dwie metody obliczeniowe. Metoda zawarta w niemieckich wytycznych ATV-DVWK-A127P „Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych” [8], przydatna dla rur ze wszystkich materiałów konstrukcyjnych oraz tzw. Metoda Skandynawska przeznaczona dla rur z tworzyw termoplastycznych, opisana w pracy Larsa-Ericka Jonsona oraz Jana Molina „Projektowanie i wykonawstwo sieci zewnętrznych z tworzyw sztucznych” [7].

W niniejszym opracowaniu zaleca się stosowanie Metody Skandynawskiej do wymiarowania podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych, przy adaptacji na obciążenia wg PN-85/S-10030 [11].

3.7.2 Założenia do metod obliczeniowych – podstawowe pojęcia

Rury sztywne wykonane z takich tradycyjnych materiałów jak: beton, żelbet, kamionka, zagłębione w gruncie praktycznie nie odkształcają się pod wpływem działających na nie obciążeń. Brak deformacji przekroju sprawia, że rozkład obciążeń charakteryzuje się dużymi koncentracjami w górnej i dolnej strefie rury szczególnie, gdy grunt został słabo zagęszczony w strefach bocznych wykopu. Taki rozkład obciążeń jest bardzo niekorzystny, ponieważ momenty zginające w najbardziej wyężonych przekrojach przyjmują wtedy wartości bardzo duże, przy czym stan maksymalnych koncentracji obciążeń występuje bezpośrednio po zasypaniu wykopu i usunięciu jego obudowy.

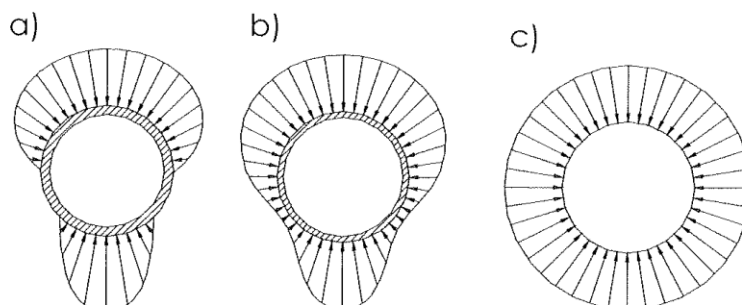
Inaczej zachowują się rury z tworzyw sztucznych ułożone w wykopach. Dzięki swojej podatności współdziałają one z otaczającym je ośrodkiem gruntowym przy przenoszeniu obciążeń. Dlatego właśnie przy wymiarowaniu takich obiektów inżynierskich nie rozpatruje się pracy samych rur, lecz analizuje pracę układu rura - ośrodek gruntowy. Rozkłady obciążeń działających na takie rury charakteryzują się dużą równomiernością, a wywołane nimi rozkłady sił wewnętrznych są bardzo korzystne dla analizowanej rury, ponieważ wartości ekstremalnych momentów zginających wyraźnie się zmniejszają w stosunku do odpowiednich wielkości występujących w rurach sztywnych.

Współpraca układu rura - ośrodek gruntowy

Podstawą współpracy (interakcji) układu rura - ośrodek gruntowy jest deformacja przekroju obciążonej rury i odpowiadająca jej reakcja gruntu. Pod wpływem nacisków pionowych pierwotny przekrój kołowy przekształca się w elipsę, co wiąże się z powiększeniem średnicy poziomej rury. Oczywiście jest, że na ugięcie obciążonej rury wpływ ma jej sztywność charakteryzowana tzw. sztywnością obwodową. Odształcanie się rury nie jest jednak procesem swobodnym, gdyż ośrodek gruntowy otaczający rurę z tworzyw sztucznych ogranicza wielkość deformacji przekroju (wydłużania się średnicy poziomej). Ograniczenie to jest tym większe im sztywniejszy jest grunt w strefach bocznych rury, co zależy od rodzaju gruntu i od stopnia jego zagęszczenia. Odpowiedzią na nacisk stref bocznych rury na grunt jest parcie bierne, czyli odpór gruntu.

Tak więc w danych do wyznaczania obciążenia, wartość odształcenia zagłębionej rury z tworzyw sztucznych o określonych wymiarach jest zależna nie tylko od parametrów wytrzymałościowych materiału konstrukcyjnego, ale także od parametrów wytrzymałościowych otaczającego ją gruntu.

Opisana współpraca konstrukcji rury z otaczającym go ośrodkiem gruntowym ma decydujący wpływ na rozkład obciążeń działających wokół przekroju zagłębionej rury. Na rys. 3.6 przedstawiono schematy rozkładów obciążeń wg Dreschera [18] rury sztywnej, sprężystej i idealnie podatnej w jednakowych warunkach ich ułożenia i przy jednakowym obciążeniu.



Rys. 3.6 Rozkłady obciążeń rury: a) sztywnej, b) sprężystej, c) idealnie podatnej w jednakowych warunkach ułożenia i obciążenia.

Modele zniszczenia

Rura z tworzyw sztucznych może ulec zniszczeniu w wyniku:

- uplastycznienia ścianki (w tym pod wpływem czynnika termicznego),
- wyboczenia ścianki,
- utraty nośności gruntu otaczającego rurę podatną poprzez jego odspojenie (poślizg), co w konsekwencji może doprowadzić do wyboczenia lub uplastycznienia ścianki.

Kryteria wymiarowania

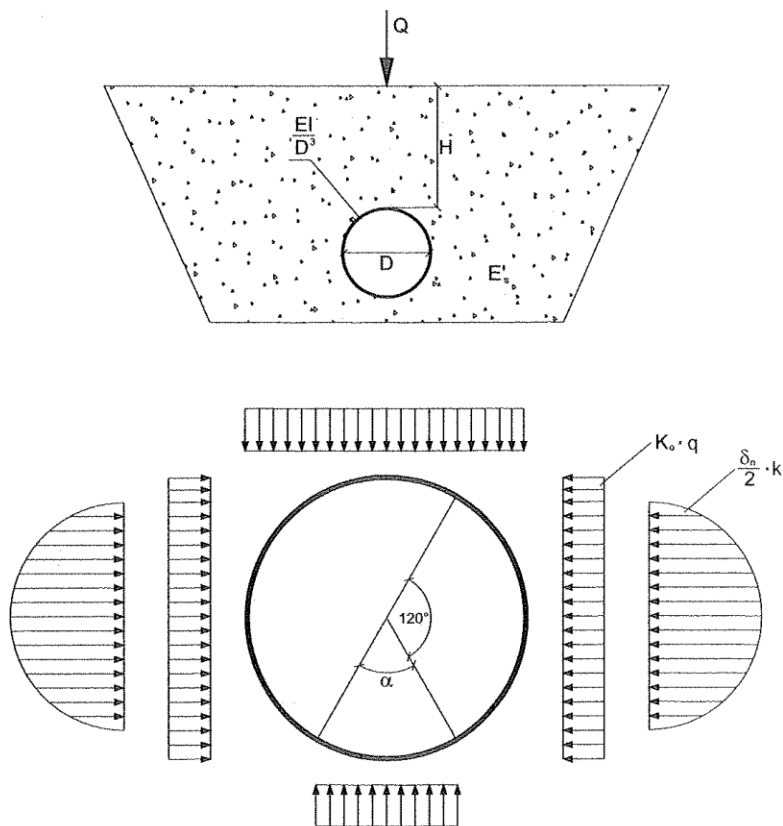
Podstawą doboru rur z uwzględnieniem warunków ich posadowienia i obciążenia jest wymiarowanie, po przeprowadzeniu którego możemy ocenić rzeczywiste bezpieczeństwo analizowanej budowli.

W przypadku zagłębionych w gruncie rur sztywnych wykonanych najczęściej z takich tradycyjnych materiałów jak: żeliwo, beton, żelbet i kamionka podstawowym kryterium wymiarowania są naprężenia dopuszczalne lub siła niszcząca definiowana przez producenta. Te wielkości graniczne porównujemy z wielkościami rzeczywistymi występującymi w analizowanym przypadku. Na tej podstawie oceniamy bezpieczeństwo rury w założonych warunkach ułożenia i obciążenia.

Inaczej wymiarujemy rury z tworzyw sztucznych, których cechy wytrzymałościowe charakteryzowane są zwykle przez producenta sztywnością obwodową SN. Sztywność obwodową SN należy traktować jedynie jako parametr pomocniczy przy doborze rur przez projektantów. W tym przypadku podstawowym kryterium wymiarowania jest wartość względnego pionowego ugięcia rury oraz sprawdzenie stateczności przekroju na wyboczenie. Dopuszczalne wartości takiego względnego pionowego ugięcia rury wg wytycznych ATV–DVWK–A127P [8] i Metody Skandynawskiej [7] przy obciążeniu długotrwałym wynoszą 6,0 %. Projektant może przyjąć wartość mniejszą, jeżeli wymaga tego nawierzchnia drogowa.

3.7.3. Metoda Skandynawska wymiarowania konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

Metoda Skandynawska (MS) opisana w pracy [7] jest metodą analityczną opracowaną dla przeprowadzania obliczeń statyczno-wytrzymałościowych rur z tworzyw sztucznych (termoplastów) zagłębionych w gruncie. Metoda została opracowana dla przewodów kanalizacyjnych i po uwzględnieniu korekt w zakresie modułu siecznego gruntu, może być stosowana do projektowania przepustów z rur z tworzyw sztucznych. Dane geometryczne potrzebne do przeprowadzenia obliczeń oraz model rozkładu obciążeń przyjmowany do wymiarowania rury ułożonej w wykopie przedstawiono na rys. 3.7



Rys. 3.7. Dane geometryczne i rozkład obciążeń działających na elastyczną rurę ułożoną w wykopie.

Podstawowym kryterium wymiarowania wg tej metody jest krótkotrwałe (tzn. mierzone bezpośrednio po zasypaniu wykopu) maksymalne ugięcie względne obciążonej rury $(\delta/D)_M$ wyrażone w procentach. Jego wartość oblicza się na podstawie równania (3.2). Metoda Skandynawska przewiduje, że względne ugięcie krótkotrwałe $(\delta/D)_M < 3,0 \%$ dla PEHD. Odpowiadające mu ugięcie długotrwałe nie przekroczy $6,0 \%$.

$$(\delta / D)_M = (\delta / D)_q + I_f + B_f \quad (3.2)$$

gdzie :

- $(\delta / D)_M$ – całkowite względne ugięcie krótkotrwałe [%],
- $(\delta / D)_q$ – składowa ugięcia rury wywołana przez ciężar własny gruntu oraz obciążenia zmienne [%],
- D – średnica dla środka grubości ścianki rury [m],
- I_f – składowa ugięcia rury wynikająca z metody montażu [%],
- B_f – składowa ugięcia rury wynikająca z warunków posadowienia [%].

W praktyce średnie ugięcie jest obliczane często z pominięciem składowej B_f . Wartości składowych montażu l_f oraz podłoża B_f w równaniu (3.2) zostały wyznaczone empirycznie. Są one zależne od takich czynników jak:

- rzeczywisty kształt wykopu,
- natężenie ruchu podczas budowy,
- metoda zagęszczania i typ sprzętu do zagęszczania gruntu,
- nierówności dna wykopu,
- jakość wykonawstwa i nadzór,
- umiejętności ekipy budowlanej.

W tabelach 3.1 oraz 3.2 przedstawiono wg [7] wartości składowych ugięcia rury w zależności od warunków montażu l_f oraz ułożenia B_f . Zostały one wyznaczone w oparciu o wiele pomiarów ugięć rur kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych. Wartości te są zalecane jako orientacyjne dla wykopów wypełnianych żwirem lub piaskiem.

Wartości składowych ugięcia rury od warunków montażu l_f

Tablica 3.1

Warunki ułożenia i obciążenia rury	Składowa montażu l_f [%]
Rura w wykopie tarasowym bez nadzoru	1 - 2
Rura w wykopie tarasowym z nadzorem	0
Duże obciążenie ruchem i zagłębienie rury $H < 1,5$ m	1 - 2
Zagęszczenie zasypki wykopu powyżej rury za pomocą ciężkiego sprzętu o ciężarze $G > 0,6$ kN	0 - 1

Wartości składowych ugięcia rury od warunków ułożenia B_f

Tablica 3.2

Warunki ułożenia i jakość prowadzenia robót	Składowa podłoża B_f [%]	
	Wykonawstwo	
	Staranne	Zwykłe
Bez nadzoru, dno wykopu bez kamieni	2	4
Bez nadzoru, dno wykopu z gruntu kamienistego	3	5
Z nadzorem, dno wykopu bez kamieni	1	2
Z nadzorem, dno wykopu z gruntu kamienistego	2	3

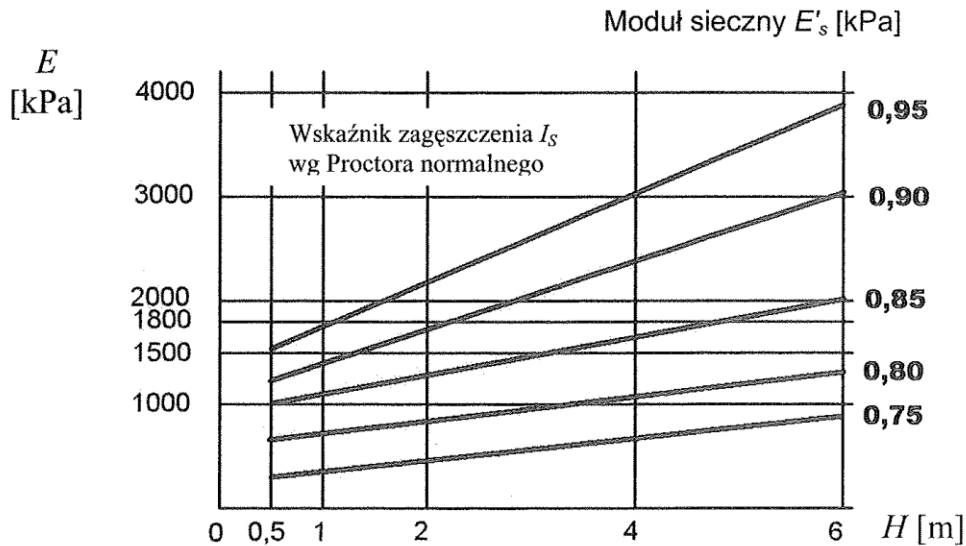
Składową ugięcia rury wywołanego przez ciężar własny gruntu i obciążenie komunikacyjne można obliczać z następującego równania (3.3):

$$(\delta / D)_q = q (C \cdot b_1 - 0,083 \cdot K_o) : (8 \cdot SN + 0,061 \cdot E'_s) \quad (3.3)$$

gdzie:

- C - współczynnik obciążenia (zwykle przyjmuje się $C = 1$),
- b_1 - współczynnik rozkładu obciążenia (zwykle przyjmuje się $b_1 = 0,083$),
- K_o - współczynnik parcia gruntu (zwykle przyjmuje się $K_o = 0,5$),
- SN - sztywność obwodowa rury – $SN = EJ / D^3$; (SN przyjmować wg danych producenta),
- E'_s - moduł sieczny gruntu;

Wartości modułu siecznego E'_s dla gruntów sypkich przedstawiono na wykresie wg [7]; rys 3.8.



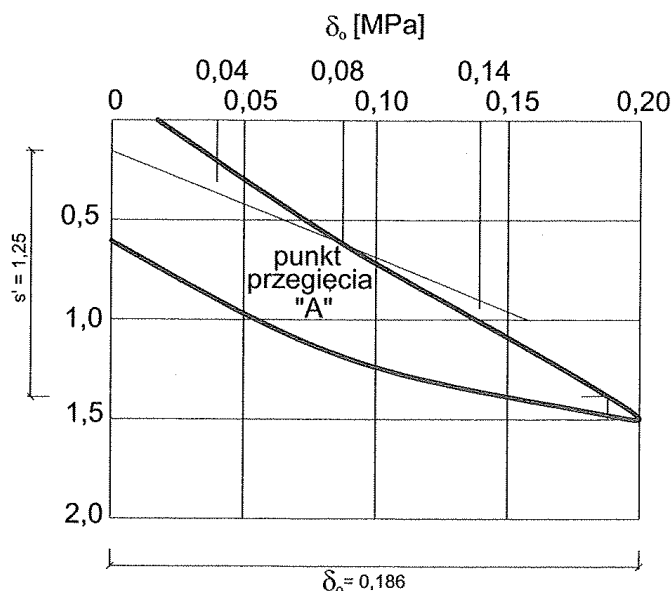
Rys. 3.8. Wartości modułu siecznego E'_s dla gruntów sypkich wg [7].

W analizowanym przypadku pojęcia modułu siecznego oraz modułu stycznego gruntu dotyczą badania przy zastosowaniu płyty. Szczegółowy opis badań można znaleźć w normie DIN 18134 Plattendruckversuch [19]. Interpretacja modułu stycznego przedstawiona jest na wykresie naprężenie – odkształcenie rys. 3.9 [19]. Moduł sieczny (moduł odkształcenia E_s), z uwagi na krzywoliniowy przebieg funkcji naprężenie-odkształcenie (krzywa ściśliwości) należy podawać dla zakresu obciążeń, dla którego był wyznaczany. Wartość E_s można wyznaczać wg równania (3.4) [19]:

$$E_s = 1,5 \cdot r \cdot \Delta\sigma_0 / \Delta s \quad (3.4)$$

gdzie:

- r – promień płyty,
- $\Delta\sigma_o$ – różnica naprężeń,
- Δs – różnica osiadań.



Rys. 3.9. Wykres zależności naprężenie – odkształcenie do wyznaczania modułów odkształcenia gruntu.

Sumaryczne obciążenie od ciężaru gruntu i obciążeń komunikacyjnych q należy obliczać wg równania (3.5).

$$q = q_v + q_{tr} \quad (3.5)$$

gdzie :

- q_v – obciążenie wywołane przez ciężar własny gruntu [kN/m^2],
- q_{tr} – obciążenie działające na zagłębioną rurę od pojazdów [kN/m^2]; wartości obciążenia komunikacyjnego można odczytać z wykresu przedstawionym na rys. 3.8.

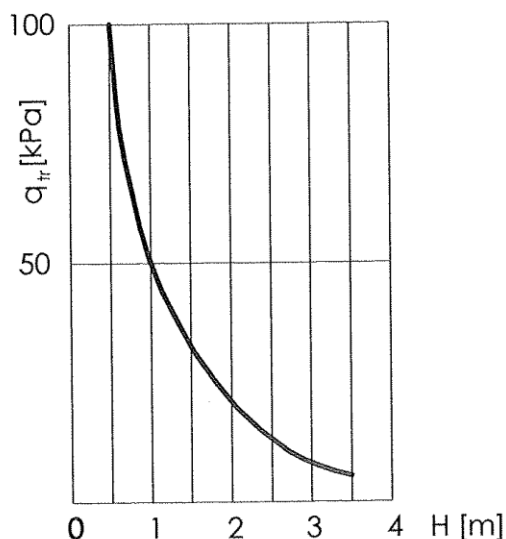
$$q_v = \gamma_o \cdot H \quad (3.6)$$

gdzie:

- H – grubość warstwy gruntu przykrywającej rurę łącznie z grubością nawierzchni drogowej [m],
- γ_o – ciężar objętościowy gruntu zasypki [kN/m^3].

O ile brak dokładnych danych, w obliczeniach można przyjmować $\gamma_o = 18 \text{ kN/m}^3$ dla gruntu powyżej poziomu wody gruntowej lub 11 kN/m^3 dla gruntu poniżej

poziomu wody gruntowej. Przy czym, w tym drugim przypadku, należy uwzględnić dodatkowo wpływ hydrostatycznego parcia wody.



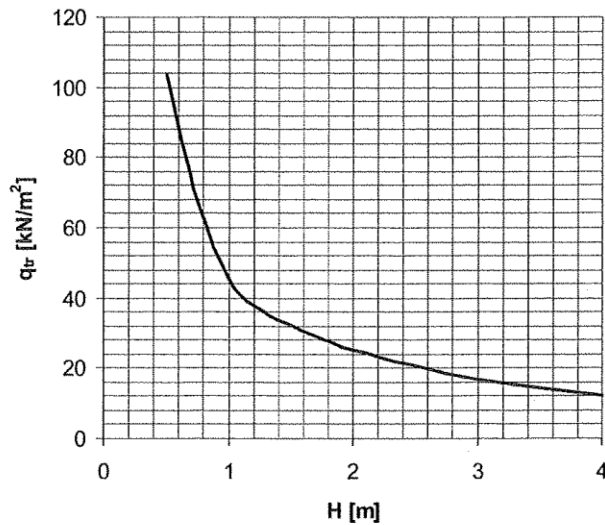
Rys. 3.8. Obciążenia komunikacyjne w zależności od zagłębienia rury H wg normy szwedzkiej. Wykres dla obciążenia ciężkiego (Typ 2 – nacisk na oś 260 kN, nacisk na koło 130 kN, powierzchnia styku koła 0,6 x 0,2m). Wartości na wykresie uwzględniają współczynnik dynamiczny o wartości 1,75.

Dla rur z tworzyw sztucznych ułożonych w gruncie sypkim zwykle przyjmuje się wartości współczynników obliczeniowych z równania 3.3. Wówczas równanie to (3.3), do obliczania składowej ugięcia rury wywołanego przez grunt i obciążenie komunikacyjne, upraszcza się do następującej postaci:

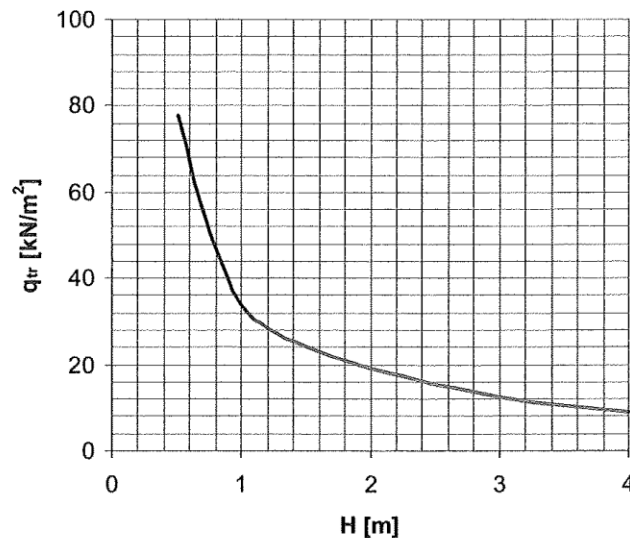
$$(\delta / D)_q = 0,083 q : (16 SN + 0,122 E'_s) < 6 \% \quad (3.7)$$

Adaptacja Metody Skandynawskiej do wymiarowania rur na obciążenia wg PN-85/S-10030

Przyjmując obciążenie użytkowe $K 80$ dla klasy A lub $K 60$ dla klasy B wg PN-85/S-10030 [11] otrzymujemy obciążenie q_{tr} w zależności od zagłębienia rury H , które możemy odczytać z wykresów przedstawionych na rysunkach 3.9 i 3.10.



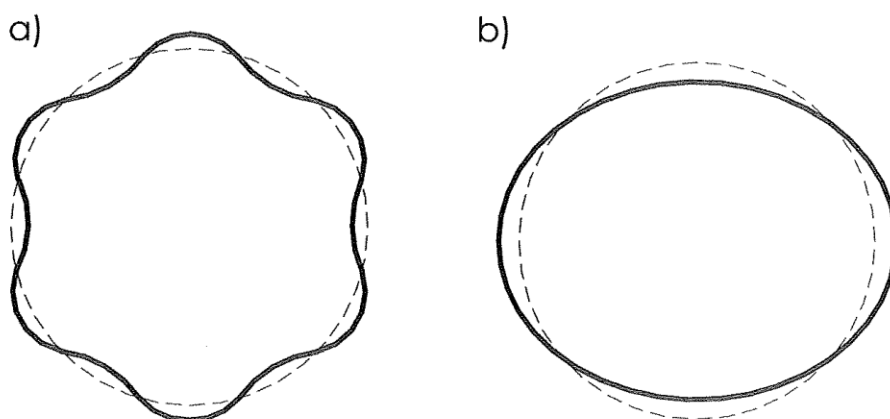
Rys. 3.9. Obciążenia komunikacyjne w zależności od zagłębienia rury H w oparciu o PN-85/S-10030 [11]. Wykres dla obciążenia klasy A (Typ K 80 – nacisk na oś 200 kN, nacisk na koło 100 kN, powierzchnia styku koła 0,6 x 0,2 m). Wartości na wykresie uwzględniają współczynnik obciążenia γ_f o wartości 1,5 oraz współczynnik dynamiczny o wartości ϕ od 1,325 do 1,0 w zależności od wysokości H .



Rys. 3.10. Obciążenia komunikacyjne w zależności od zagłębienia rury H w oparciu o PN-85/S-10030 [11]. Wykres dla obciążenia klasy B (Typ K 60 – nacisk na oś 150 kN, nacisk na koło 75 kN, powierzchnia styku koła 0,6 x 0,2 m). Wartości na wykresie uwzględniają współczynnik obciążenia γ_f o wartości 1,5 oraz współczynnik dynamiczny o wartości ϕ od 1,325 do 1,0 w zależności od wysokości H .

Sprawdzenie warunku wyboczeniowego obciążonej rury zagłębionej w gruncie

Podatność rury ułożonej w gruncie na wyboczenie oraz jego charakter zależą od zagęszczenia otaczającego gruntu. W przypadku gruntu silnie zagęszczonego wyboczenie będzie miało postać drobnych fal (rys. 3.11a). Natomiast w przypadku gruntu słabo zagęszczonego, wyboczenie będzie przyjmować formę spłaszczonej elipsy, co przedstawiono na rys. 3.11b [7] (deformacje na rysunku przedstawiono w skali skażonej).



Rys. 3.11. Geometria wyboczenia obciążonej rury: a) dla gruntu silnie zagęszczonego; b) dla gruntu słabo zagęszczonego.

Wartość obciążenia wywołującego wyboczenie rury ułożonej w dobrze zagęszczonym gruncie można obliczać wg następującego równania (3.9):

$$q_{wyb} = 5,63 (SN \cdot E'_t)^{0,5} / F \quad (3.9)$$

gdzie :

- E'_t - moduł styczny gruntu ; $E'_t = 2 E'_s$,
- E'_s - moduł sieczny gruntu,
- F - współczynnik bezpieczeństwa; należy przyjmować $F = 2$,
- SN - sztywność obwodowa rury (należy przyjmować wg danych producenta).

W przypadku głęboko ułożonych w gruncie podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych lub w przypadku ułożenia w słabych gruntach, takich jak miękki muł czy glina do obliczeń należy przyjmować długotrwałe wartości SN oraz E'_t .

Dla rur zagłębionych płytko w gruncie, poddanych wpływom obciążeń komunikacyjnych, do obliczeń należy przyjmować krótkotrwałe wartości SN oraz E'_t .

Dla rur ciśnieniowych należy założyć $E'_t = 0$, niezależnie od rodzaju otaczającego gruntu. Wynika to z możliwości wytworzenia się pierścieniowej szczeliny wokół rury wskutek zmian ciśnienia wewnętrznego i związanym z tym odkształceniom poprzecznym.

W przypadku rur o małej sztywności obwodowej (6 kN/m^2) układanych na niewielkich głębokościach, które są poddane wpływom obciążeń komunikacyjnych, należy sprawdzić czy obciążenie rzeczywiste jest mniejsze od wybozeniowego, wyznaczonego z równania (3.10).

$$q_{wyb} \leq 64 \cdot SN / (1 + 3,5 \cdot \delta / D)^3 \quad (3.10)$$

gdzie:

$$SN > 0,00275 E'_t$$

W praktyce, w przypadku rur termoplastycznych zagłębionych w gruncie, wyboczenie rzadko jest decydującym kryterium przy wymiarowaniu przekroju.

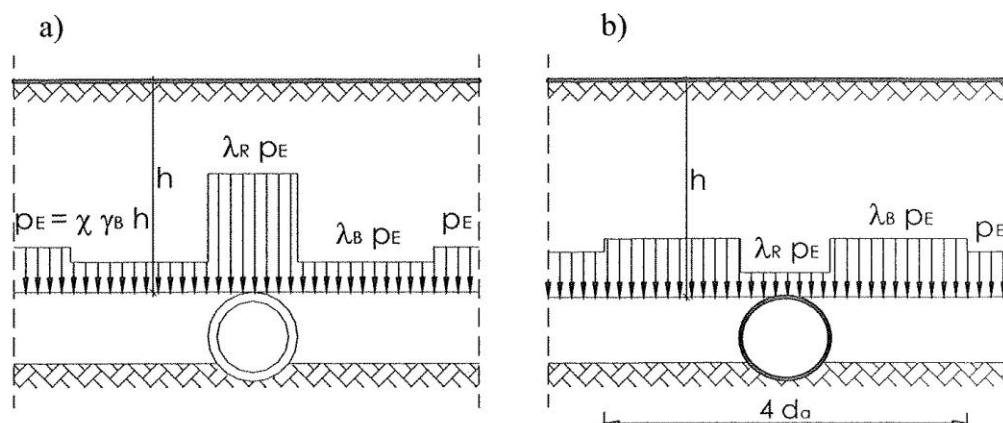
Przykłady wymiarowania konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych przedstawiono w załączniku.

3.7.4 Metoda wymiarowania wg wytycznych niemieckich [8]

Przedstawiana metoda jest uniwersalna i pozwala na wymiarowanie rur wyprodukowanych z dowolnego materiału konstrukcyjnego, w tym z wszelkich tworzyw sztucznych, ułożonych w wykopach otwartych. Z uwagi na złożoność metody obliczeniowej poniżej przedstawiono jej zarys i zasadniczy tok obliczeniowy.

Obciążenia

Metoda obliczeniowa uwzględnia wpływ sztywności obwodowej rury na rozkład działających na nią obciążeń. Uwzględniana jest także rola gruntu w strefach bocznych rury w przenoszeniu obciążeń. Podstawowe schematy pokazujące rozkłady obciążeń pionowych p_E od ciężaru własnego warstwy gruntu o grubości h na poziomie sklepienia rury przedstawiono na rys. 3.12. Widoczna jest koncentracja obciążeń nad rurą sztywną charakteryzowana współczynnikiem $\lambda_R > 1$ oraz ich redukcja nad rurą z tworzyw sztucznych, charakteryzowaną współczynnikiem $\lambda_R < 1$. Współczynnik redukcyjny χ uwzględnia tarcie pomiędzy zasypką wykopu, a gruntem rodzimym.



Rys. 3.12. Rozkład obciążeń pionowych działających na poziome sklepienia rury: a) rura sztywna, b) rura z tworzyw sztucznych.

W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych rur ułożonych w gruncie uwzględnia się obciążenia od ciężaru gruntu nad rurą p_E , obciążenia komunikacyjne p_v , obciążenia naziomu p_o , ciężar własny rury, wypełnienie cieczą (wodą lub ściekami), parcie hydrostatyczne wody gruntowej p_a oraz ciśnienie wewnętrzne p_i .

Składowe obciążeń oblicza się wg następujących równań :

$$q_v = \lambda_{RG} (\chi \cdot \gamma_B \cdot h + \chi_o \cdot p_o) + p_v \quad (3.11)$$

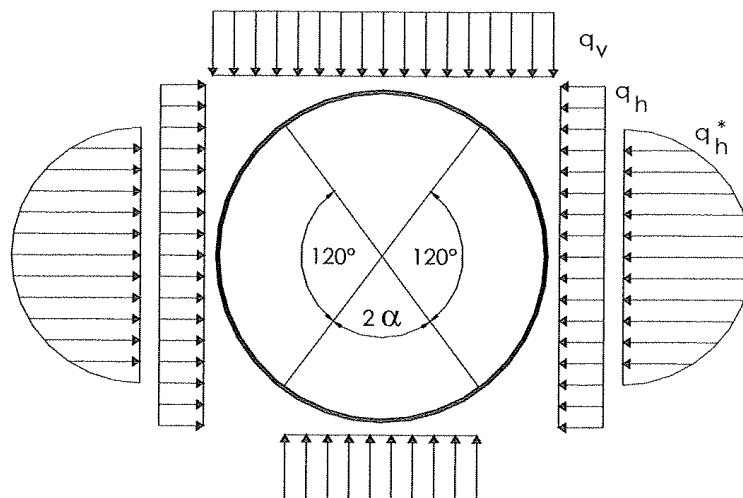
$$q_h = K_2 (\lambda_B \cdot \chi \cdot \gamma_B \cdot h + \gamma_B \cdot d_a/2) \quad (3.12)$$

$$q_{h^*} = (q_v - q_h) \cdot K^* \quad (3.13)$$

gdzie :

- λ_R - współczynnik koncentracji obciążeń powyżej rury,
- λ_B - współczynnik koncentracji obciążeń obok rury,
- γ_B - ciężar objętościowy gruntu w wykopie,
- h - zagłębienie rury,
- d_a - średnica zewnętrzna rury,
- χ, χ_o - współczynniki redukcyjne,
- K_2 - współczynnik parcia gruntu,
- K^* - współczynnik odporu gruntu,
- p_v - obciążenie komunikacyjne,
- p_o - obciążenie naziomu.

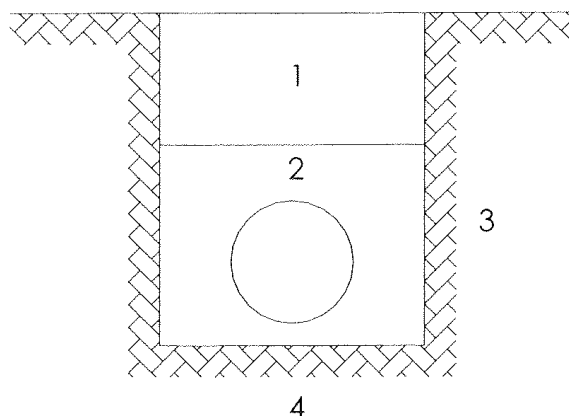
Schemat obciążeń dla rur z tworzyw sztucznych przedstawiono na rys. 3.13.



Rys. 3.13. Schemat obciążeń działających na rurę ułożoną w wykopie.

Warunki posadowienia rury

Rura zgodnie z wytycznymi powinna być ułożona na podłożu z gruntu niespoistego ($G1$). Część obwodu stykająca się z podłożem przed zasypaniem rury określona jest kątem 2α (rys. 3.13). Kąt ten powinien spełniać warunek $2\alpha \geq 60^\circ$. Odpowiednie współczynniki obliczeniowe podano odpowiednio dla 60° , 90° , 120° , 180° . Jeżeli grunt naturalny charakteryzuje się spójnością, należy przeprowadzić wymianę gruntu, co najmniej w bezpośrednim otoczeniu rury (tzw. strefa rury). Obsypkę w strefie rury wolno wykonać jedynie z gruntu łatwego do zagęszczenia ($G1$ lub $G2$) np. piasek, pospółka, żwir. Wysokość strefy rury sięga od dna wykopu do poziomu $0,30$ m powyżej sklepienia rury. Szerokość strefy rury powinna być równa szerokości wykopu lub $4d_a$ w przypadku wykopów szerokoprzestrzennych (d_a średnica zewnętrzna rury). Do obliczeń należy podać rodzaje gruntu w poszczególnych strefach wykopu oraz ich wskaźnik zagęszczenia I_s [%] wg badania Proctora. Od tego zależą obliczeniowe wartości modułów odkształcenia gruntów E_1 , E_2 , E_3 , E_4 . Położenie poszczególnych stref wykopu przedstawiono na rys. 3.14.



- 1- strefa zasypki powyżej bezpośredniego otoczenia rury
- 2- strefa bezpośredniego otoczenia rury (tzw. strefa rury)
- 3- strefa obudowy wykopu
- 4- strefa podłoża pod wykopem

Rys. 3.14. Położenie poszczególnych stref wykopu.

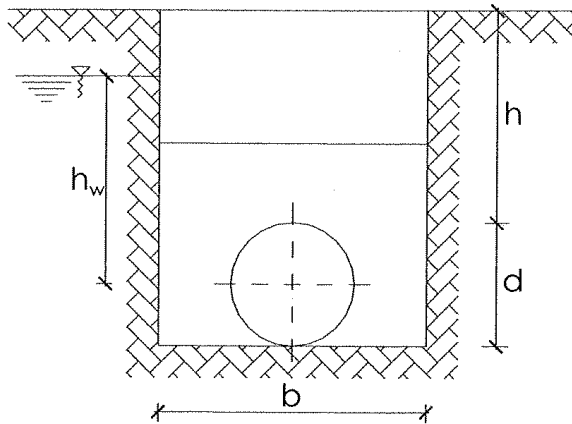
Wykopy

Duży wpływ na obciążenia rury ma rodzaj obudowy wykopu. W wytycznych uwzględniane są 4 rodzaje technologii wypełniania całego wykopu A1, A2, A3, A4 oraz strefy obsypki rury B1, B2, B3, B4, gdzie:

- | | |
|-------|--|
| A1/B1 | stopniowe usuwanie obudowy wykopu i warstwowe zagęszczanie gruntu bez kontroli wskaźnika zagęszczenia, |
| A2/B2 | obudowa wykopu z lekkich profili stalowych wyciągana po wypełnieniu wykopu gruntem, |
| A3/B3 | obudowa wykopu w postaci ścianki szczelnej wyciągana po wypełnieniu wykopu gruntem, |
| A/B4 | stopniowe usuwanie obudowy wykopu i warstwowe zagęszczanie gruntu z kontrolą wskaźnika zagęszczenia |

Minimalna odległość z każdej strony rury od obudowy wykopu powinna wynosić min. 0,5 m, w zależności od średnicy zewnętrznej rury, przy czym w przypadku przewidywania mechanicznego zagęszczania gruntu odległość od rury do ściany wykopu powinna wynosić co najmniej 0,5 m, niezależnie od jego średnicy. W przypadku stosowania obudowy wykopu w postaci ścianek szczelnych wyciąganych po zasypaniu wykopu celowe jest zwiększenie tej odległości, szczególnie w przypadku gruntów spoistych, ponieważ podczas wyciągania może dojść do niekontrolowanego rozluźnienia gruntu pod rurą i wzrostu obciążeń. Dla wykopów ze ścianami w postaci skarp szerokość obliczeniową

wykopu b przyjmuje się na wysokości sklepienia rury. Podstawowy schemat rury ułożonej w wykopie przedstawiono na rys. 3.15.



Rys. 3.15. Schemat rury ułożonej w wykopie.

Wyznaczanie sił wewnętrznych

W charakterystycznych przekrojach rury wyznacza się momenty zginające i siły osiowe wykorzystując równania wg [8].

Wymiarowanie

Wymiarowanie polega na sprawdzeniu poniższych warunków i wyznaczeniu poszczególnych współczynników bezpieczeństwa.

- Sprawdzenie warunku ugięcia
- Sprawdzenie warunku naprężeń lub odkształceń
- Sprawdzenie stateczności na wyboczenie
- Sprawdzenie globalnego warunku bezpieczeństwa

W przypadku spełnienia poszczególnych warunków sprawdzamy globalny współczynnik bezpieczeństwa.

4. Budowa podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z rur z tworzyw sztucznych oraz metody kontroli

Konstrukcje podatne znacznie lepiej od konstrukcji sztywnych tolerują nierównomierne osiadanie. Aby zapewnić właściwą pracę tych konstrukcji, należy spełnić szereg warunków związanych z przygotowaniem podłoża oraz wykonaniem fundamentu z kruszywa (jeśli jest konieczny) i zasypki. Od jakości wykonania tych robót zależy prawidłowość pracy konstrukcji i okres jej użytkowania.

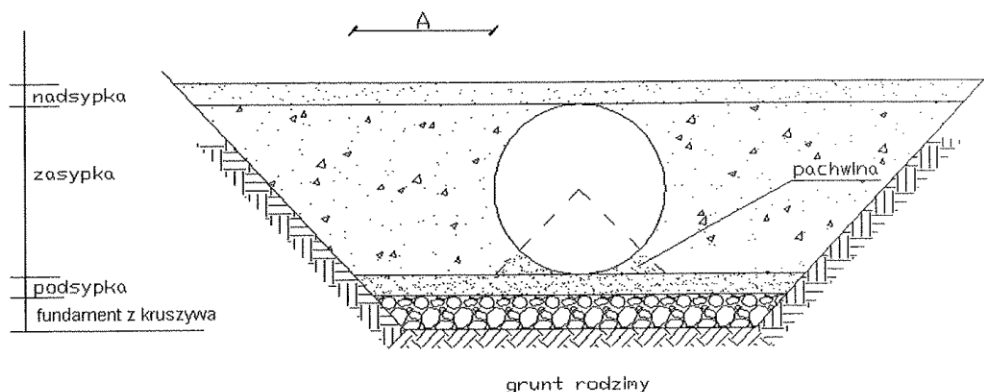
4.1. Metoda wykopu otwartego

Sposób montażu konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych jest uzależniony od sztywności rury, głębokości posadowienia, szerokości wykopu, charakterystyki gruntu rodzimego, dodatkowych obciążeń i materiału zasypki. Aby uzyskać właściwe podparcie konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych, zastosowany materiał zasypkowy musi odpowiednio wypełniać strefę zasypki rury.

Sposób posadowienia konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych przedstawia rysunek 4.1.

Minimalny stopień zagęszczenia dla wszystkich stref wykopu powinien wynosić 0,95 wg standardowej próby Proctora.

Typowe charakterystyki wykopu pokazano na rysunku 4.1. Wymiar „A” musi być zawsze wystarczająco szeroki, aby zapewnić odpowiednią przestrzeń na właściwe umieszczenie i zagęszczenie zasypki w strefie pachwiny. Wymiar „A” musi być również wystarczająco szeroki, by umożliwił bezpieczne operowanie sprzętem do zagęszczania bez spowodowania uszkodzenia rury. Wymiar „A” powinien wynosić co najmniej wartość $0,5 DN$ (średnicy wewnętrznej rury) nie mniej jednak niż 0,5 m.



Rys. 4.1. Schemat posadowienia rury z tworzyw sztucznych.

4.1.1. Przygotowanie podłoża rury

Ogólne warunki dla podłoża zamieszczono w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych [2]. Sposób przygotowania podłoża pod rurą podatną opisano w punkcie 3.4.

4.1.2. Wykonanie fundamentu z kruszywa

Kształt fundamentu

W zależności od rozmiaru, średnicy i kształtu przekroju poprzecznego rury, konstrukcja fundamentu powinna być wyprofilowana tak, aby jej kształt odpowiadał kształtowi rury.

Wyprofilowany fundament z kruszywa musi być dostatecznie szeroki, aby umożliwić odpowiednie zagęszczenie materiału zasypki w strefie pachwiny rury.

Materiał na fundament

Materiał fundamentu z kruszywa powinien spełniać wymagania norm z serii PN-B-11110:1996 [20], PN-B-11111:1996 [21], PN-B-11112:1996/Az1:1996 [22], PN-B-11113:1996 [23], PN-B-11114:1996 [24], w zależności od zastosowanego kruszywa, np.:

- żwir,
- mieszanka żwirowo – piaskowa,
- pospółka,
- kruszywo łamane,
- kliniec.

Przy trudnych warunkach gruntowo – wodnych (słaba nośność gruntów, wysoki poziom wód gruntowych) można z powodzeniem stosować lekkie kruszywa mineralne, wykorzystując w pełni zalety konstrukcji podatnych.

Wykonanie fundamentu

Grubość fundamentu należy określić na podstawie analizy nośności podłoża. Powinna być ona nie mniejsza niż 30 cm. Fundament powinien być zagęszczony do wskaźnika zagęszczenia minimum 0,98 wg standardowej próby Proctora.

4.1.3. Wykonanie podsypki

Ogólne warunki dla podsypki zamieszczono w punkcie 3.4.2.

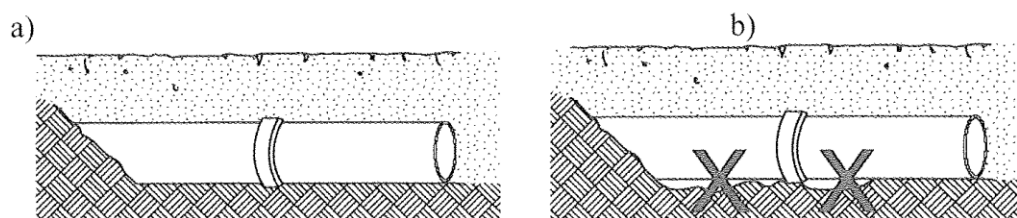
4.1.4. Metody kontroli wskaźnika zagęszczenia i grubości warstw

W trakcie wykonywania fundamentu z kruszywa i podsypki piaskowej należy kontrolować grubość warstwy układanego kruszywa oraz jego wskaźnik zagęszczenia. Kontrola wskaźnika zagęszczenia powinna odbywać się zgodnie z normą PN-88/B-04481 [25].

4.1.5. Sposób układania rury

Rurę należy układać na dnie wykopu, po uprzednim przygotowaniu podłoża zgodnie z pkt. 4.1.1, zaniwelowaniu poziomym i wytyczeniu osi rury. Jeśli końce rury mają wykonane ścięcia dostosowujące jej wyloty do kształtu nasypu i kąta przecięcia osi przepustu z nasypem, to należy zwrócić uwagę na prawidłowe jej ustawienie. W przypadku, gdy rura ma łączenia to należy sprawdzić, czy w czasie układania nie doszło do rozluźnienia połączeń. Rura po ułożeniu musi być zastabilizowana w taki sposób, aby nie zmieniła swojego położenia w czasie zasypywania.

Dopuszczalne tolerancje dotyczące odchylenia ułożenia rury w planie, a także przewyższenia (zaniżenia) wlotu i wylotu rury, muszą być zgodne z aktualnie obowiązującymi normami i przepisami.



Rys. 4.2. Sposób ułożenia rury w wykopie otwartym: a) prawidłowy; b) nieprawidłowy.

4.1.6. Sprzęt ułatwiający montaż

W zależności od wielkości (średnicy) konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych, pomocne w montażu mogą być:

- maszyny budowlane,
- pasy ściągające,
- drobne narzędzia.

4.1.7. Kontrola kształtu dostarczonej rury

Przed wbudowaniem rur należy sprawdzić ich średnicę i długość. Dopuszcza się tolerancje wymiarów 2% w stosunku do średnicy nominalnej rury.

Należy również dokonać kontroli prawidłowości zlokalizowania rury w planie oraz spadku podłużnego. Po zasypyaniu należy sprawdzić, czy deformacja rury nie przekracza 3% wartości jej nominalnej średnicy.

4.1.8. Zасыpywanie rur z tworzyw sztucznych

Materiał na zasypkę

Na zasypkę należy stosować kruszywa spełniające wymagania normy PN-S-02205:1998 [13] i PN-B-11112: 1996 [22]. Uziarnienie kruszywa zależy od średnicy konstrukcji i wielkości karbu.

Najlepiej na zasypkę stosować grunty grup G1 wg ATV–DVWK–A127P [8]. Wymagają one najmniejszego wysiłku do uzyskania danego poziomu zagęszczenia względnego.

Według wytycznych ATV–DVWK–A127P [8] rozróżniana się cztery kategorie gruntu:

- G1 - grunty niespoiste, (piasek, żwir, pospółka),
- G2 - grunty słabo spoiste (np. piasek pylasty, żwir pylasty),
- G3 - grunty spoiste mieszane (np. piasek gliniasty, żwir gliniasty),
- G4 - grunty spoiste (np. gliny, iły, glina pylasta).

Podstawowe parametry gruntów przedstawione są w tablicy 4.1.

Podstawowe parametry gruntów

Tablica 4.1

Kategoria	Ciężar objętościowy γ_B [kN/m ³]	Kąt tarcia wewnętrzznego φ' [°]
G1	20	35
G2	20	30
G3	20	25
G4	20	20

Niezależnie od klasyfikacji zasypki oraz tego, czy zasypka została nawieziona, czy nie, mają zastosowanie następujące ograniczenia ogólne:

1. Muszą być bezwzględnie przestrzegane, podane w tablicy 4.2, ograniczenia dla maksymalnej wielkości ziarna.
2. Zakaz stosowania grudek gruntu większych od dwukrotnej maksymalnej wielkości ziarna.
3. Zakaz stosowania materiałów zamarzniętych.
4. Zakaz stosowania materiałów organicznych.
5. Zakaz stosowania odpadów (opon, butelek, metali, itd.).

Maksymalna wielkość ziarna w strefie rury (do 300 mm powyżej rury):

Tablica 4.2

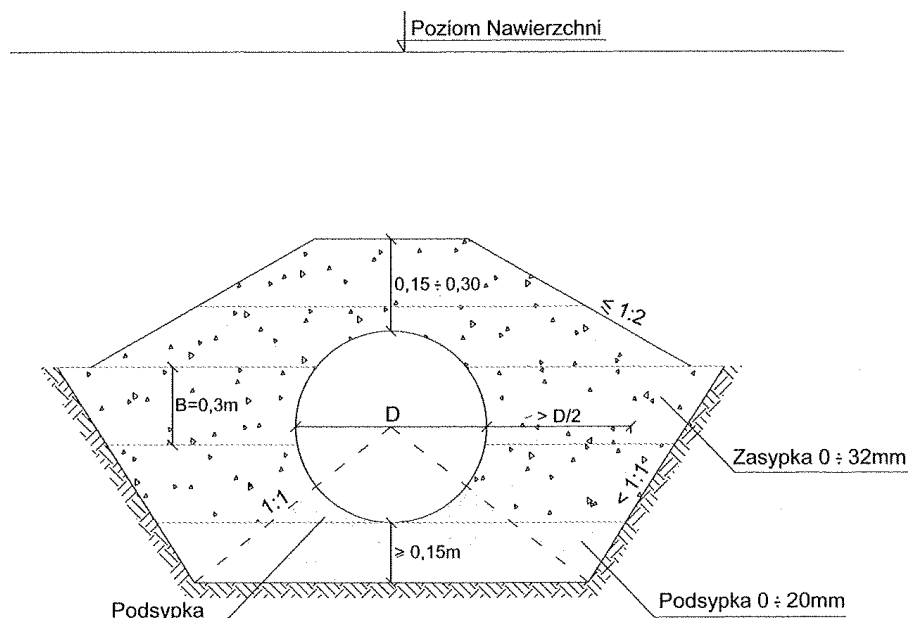
Średnica wewnętrzna rury [mm]	Wielkość maksymalna ziarna [mm]
≤ 450	13
500 do 600	19
700 do 900	25
1000 do 1200	32
1300 i powyżej	40

Przykrycie konstrukcji powyżej strefy rury może być wykonane z materiału użytego do budowy nasypu drogowego.

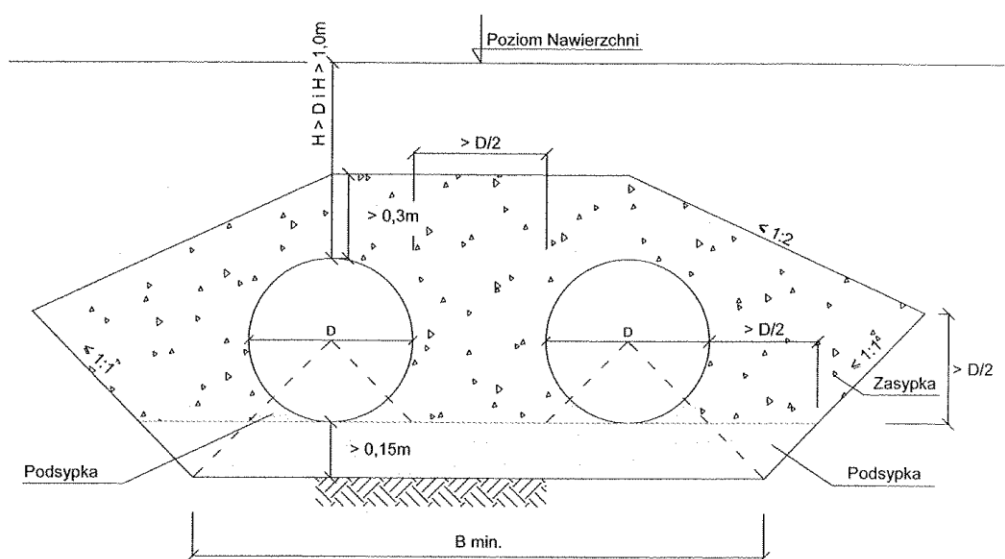
Odpowiedni dobór, rozmieszczenie i zagęszczenie zasyпки w strefie rury jest ważne dla kontroli pionowego ugięcia i ma decydujące znaczenie dla eksploatacji rury. Należy zwrócić uwagę, aby zasyпка nie uległa zanieczyszczeniu gruzem lub innymi materiałami obcymi, mogącymi uszkodzić rurę lub spowodować utratę podparcia. Zasyпка w pachwinie, czyli w obszarze między podłożem a spodem rury, powinna być zagęszczona ubijakiem ręcznym przed umieszczeniem pozostałej zasyпки.

Sposób zasypywania wykopu

Prawidłowy sposób ukształtowania geometrii zasyпки wokół rury opisano w punkcie 3.5 i pokazano na rysunkach 4.3 i 4.4.



Rys. 4.3. Sposób ukształtowania zasyпки w obrębie jednootworowej konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych posadowionej na gruncie nośnym.



Rys. 4.4. Sposób ukształtowania zasyпки w obrębie wielootworowej konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych posadowionej na gruncie nośnym.

Zasypkę należy wykonywać warstwami i zagęszczać. Warstwę zasyпки bezpośrednio przylegającą do rury należy zagęścić do $I_D = 0,95$ wg standardowej próby Proctora. Poza wymienioną przestrzeń przylegającą bezpośrednio do rury, zasypkę zagęszczać do $I_D = 0,98$ wg standardowej próby Proctora. Zasyпка nie powinna zawierać grud, zbryleń lub gruntu zmarzniętego. Zaleceń tych należy bezwzględnie przestrzegać na głębokości od niwelety nawierzchni do rzędnej dna wykopu.

W celu uzyskania zalecanego stopnia zagęszczenia, przy stosowaniu gruntów piaszczystych wymagane są: maksymalne grubości pojedynczej warstwy po zagęszczeniu oraz minimalne warstwy ochronne nad górną ścianką przepustu, które podano w tabelicy 4.3.

Minimalna liczba zagęszczeń, największa grubość warstwy i minimalna warstwa ochronna nad górną ścianką przepustu rurowego z tworzyw sztucznych

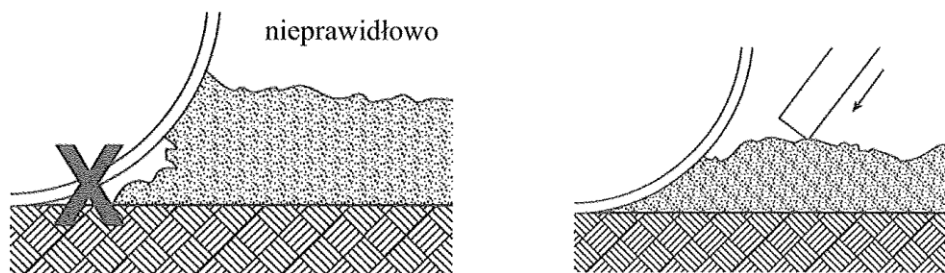
Tablica 4.3

Urządzenie zagęszczające	Minimalna liczba zagęszczeń	Maksymalna grubość warstwy piaskowej po zagęszczeniu [m]	Minimalna grubość warstwy ochronnej nad górną ścianką przepustu [m]
Ubijak ręczny, 15 kg	4	0,15	0,15
Ubijak wibracyjny 70 kg	4	0,30	0,25
Płyta wibracyjna 50 kg	4	0,10	0,10
Płyta wibracyjna 100 kg	4	0,15	0,10
Płyta wibracyjna 200 kg	4	0,20	0,15
Płyta wibracyjna 400 kg	4	0,30	0,25
Płyta wibracyjna 600 kg	4	0,40	0,40
Walec wibracyjny o obciążeniu statycznym 15 kN/m ²	6	0,35	0,50
Walec wibracyjny o obciążeniu statycznym 30 kN/m ²	6	0,60	1,0

Wykonanie zasypki

Przy wykonywaniu zasypki przepustu należy przestrzegać następujących zasad:

- zasypka powinna być wykonywana równomiernie i równocześnie z obu stron przepustu;
- zasypka powinna być wykonywana warstwami o grubości maksymalnie do 30 cm, zagęszczonymi do wskaźnika zagęszczenia $I_D \geq 0,95$ (w strefie bezpośrednio przy rurze) oraz $I_D \geq 0,98$ w pozostałej strefie;
- podczas zagęszczania zasypki kontrolować rzędne posadowienia rury, nie dopuszczając do jego wypychania, bądź przemieszczenia poziomego;
- grunt zasypki: niewysadzinowy piasek gruboziarnisty lub mieszanki żwirowo-piaskowe o wskaźniku różnoziarnistości $C_U > 5$, wskaźniku krzywizny $1 < C_C < 3$, wodoprzepuszczalności $k > 8$ m/dobę i frakcji 0 – 40 mm (w zależności od średnicy rury). Moduł enometryczny gruntu powinien wynosić min 20 MPa.



Rys. 4.5 Sposób wykonania podbicia pod rurą z tworzyw sztucznych:
a) nieprawidłowy, b) prawidłowy.

Sposoby układania zasyпки

Materiał zasyпки powinien być układany warstwami o maksymalnej grubości 30 cm, a następnie zagęszczany. W strefach pachwinowych, ze względu na występowanie dużego parcia rury na grunt, zaleca się układanie zasyпки warstwami o maksymalnej grubości 20 cm. Układanie musi być wykonywane symetrycznie, aby wysokość zasyпки była taka sama po obydwu stronach rury, przy czym dopuszcza się różnicę wysokości równą jednej warstwie. Przed przystąpieniem do układania kolejnej warstwy należy upewnić się, czy poprzednia została właściwie zagęszczona.

Na rys. 4.3, 4.4 i 4.5 przedstawiono sposób układania zasyпки wokół rury z tworzyw sztucznych.

Do zagęszczenia kruszywa w strefie pachwinowej rury stosować należy ogólnie dostępny sprzęt do zagęszczania zwracając szczególną uwagę na dokładność wykonania prac.

Sprzęt ciężki taki jak walce wibracyjne może pracować w odległości ponad 1 m od rury, poruszając się zawsze równoległe do jej osi podłużnej.

W przypadku wystąpienia problemów z zagęszczeniem gruntu w strefie pachwinowej rury z uwagi na ograniczoną dostępność, stosować można wplukiwanie zasyпки, co pozwala na osiągnięcie lepszego wskaźnika zagęszczenia oraz na właściwe wypełnienie obszaru. Z uwagi na niebezpieczeństwo wymywania drobnych cząstek gruntu, które może doprowadzić do rozmycia gruntu, wplukiwanie zasyпки powinno być prowadzone przy niezbyt wysokim ciśnieniu i pod pełną kontrolą.

Nie dopuszcza się przymowania kruszywa na zasypkę w bezpośredniej bliskości rury oraz nie wolno rozładowywać pojazdów z kruszywem bezpośrednio na rurę.

Zagęszczanie zasyпки na końcach konstrukcji

Szczególną ostrożność należy zachować w przypadku zagęszczania gruntu na końcach rury ściętych zgodnie z pochyleniem skarp a tym bardziej, gdy rura

ułożona jest w skosie do osi drogi i jej końce ścięte są równoległe do osi drogi. Dotyczy to przede wszystkim rur o przekroju kołowym, o średnicy ponad 2 m i innych rur o średnicy ponad 3 m. Należy stosować lekki sprzęt zagęszczający oraz dopuszcza się obniżenie wskaźnika zagęszczenia gruntu do około 0,95 wg standardowej próby Proctora.

Kontrola zagęszczenia gruntu zasypki

Zaleca się sprawdzenie wskaźnika zagęszczenia metodami "in-situ" (np.: czujnikami elektronicznymi). Zagęszczenie zasypki bezpośrednio w strefie rury (rys. 4.3 i 4.4) powinno być kontrolowane przed ułożeniem dalszych warstw nasypu. Zaleca się kontrolę zagęszczenia według standardowej metody Proctora co trzecią warstwę, lub według decyzji inspektora nadzoru. Miejsca badań oraz otwory, z których pobierane są próbki gruntu do kontroli powinny być umiejscowione w połowie długości rury, w odległości 0,1 m i 1,0 m od jej ścianki, a z każdego z otworów należy pobrać po dwie próbki.

4.1.9. Obciążenie od ruchu technologicznego

Obciążenia od ruchu technologicznego na budowie mogą przekraczać projektowane obciążenia eksploatacyjne. W sytuacji, kiedy tych obciążeń nie można wyeliminować, należy sprawdzić stan obciążeń montażowych. W przypadku konieczności dopuszczenia ruchu technologicznego nad konstrukcją podatną rur z tworzyw sztucznych, należy zachować odpowiedni naziom:

- dla średnicy nominalnej rury DN do 400 mm → 20 cm,
- dla średnicy nominalnej rury DN do 800 mm → 30 cm,
- dla średnicy nominalnej rury DN do 1000 mm → 40 cm,
- dla średnicy nominalnej rury DN powyżej 1000 mm → 50 cm.

W przypadku, gdy ruch technologiczny daje obciążenia przekraczające obciążenia projektowe, zaleca się zastosowanie naziomu technologicznego o wysokości minimum 1 m. Alternatywnym rozwiązaniem jest ułożenie tymczasowej drogi z płyt betonowych. Ostateczną decyzję podejmuje inspektor nadzoru. W trakcie robót ziemnych nie dopuszcza się do zatrzymania urządzeń technologicznych i ciężkich pojazdów nad rurą. Szczególną uwagę należy zwrócić na ruch technologiczny w obrębie końców konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych.

4.1.10. Odkształcenie przekroju rury

Odkształcenie przekroju zasypanej rury jest dobrym wskaźnikiem jakości wykonania robót. Dla większości rur z tworzyw sztucznych, przewidywane początkowe pionowe ugięcie rury po zasypaniu do poziomu gruntu jest mniejsze niż 3 %. **Wartość przekraczająca tę wielkość wskazuje, że nie została**

osiągnięta zamierzona jakość wykonania robót i powinna być poprawiona (tzn. zwiększyć zagęszczenie zasypki w strefie rury, zastosować w strefie rury materiały zasypowe o większych ziarnach lub poszerzyć wykop, itd.) i/lub sztywność obwodowa rury jest niewystarczająca.

4.2. Metody bezwykopowe

4.2.1. Przewierty sterowane

Technika wykonania przewiertu sterowanego polega na wykonaniu otworu pilotażowego, jego rozwiercieniu do wymaganej średnicy i wciągnięciu, w tak przygotowany otwór końcowy, projektowanego przewodu.

Podstawowymi parametrami decydującymi o możliwości zastosowania tej techniki są długość i średnica przewodu oraz lokalne warunki geologiczne. Najdłuższe odcinki wykonane tą metodą nie przekraczają 2000 m. Przygotowanie przedsięwzięcia polega na wykonaniu badań geologicznych, zaprojektowaniu profilu (jego trajektorii), średnicy i materiału rury, doborze płynu wiertniczego oraz urządzeń wierzących. Projektowanie przewiertu polega na doborze niwelety, średnicy, długości i materiału rury, wskazaniu lokalizacji punktu wejścia i wyjścia, określeniu dopuszczalnych promieni krzywizny, doborze płuczki i urządzeń wiertniczych oraz kontrolujących przebieg prac. Otwór pilotażowy wykonywany jest przy użyciu narzędzia wierzącego techniką wyplukiwania gruntu, urabiania strumieniem płuczki lub za pomocą silnika węglowego ze świdrem rolkowym. Narzędzie wierzące ma kształt głowicy wierzącej zakończonej płytką sterującą odchyloną od osi podłużnej o 15 – 20 %. W głowicy umieszczona jest sonda umożliwiająca określenie kąta nachylenia głowicy względem poziomu, głębokości jej położenia oraz kąta obrotu. Otwór pilotażowy poszerza się przy użyciu sferoidalnego rozwiertaka zamontowanego w miejsce zdemonstrowanej głowicy wierzącej. Instalacje rur o małych przekrojach można wykonać, mocując je bezpośrednio za rozwiertakiem. W przypadku rur o dużych średnicach, od strony wyjścia do rozwiertaka montuje się kolejne żerdzie wiertnicze. Średnice wykonywanych otworów w zależności od materiału rur i długości przewiertów przedstawiono w tabelicy 4.4 [3].

Średnice wykonywanych otworów w zależności od materiału rur i długości przewiertów [3]

Tablica 4.4

Długość przewiertu [m]	Materiał	Zwiększanie średnicy otworu w stosunku do średnicy rury [%]
do 100	PE, PEHD	25
100 – 300	PE, PEHD	35
ponad 300	PE, PEHD	50

4.2.2. Mikrotunelowanie

Mikrotunelowanie wykorzystywane jest przede wszystkim do realizacji infrastruktury sieciowej, tzn.:

- przewodów kanalizacyjnych i wodociągowych,
- rurociągów przesyłowych dla mediów energetycznych (gazu, ropy naftowej),
- rur osłonowych dla innych przewodów (gazociągów, kabli energetycznych, ciepłowniczych, telekomunikacyjnych i innych),
- tuneli wieloprzewodowych.

Maksymalne długości wykonywanych odcinków z jednej studni startowej, w zależności od warunków gruntowo-wodnych, średnicy i materiału rurociągu mogą dochodzić przy hydraulicznym transporcie urobku do 500 m. Średnice rur wykonywanych w technologii mikrotunelowania zawierają się w przedziale od 100 do ponad 4000 mm, przy czym górny przedział średnic ciągle się zwiększa. Dynamiczny rozwój mikrotunelowania wynika przede wszystkim z jego zalet, do których zalicza się przede wszystkim:

- minimalna deformacja powierzchni terenu i minimalne jego osiadanie,
- możliwość prowadzenia prac bez obniżania zwierciadła wody gruntowej wzdłuż trasy tunelu,
- możliwość zmechanizowania robót, eliminującego konieczność pracy ludzi na przodku,
- możliwość stosowania w dowolnych warunkach gruntowych, od gruntów luźnych do formacji skalnych.

Technologia mikrotunelowania polega na drażeniu poziomego (lub o wymaganym spadku) otworu-tunelu, pomiędzy dwoma uprzednio wykonanymi komorami (startową i końcową). Przekroje poprzeczne komór, nazywanych często szybami mogą mieć kształt prostokątny, okrągły lub owalny w zależności od sposobu zabezpieczenia ich ścian. Wymiary komór zależą od wymiarów urządzeń do mikrotunelowania i prefabrykatów stanowiących konstrukcję tunelu, a ich rozmieszczenie od przewidywanej długości drażonych tuneli oraz przebiegu trasy. W przypadku konieczności odwodnienia studni można pompować wodę z jej dna (w przypadku małych dopływów), zastosować system studni wierconych lub igłofiltrów (w przeciętnych warunkach gruntowo-wodnych) lub chemizację albo zamrażanie gruntu, czyli metody nie powodujące nawet lokalnych zmian zwierciadła wody gruntowej. Najczęściej stosowanymi sposobami zabezpieczania ścian wykopów są ścianki szczelne zabijane (w warunkach krajowych z grodziec G-62). W zwartej zabudowie, lub przy głębokich studniach obudowa wykopu może być zrealizowana jako studnia zapuszczana, studnia z tubingów lub blach fałdowych (w gruntach nienawodnionych) albo ścian szczelinowych, z pali wierconych lub wciskanych.

Zespół urządzeń do mikrotunelowania, bardziej zaawansowany technologicznie od urządzeń stosowanych w klasycznych przeciskach hydraulicznych, składa się z sześciu podstawowych elementów:

- głowicy wiertniczej,
- stacji siłowników z zespołem zasilającym,
- systemu smarowania,
- systemu usuwania urobku,
- systemu gospodarki płuczką,
- systemu sterującego.

Po wybudowaniu komór i zainstalowaniu urządzeń rozpoczyna się proces polegający na wierceniu tunelu i instalacji obudowy tunelu, nazywanej także rurą technologiczną lub produktową. Tarcza głowicy wierzącej, napędzana silnikiem hydraulicznym poprzez przekładnię planetarną, obraca się i powoduje wstępne rozdrobnienie gruntu. Za tarczą znajduje się komora w kształcie ściętego stożka, w której urobiony grunt podlega rozdrobnieniu na cząstki, jakie zdolny jest przetransportować system płuczkowy. Następnie, przez pierścieniową szczelinę, rozdrobniony grunt przedostaje się do komory płuczkowej, gdzie miesza się z płuczką i jest tłoczony przez system instalacji rurowych do umieszczonego na zewnątrz zbiornika płuczkowego. Rozpoczynając od szybu startowego głowica wierząca przemieszcza się dzięki naporowi zespołu siłowników umieszczonego w tym szybie, najpierw za pośrednictwem pierścienia dociskowego o dużej sztywności, a następnie za pośrednictwem rur produktowych (stanowiących finalną obudowę tunelu). Wszystkie przewody zasilające układ płuczkowy, napędu i kontroli umieszczone są wewnątrz tunelu i muszą być sukcesywnie przedłużane w miarę zwiększania się jego długości.

W celu obniżenia tarcia pomiędzy zewnętrzną powierzchnią przesuwanych rur, a ośrodkiem gruntowym stosuje się układ smarowania wykorzystujący z reguły roztwór bentonitowy z polimerami smarnymi. Dysze do iniekcji smaru rozmieszcza się na odwodzie rur co 90°. Poza redukcją sił tarcia, bentonit stabilizuje ścianki wyrobiska nie dopuszczając do ich zapadania. W przypadku występowania dużych sił tarcia, pomimo zastosowania warstwy smarnej można zastosować pośrednie stacje siłowników. Wprowadzenie takich stacji dzieli tunel na sekcje powodując zmniejszenie tarcia do sił występujących w poszczególnych sekcjach, a nie na całej jego długości. W technologii mikrotunelowania stosowane są dwa systemy transportu urobku:

- system hydrauliczny,
- system mechaniczny.

Proces robót wiertniczych jest zdalnie sterowany i kontrolowany ze stanowiska operatora. Za pomocą siłowników lub głowicy urabiającej o specjalnej konstrukcji operator ma możliwość, w ograniczonym zakresie, korygowania trasy mikrotunelu lub wykonywania instalacji o krzywoliniowych

trasach i niweletach. Kontrola pracy wszystkich urządzeń odbywa się w pomieszczeniu operatora zlokalizowanym na powierzchni terenu obok komory startowej, za wyjątkiem maszyn drążących z operatorem pracującym wewnątrz tarczy. Do kontroli geometrii osi mikrotunelu stosowane są zazwyczaj systemy laserowe, a w przypadku przycisków hydraulicznych z wierceniem pilotowym – teleoptyczne.

W przypadku wykonywania mikrotunelu o nieprostoliniowej osi stacja teodolitu laserowego przemieszczana jest wzdłuż punktów odniesienia, lokalizowanych wewnątrz już wykonanego przewodu.

Proces tunelowania jest zakończony w momencie wyjścia głowicy w studni końcowej, która jest tam wepchnięta przez pierwszą z włożonych do studni startowej rur produktowych. Po zakończeniu prac wiertniczych i demontażu głowicy należy odłączyć wszystkie instalacje i urządzenia. Po przeniesieniu głowicy do następnej studni startowej można rozpocząć wykonywanie kolejnego odcinka instalacji.

Bardzo dużym postępem w mikrotunelowaniu jest możliwość wykonywania w tej technologii budowli o nie prostoliniowych trasach. Zmiany kierunku mikrotunelowania po łukach o dużych promieniach (kilkuset metrowych) są możliwe przy użyciu tradycyjnych głowic ze sterowanym hydraulicznie urządzeniem drążącym oraz za pomocą tarcz przegubowych [3].

4.2.3. Wiercenia kierunkowe

Przewierty poziome polegają na wykonaniu w gruncie poziomego otworu przy zastosowaniu wiertnicy ślimakowej. Wyróżnia się przewierty z rurą osłonową lub bez rury osłonowej. Przewierty wykonywane są zarówno z wykopów jak i ze studni o średnicy nie mniejszej niż 2000 mm. Metoda wiercenia kierunkowego polega na:

- a) wykonaniu przecisku (otworu pilotażowego) za pomocą żerdzi demontowanych w komorze odbiorczej; kierunek żerdzi i ich spadek kontrolowany jest za pomocą urządzeń geodezyjnych,
- b) poszerzeniu otworu pilotażowego przy użyciu wiertnicy ślimakowej ułożonej w rurze stalowej (osłonowej),
- c) instalowaniu rur technologicznych wprowadzanych za wiertnicą i rurami osłonowymi, które są demontowane w miarę postępu prac [3].

5. Wzmacnianie, przebudowa i wydłużenie istniejących obiektów inżynierskich za pomocą konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych

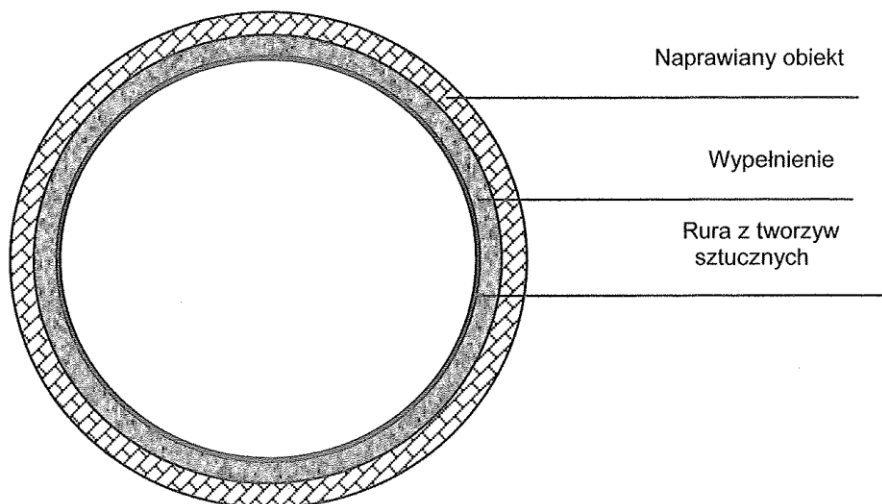
5.1. Wzmacnianie istniejących obiektów inżynierskich za pomocą rur z tworzyw sztucznych

Wzmacnianie istniejących obiektów inżynierskich, zwane też "reliningiem", polega na wprowadzeniu do wnętrza istniejącego obiektu rury z tworzyw sztucznych, a następnie wypełnieniu przestrzeni pomiędzy wzmacnianym obiektem a ścianką rury materiałem, który pozwoli na całkowite i skuteczne jej wypełnienie (rys. 5.1). Metoda ta pozwala na wzmocnienie obiektu bez konieczności zatrzymywania ruchu oraz rozbiórki starego obiektu.

W wyniku wzmocnienia powstaje konstrukcja "quasi" zespolona, która składa się z obiektu wzmacnianego, materiału wypełniającego oraz konstrukcji wzmacniającej, w naszym przypadku rury z tworzyw sztucznych.

Do wypełnienia wolnej przestrzeni stosowane są różne materiały. Najczęściej do tego celu stosowana jest mieszanka betonowa.

Zadaniem materiału wypełniającego jest zapewnienie współpracy obiektu wzmacnianego i rury z tworzywa sztucznego. Z tego też względu bardzo ważne jest prawidłowe wypełnienie tej przestrzeni tak, aby nie dopuścić do powstania pustek powietrznych.



Rys. 5.1. Schemat ideowy obrazujący metodę reliningu.

Dobierając kształt i wymiary konstrukcji wzmacniającej uwzględnić należy:

- kształt istniejącego obiektu,
- wymagane światło obiektu po przebudowie.

Konieczna jest zatem dokładna inwentaryzacja istniejącego obiektu. Aby kształt rury z tworzywa sztucznego był jak najbardziej zbliżony do kształtu obiektu wzmacnianego, często kształt i wymiary konstrukcji wzmacniającej projektuje się indywidualnie.

5.1.1. Sposoby montażu konstrukcji wzmacniającej

Możliwe są trzy sposoby montażu konstrukcji wzmacniającej:

- montaż segmentów rur z tworzyw sztucznych (np. z GRP) wewnątrz obiektu wzmacnianego,
- częściowa prefabrykacja rur z tworzyw sztucznych poza obiektem wzmacnianym, a następnie wprowadzenie zmontowanych segmentów do wnętrza wzmacnianego obiektu i połączenie ich tam,
- całkowita prefabrykacja rur z tworzyw sztucznych poza wzmacnianym obiektem, a następnie wprowadzenie jej do wnętrza obiektu wzmacnianego.

Wybór sposobu montażu konstrukcji uzależniony jest od:

- dostępnej przestrzeni montażowej,
- dostępności terenu w pobliżu wzmacnianego obiektu,
- spodziewanych kosztów montażu.

5.1.2. Rekonstrukcja otoczenia gruntowego

W przypadku wzmacniania obiektu technologią bezwykopową konieczna jest kontrola stanu podłoża pod wzmacnianym obiektem i gruntu w jego otoczeniu w celu ewentualnego:

- wzmocnienia podłoża,
- wypełnienia pustek w gruncie poza obiektem.

5.1.3. Wypełnienie przestrzeni pomiędzy wzmacnianym obiektem a konstrukcją wzmacniającą

Wypełnienie mieszanką betonową

Do wypełnienia wolnej przestrzeni stosować należy betony według projektu technicznego, min. klasy C15/20 w stanie ciekłym. Mogą być również stosowane betony ekspansywne i samozagęszczalne. Ziarna kruszywa nie powinny być większe niż 20 mm. Mieszanki betonowe należy podawać pod ciśnieniem około 0,6 MPa za pomocą podajników pneumatycznych. Wypełnienie przestrzeni musi być wykonywane symetrycznie tak, aby uniknąć jednostronnych przemieszczeń rury. Zapewnić należy właściwe odpowietrzenie wypełnianej przestrzeni poprzez otwory umiejscowione w górnej jej strefie. Otwory te mogą również służyć jako otwory rewizyjne, do kontroli stopnia wypełnienia.

Mieszankę betonową można podawać na wybrane sposoby:

- od lica ścianki czołowej lub deskowania,
- poprzez otwory wykonane w korpusie nasypu i przechodzące przez konstrukcję obiektu wzmacnianego,
- poprzez otwory technologiczne wykonane w konstrukcji rury z tworzyw sztucznych.

Nie ma konieczności zbrojenia przestrzeni pomiędzy istniejącą i nową konstrukcją. Jeżeli jednak takie rozwiązanie zostanie zaprojektowane, to należy zbrojenie to powiązać z istniejącym obiektem. Sposób podawania mieszanki jak również kontroli wypełnienia wolnej przestrzeni powinien być zawarty w części technologicznej projektu wzmacniania lub modernizacji istniejącego obiektu.

W uzasadnionych przypadkach rurę z tworzyw sztucznych należy zabezpieczyć przed przesunięciem pod ciężarem wypełnienia za pomocą rozpór zapewniających odpowiednią jej odległość od ścian istniejącego obiektu. Dotyczy to głównie rur lekkich, o małych gabarytach i przekrojach kołowych. W każdym przypadku należy ciężar wypełnienia, szczególnie mieszanką betonową, uwzględniać jako dodatkowe obciążenie, wymuszające etapowe betonowanie.

Kontrola wypełnienia powinna być dokonywana na etapie betonowania (otwory rewizyjne, odpowietrzenie). Kontrola po zakończeniu robót polega na "osłuchowym" (akustycznym) badaniu wypełnienia przestrzeni między konstrukcją podatną a wzmacnianym obiektem. Naprawa braków wypełnienia polega na wykonaniu otworów w konstrukcji w miejscach ubytków i wypełnieniu ich mieszanką betonową. Należy odpowiednio zabezpieczyć krawędzie konstrukcji rur z tworzyw sztucznych po wykonaniu otworów.



Rys.5.2. Przykład renowacji przepustu.

5.2. Przebudowa istniejących obiektów inżynierskich na rury z tworzyw sztucznych

Przebudowa istniejących obiektów inżynierskich na rury z tworzyw sztucznych, wymaga takiego samego trybu postępowania jak dla konstrukcji

z innych materiałów. Dodatkowo należy uwzględniać wymagania zawarte w niniejszych Zaleceniach.

5.3. Wydłużenie istniejącego obiektu za pomocą rur z tworzyw sztucznych

Przebudowa istniejących obiektów inżynierskich bardzo często wiąże się z ich wydłużeniem, spowodowanym koniecznością poszerzenia korony drogi w obrębie obiektu. W takich przypadkach rura z tworzyw sztucznych jest dłuższa od obiektu wzmacnianego, a wystającą część rury obudowuje się zasypką. Dobór, układanie i zagęszczanie zasypki są takie same jak w przypadku budowy nowych obiektów z rur z tworzyw sztucznych i zostały opisane w punkcie 4.

6. Estetyka obiektów inżynierskich z rur tworzyw sztucznych

Krótki czas wykonania budowli z rur z tworzyw sztucznych jest jedną z ważniejszych zalet, szczególnie w przebudowywanych lub modernizowanych obiektach inżynierskich na drogach publicznych. Należy zwracać uwagę również na estetykę budowanego obiektu. Estetyka obiektów z rur z tworzyw sztucznych związana jest przede wszystkim ze sposobem wykonania i wykończenia wlotu i wylotu rury (roboty te mogą być wykonane po udostępnieniu obiektu do ruchu). Nawet niewielkim nakładem prac i kosztów można znacznie podnieść estetykę obiektu doskonale wpisując go w otoczenie, np. w teren pozamiejski poprzez zastosowanie lokalnego materiału kamiennego, w terenie miejskim lub wręcz w enklawie zabudowy historycznej poprzez zastosowanie obudowy licowej dostosowanej do epoki lub eksponując obiekt w terenie przez zastosowanie kontrastowych, nowoczesnych materiałów i rozwiązań, itd.

Decydując o estetyce obiektu zaleca się, by rozważyć nie tylko:

- **środki finansowe,**
- **preferencje inwestora,**
- **tradycje historyczne,**

ale również przeanalizować:

- **otoczenie** - w którym ma zostać zlokalizowany obiekt, np. rzeźba terenu, charakter terenu miejski oraz pozamiejski i związana z nim architektura, ograniczenia terenowe, itp.,
- **funkcję obiektu** - np. "wtopione" formą i kolorem w otoczenie,
- **dostępność materiałów do wykończenia** - kamień naturalny, kruszywo, prefabrykowane elementy betonowe, elementy ceramiczne, darnina, grunt zbrojony materiałami geotekstylnymi, itp.,
- **technologię wykonania wlotu i wylotu obiektu (głowic)** – sposób ścięcia końców rury.





Pokazane na fotografiach przykłady zrealizowanych obiektów z rur z tworzyw sztucznych dowodzą możliwości wielu rozwiązań inżyniersko – architektonicznych, decydujących o estetyce obiektów. Obiekty te mogą być "wtopione" w otoczenie, mogą być jego wyeksponowanym elementem, przy czym oceny dokonują zawsze użytkownicy.

ZAŁĄCZNIK

PRZYKŁADY WYMIAROWANIA KONSTRUKCJI
PODATNYCH Z RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH
WEDŁUG METODY SKANDYNAWSKIEJ
ZAADOPTOWANEJ DO WYMIAROWANIA
NA OBCIĄŻENIA wg PN-85/S-10030

Poniżej przedstawiono przykłady wymiarowania (weryfikacji) przekrojów konstrukcji podatnych z rur z tworzyw sztucznych według Metody Skandynawskiej zaadoptowanej do wymiarowania na obciążenia według PN-85/S-10030 [11], przy wysokości naziomu wynoszącej 1,0 i 0,5 m, dla standardowego przekroju o średnicy 1,0 m.

Przykład 1:

Założenia:

- średnica rury: $DN = 1,0 \text{ m}$,
- wysokość naziomu $H = 1,0 \text{ m}$,
- klasa obciążenia (wg PN-85/S-10030): A ,
- sztywność obwodowa rury z tworzyw sztucznych: $SN = 8 \text{ kN/m}^2$.

Przepust zasypano gruntem nośnym (piasek gruby i średni lub pospółka – $\gamma_0 = 20 \text{ kN/m}^2$), który w sposób standardowy zagęszczono za pomocą sprzętu ciężkiego do $I_s = 0,95$ (według standardowej próby Proctora).

Dane wyjściowe do projektowania:

- moduł sieciowy gruntu zasypki dla $H = 1 \text{ m}$ i $I_s = 0,95$ wynosi $E_s' = 1800 \text{ kPa}$
(odczytano z wykresu - rys.3.8)
- l_f – składowa ugięcia rury z tworzyw sztucznych, wynikająca z metody montażu [wyrażona w %], przy dużym obciążeniu ruchu i $H < 1,5 \text{ m}$ przyjęto $l_f = 2\%$ (wg tab. 3.1)
- B_f – składowa ugięcia rury z tworzyw sztucznych, wynikająca z warunków posadowienia przepustu, dla podłoża starannie przygotowanego i rury z tworzyw sztucznych wbudowanej pod nadzorem przyjęto $B_f = 1,0 \%$ (wg tab. 3.2)
- q_f – składowa obciążenia rury z tworzyw sztucznych, wywołana przez ciężar własny gruntu:
$$q_f = \gamma_0 \cdot H = 20 \cdot 1,00 = 20 \text{ kN/m}^2$$
- q_{tr} – składowa obciążenia rury z tworzyw sztucznych, wywołana przez obciążenie użytkowe (klasa A);
 $q_{tr} = 45 \text{ kN/m}^2$ dla $H = 1 \text{ m}$ (odczytano z wykresu na rys.3.9)

sumaryczne obciążenie q od ciężaru gruntu i obciążenia użytkowego wynosi:

$$q = q_f + q_{tr} = 20 + 45 = 65 \text{ kN/m}^2$$

Wyznaczenie składowej ugięcia rury od obciążenia naziemem i obciążeniem użytkowym (wg równania 3.7):

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_q = \frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} = \frac{0,083 \cdot 65}{16 \cdot 8 + 0,122 \cdot 1800} = \frac{5,229}{347,6} = 0,0155 = 1,55\%$$

Wyznaczenie całkowitego ugięcia długotrwałego rury (wg równania 3.2):

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_M = \left(\frac{\delta}{D}\right)_q + l_f + B_f$$

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_M = 1,55\% + 2\% + 1\% = 4,55\% < f_{dop.} = 6\%$$

Wniosek:

Ugięcie całkowite długotrwałe rury z tworzyw sztucznych jest mniejsze od dopuszczalnego.

Sprawdzenie stateczności przyjętego przekroju konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych z uwagi na wyboczenie (wg równania 3.9):

Warunek: $q = q_f + q_{tr} < q_{wyb.}$

$$q_{wyb.} = \frac{5,63}{F} \cdot \sqrt{SN \cdot E'_t}$$

gdzie:

F – współczynnik bezpieczeństwa, należy przyjmować $F = 2$;
 $SN = 8 \text{ kN/m}^2$ – sztywność obwodowa rury z tworzyw sztucznych;
 E'_t – moduł styczny zasypki ($E'_t = 2 \cdot E'_s = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ kN/m}^2$);

$$q_{wyb.} = \frac{5,63}{2} \cdot \sqrt{8 \cdot 3600} = 478 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 65 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{wyb}} = 478 \text{ kN/m}^2$$

Przyjęty przekrój rury z tworzywa sztucznego nie ulegnie wyboczeniu.

Przykład 2:

Założenia:

- średnica rury: $DN = 1,0 \text{ m}$,
- wysokość naziomu $H = 0,5 \text{ m}$,
- klasa obciążenia (wg PN-85/S-10030): A ,
- sztywność obwodowa rury z tworzywa sztucznego: $SN = 8 \text{ kN/m}^2$.

Przepust zasypano gruntem nośnym (piasek gruby i średni lub pospółka – $\gamma_0 = 20 \text{ kN/m}^2$), który w sposób standardowy zagęszczono za pomocą sprzętu ciężkiego do $I_s=0,95$ (według standardowej próby Proctora).

Dane wyjściowe do projektowania:

- moduł sieczny gruntu zasypki dla $H = 0,5 \text{ m}$ i $I_s = 0,95$ wynosi $E_s' = 1600 \text{ kPa}$
(odczytano z wykresu - rys.3.8)
- l_f - składowa ugięcia rury z tworzywa sztucznego, wynikająca z metody montażu [wyrażona w %], przy dużym obciążeniu ruchu i $H < 1,5 \text{ m}$ przyjęto $l_f = 2\%$ (wg tab. 3.1)
- B_f - składowa ugięcia rury z tworzywa sztucznego, wynikająca z warunków posadowienia przepustu, dla podłoża starannie przygotowanego i rury z tworzywa sztucznego wbudowanej pod nadzorem przyjęto $B_f = 1,0 \%$ (wg tab. 3.2)
- q_f - składowa obciążenia rury z tworzywa sztucznego, wywołana przez ciężar własny gruntu
$$q_f = \gamma_0 \cdot H = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ kN/m}^2$$
- q_{tr} - składowa obciążenia rury z tworzywa sztucznego, wywołana przez obciążenie użytkowe (klasa A)
$$q_{tr} = 100 \text{ kN/m}^2 \quad \text{dla } H = 0,5 \text{ m} \text{ (odczytano z wykresu na rys. 3.9)}$$

sumaryczne obciążenie q od ciężaru gruntu i obciążenia użytkowego wynosi:

$$q = q_f + q_{tr} = 10 + 100 = 110 \text{ kN/m}^2$$

Wyznaczenie składowej ugięcia rury od obciążenia naziemem i obciążeniem użytkowym (wg równania 3.7):

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_q = \frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} = \frac{0,083 \cdot 110}{16 \cdot 8 + 0,122 \cdot 1600} = \frac{9,13}{323,2} = 0,028 = 2,8\%$$

Wyznaczenie całkowitego ugięcia długotrwałego rury (wg równania 3.2):

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_M = \left(\frac{\delta}{D}\right)_q + l_f + B_f$$

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_M = 2,8\% + 2\% + 1\% = 5,8\% < f_{dop.} = 6\%$$

Wniosek:

Ugięcie całkowite długotrwałe rury z tworzyw sztucznych jest mniejsze od dopuszczalnego.

Sprawdzenie stateczności przyjętego przekroju konstrukcji podatnej z rur z tworzyw sztucznych z uwagi na wyobczenie (wg równania 3.9):

Warunek: $q = q_f + q_{tr} < q_{wyb.}$

$$q_{wyb.} = \frac{5,63}{F} \cdot \sqrt{SN \cdot E'_t}$$

F - współczynnik bezpieczeństwa, należy przyjmować $F = 2$

$SN = 8 \text{ kN/m}^2$ – sztywność obwodowa rury z tworzyw sztucznych;

E'_t - moduł styczny zasypki ($E'_t = 2 \cdot E'_s = 2 \cdot 1600 = 3200 \text{ kN/m}^2$)

$$q_{wyb.} = \frac{5,63}{2} \cdot \sqrt{8 \cdot 3200} = 450 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 110 \text{ kN/m}^2 < q_{wyb.} = 450 \text{ kN/m}^2$$

Przyjęty przekrój rury z tworzyw sztucznych nie ulegnie wyobczeniu.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie
- [2] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Załącznik do Zarządzenia Nr 6 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 24 kwietnia 1997 roku (Wydanie II poprawione). Warszawa, 1997
- [3] MADRYAS C., KOLONKO A., WYSOCKI L., Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002
- [4] PN-EN ISO 9969:1997 Rury z tworzyw termoplastycznych. Oznaczanie sztywności obwodowej
- [5] DIN 16961-2 Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohinnenfläche; Technische Lieferbedingungen (Rury i łączniki z tworzyw termoplastycznych z profilowaną zewnętrzną i gładką wewnętrzną powierzchnią. Warunki techniczne dostawy)
- [6] DIN 53769-3 Prüfung von Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen; Kurzzeit- und Langzeit-Scheiteldruckversuch an Rohren (Badanie rur z tworzyw GRP. Oznaczenie początkowej i długotrwałej sztywności obwodowej)
- [7] JANSON J. E., MOLIN J.: Projektowanie i wykonawstwo sieci zewnętrznych z tworzyw sztucznych; VB Bconsulting Ltd
- [8] ATV-DVWK-A127P Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych
- [9] PB/BM/3 Badanie palności elementów obiektów inżynierskich. Procedura opracowana przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej w Józefowie
- [10] Opinia Centrum Naukowo Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej dotycząca ustalenia warunków palności materiałów sztucznych
- [11] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia

- [12] BAJKOWSKI S., DĄBKOWSKI S. L., JAWOROWSKA B., SZUSTER A., UTRYSKO B.: Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z komentarzem i przykładami. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Wrocław-Żmigród, 2000
- [13] PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [14] BUDZIANOWSKI Z., LESSAER S.: O możliwości obciążenia terenu nad dawno ułożonym rurociągiem podziemnym. Inżynieria i Budownictwo Nr 4/1970
- [15] STAMATELLO H.: Tunele i miejskie budowle podziemne, Warszawa, 1970
- [16] KUCZYŃSKI J.: Budowle sanitarne. PWN Wrocław – Warszawa 1975
- [17] SELLE O.: Statische Berechnung erdverlegter druckloser Betonrohrleitungen in nichtbindigem Erdstoff, Diss. T.H. Leipzig 1978
- [18] DRESCHER G.: Das im Erdreich eingebettetes Rohr. Österreichischer Ingenieur – Zeitschrift, Jahrgang 8/3
- [19] DIN 18134 Plattendruckversuch (Oznaczenie deformacji i parametrów wytrzymałościowych gruntu przez obciążenie płytą)
- [20] PN-B-11110:1996 Surowce skalne lite do produkcji kruszyw łamanych stosowanych w budownictwie drogowym
- [21] PN-B-11111:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa naturalne do nawierzchni drogowych; Żwir i mieszanka
- [22] PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych
- [23] PN-B-11113:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa naturalne do nawierzchni drogowych; Piasek
- [24] PN-B-11114:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni kolejowych
- [25] PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu

Wybrana literatura związana z niniejszymi „Zaleceniami ...”

- CZUDEK H., RADOMSKI W.: „Podstawy mostownictwa”, PWN, Warszawa, 1981 r.
- GŁOMB J.: „Wyposażenie mostów”, WKŁ, Warszawa, 1976 r.
- JASIŃSKI W., ROWIŃSKA W.: “Sprawozdanie z badań sprawdzająco – aprobacyjnych dla rur kanalizacyjnych Icopal DV, kształtek Icopal DV i kinety studzienki kanalizacyjnej Icopal DV”, IBDiM, Żmigród 2000 r.
- JASIŃSKI W., WYSOKOWSKI A.: “Ocena przydatności elementów systemu kanalizacyjnego PECOR-OPTIMA do zastosowania w budownictwie komunikacyjnym”, IBDiM, Żmigród 2001 r.
- JASIŃSKI W., ROWIŃSKA W., WYSOKOWSKI A.: “Ocena przydatności rur kanalizacyjnych HENZE i FRANKISCHE oraz studzienek kanalizacyjnych wykonanych z rur kanalizacyjnych HENZE i FRANKISCHE dla zastosowań w inżynierii komunikacyjnej”, IBDiM, Żmigród 2003 r.
- JASIŃSKI W., ROWIŃSKA W., WYSOKOWSKI A.: “Sprawozdanie z badań sprawdzająco – aprobacyjnych dla rur systemu HOBAS z łącznikami FWC wykonanych z tworzywa GRP metodą odlewania odśrodkowego. Etap I, Etap II: Badanie sztywności obwodowej”, IBDiM, Żmigród 1999 r.
- JASIŃSKI W., ROWIŃSKA W., WYSOKOWSKI A.: “Sprawozdanie z badań aprobacyjnych rur kanalizacyjnych Uporol o średnicach 600mm, 800mm i 1000mm oraz przepustów Uporol o średnicach 800mm, 1000mm i 1200mm wykonanych z polietylenu PEHD/PP”, IBDiM, Żmigród 1998 r.
- JASIŃSKI W., WYSOKOWSKI A.: “Ocena przydatności rur oraz kształtek systemu FLOWTITE do zastosowania w budownictwie komunikacyjnym”, IBDiM, Żmigród 2001 r.
- JASIŃSKI W., WYSOKOWSKI A.: “Ocena przydatności rur NORDCAP PLASTIC wykonanych z tworzywa GFK do zastosowania w budownictwie komunikacyjnym”, IBDiM, Żmigród 2001 r.

- JASIŃSKI W., ROWIŃSKA W., WYSOKOWSKI A.: “Ocena przydatności rur i kształtek systemu kanalizacyjnego PKS dla zastosowań w inżynierii komunikacyjnej”, IBDiM, Żmigród 2002 r.
- PRYGA A., ROWIŃSKA W., WYSOKOWSKI A.: “Sprawozdanie z badania sztywności obwodowej rury Polypipe TU o średnicy 1200 mm”, IBDiM, Żmigród 2001 r.
- WASIUTYŃSKI Z.: „O architekturze mostów”, PWN, Warszawa, 1971 r.
- WYSOKOWSKI A., KORUSIEWICZ L., KUNECKI B.: “Sprawozdanie z wykonanych badań dla konstrukcji z przepustów w systemie MultiPlate i rur DV/AROT OPTIMA. Cz. I: MULTIPLATE; Cz. II: Rury DV/AROT OPTIMA i Helcor”, IBDiM, Żmigród 1999 r.
- Aprobaty Techniczne IBDiM dla rur z tworzyw sztucznych przeznaczonych do stosowania jako przepusty w inżynierii komunikacyjnej
- Katalogi producentów rur podatnych z tworzyw sztucznych

