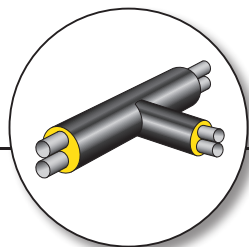
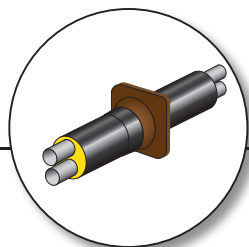
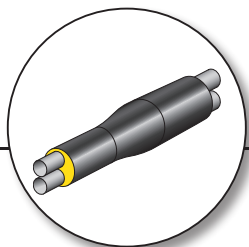


SYSTEMY RUR PREIZOLOWANYCH
RURY PODWÓJNE
PORADNIK PROJEKTANTA



1. Wstęp

Poradnik ten podaje ogólne zasady projektowania preizolowanych sieci ciepłych, wykonywanych w technologii **RADPOL** a zawarte w opracowaniu wskazówki mają za zadanie uprościć wybrane etapy prac projektowych i ułatwić podejmowanie określonych decyzji z tym związanych.

Wskazówki i porady opracowane zostały na bazie norm stosowanych w procesie realizacji sieci ciepłych wykonanych z elementów preizolowanych, a przede wszystkim:

- **PN-EN 13941-1** Rurociągi ciepłownicze – Projektowanie i budowa podziemnych sieci ciepłowniczych z jedno- i dwururowych preizolowanych systemów zespolonych – Część 1: Projektowanie.
- **PN-EN 13941-2** Rurociągi ciepłownicze – Projektowanie i budowa podziemnych sieci ciepłowniczych z jedno- i dwururowych preizolowanych systemów zespolonych – Część 2: Montaż.
- **PN-EN 15698-1** – Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Część 1: Zespół dwururowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszcza osłonowego z polietylenu.
- **PN-EN 15698-2** – Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych podwójnych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Część 2: Kształtki i zespół armatury ze stalowych rur przewodowych, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszcza osłonowego z polietylenu.
- **PN-EN 253** – Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół rurowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszcza osłonowego z polietylenu.
- **PN-EN 489** – Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół złącza stalowych rur przewodowych z izolacją cieplną z poliuretanu i płaszczem osłonowym z polietylenu.
- **PN-EN 14419** – Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – System kontroli i sygnalizacji zagrożenia stanów awaryjnych.
- **PN-EN 10217-2** – Rury stalowe ze szwem do zastosowań ciśnieniowych – Warunki techniczne dostawy – Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych zgrzewane elektrycznie z określonymi właściwościami w temperaturze podwyższonej.
- **PN-EN 10220** – Rury stalowe bez szwu i ze szwem – Wymiary i masy na jednostkę długości.
- **PN-B-10405** – Ciepłownictwo – Sieci ciepłownicze – Wymagania i badania przy odbiorze.

- **prEN 17248** - District heating and district cooling pipe systems – Terms and definitions.
- **PN-C-04601** - Woda do celów energetycznych – Wymagania i badania jakości wody do kotłów wodnych i zamkniętych obiegów ciepłowniczych.
- **PN-EN 10253-2** – Kształtki rurowe do przyspawania doczołowego – Część 2: Stale niestopowe i stopowe ferrytyczne ze specjalnymi wymaganiami dotyczącymi kontroli.
- **PN-EN 1990** – Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- **PN-76/M-34034** – Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia.

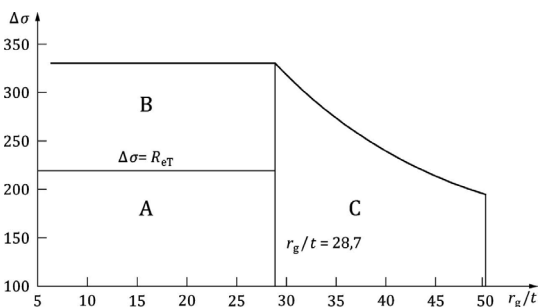
oraz „Reguły dotyczące struktury i redagowania publikacji CEN-CENELEC”.

W opracowaniu przedstawione zostały ogólne wytyczne systemu **TWIN PIPE** – rury podwójne, dotyczące:

- określenia klas projektów,
- obliczania siły od tarcia,
- obliczania długości tarcia,
- naprężeń osiowych,
- obliczeń hydraulicznych,
- obliczeń strat ciepła,
- stosowania poduszek kompensacyjnych,
- budowy sieci ciepłych z wykorzystaniem rur podwójnych.

2. Uwagi ogólne

1. Wszystkie elementy preizolowane systemu **RADPOL**, są wykonywane zgodnie z wymaganiami przedmiotowych norm, a to oznacza, że mogą być stosowane również do budowy sieci ciepłych zaprojektowanych na podstawie wymagań projektowych innych producentów i dostawców systemów preizolowanych, pod warunkiem, że wymagania te zostały opracowane zgodnie z filozofią i założeniami normy **PN-EN 13941**.
2. W przypadkach wykraczających swoim stopniem skomplikowania poza niniejszy zbiór wskazówek prosimy o kontakt z Zespołem Projektowania i Doradztwa Technicznego **RADPOL**.
3. Istotne z punktu widzenia przepisów, dokumentów normalizacyjnych i wymagań są interpretacje używanych zwrotów językowych. Zgodnie z dokumentem „Reguły dotyczące struktury i redagowania publikacji CEN-CENELEC”
 1. **Wymaganie** – wyrażenie w treści dokumentu przekazujące kryteria, które powinny być spełnione, aby stwierdzić zgodność z dokumentem i od którego nie są dopuszczalne żadne odchylenia (3.3.1). Odpowiednia forma słowna w języku polskim: powinien, należy (*Tablica H.1*).
 2. **Zalecenie** – wyrażenie zawarte w treści dokumentu przekazujące, że wśród kilku możliwości jedna jest zalecana jako szczególnie przydatna, bez wymieniania lub wykluczania innych, lub że pewien sposób działania jest preferowany, lecz niekoniecznie wymagany, albo (w formie negatywnej), że pewna możliwość lub sposób działania nie jest zalecany, ale jednocześnie nie jest zabroniony (3.3.2) Odpowiednia forma słowna w języku polskim: zaleca się, jest zalecane (*Tablica H.2*).
4. Zgodnie z wytycznymi normy **PN-EN 13941-1**, z uwagi na zakres stosowanych średnic poniżej **do = 355,6×5,6** oraz zakres naprężeń osiowych $\sigma_{MAX} < ReT$ można przyjąć, że projekty dla sieci ciepłych wykonane z elementów preizolowanych systemu **TWIN PIPE – rury podwójne** są projektami kwalifikującymi się do „klasy A”.



Rysunek 1: Definicja klas projektów – dla rur wykonanych ze stali o granicy plastyczności $Re(23^{\circ}C) = 235 \text{ N/mm}^2$.

Oznacza to, że projekt może zostać wykonany na podstawie katalogów i poradników do projektowania producentów i dostawców elementów preizolowanych pod warunkiem, że zostały one wykonane na podstawie wymagań tej normy.

5. Zgodnie z wytycznymi normy, projektant może podnieść klasę projektu do „**klasy C**” pod warunkiem spełnienia wszystkich wymagań stawianych dla projektów tej klasy.
6. Dla potrzeb opracowania tabel pomocniczych przyjęto dla sieci ciepłej wysokoparametrowej, parametry **125°C/65°C** zaś dla instalacji odbiorczych **90°C/55°C**. Przyjęto również ciężar właściwy materiału łoża piaskowego $\gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3$ i temperaturę montażu $T_{\text{INST}} = 10^\circ\text{C}$.

Spis zawartości

1. Wstęp	1
2. Uwagi ogólne	3
3. Stosowane symbole	10
4. Opis systemu TWIN PIPE – rury podwójne	15
4.1. Budowa	15
4.2. Rury przewodowe	15
4.3. Izolacja termiczna PUR	17
4.4. Osłona polietylenowa	17
4.5. Kotwy mocujące	18
4.6. Zespoły rurowe TWIN PIPE	19
5. Obciążenia działające na zespół rurowy	20
5.1. Siła od temperatury N_T	21
5.2. Siła od ciśnienia wewnętrznego N_p	21
5.3. Siła wywołana tarciem N_F	22
5.4. Siła od „ramienia kompensacji” N_R	25
5.5. Naprężenia od zastosowania kotew mocujących	25
5.6. Naprężenia w obrębie zespołu rurowego	26
6. Technika układania	28
6.1. Naprężenia dopuszczalne	30
6.2. Długość strefy poślizgu L i wydłużenie odcinka	31
6.3. Dopuszczalna długość montażowa LMAX i wydłużenie odcinka	31
6.4. Zestawienie dopuszczalnych długości montażowych	31
7. Obliczenia hydrauliczne	33
7.1. Wykorzystanie arkuszy kalkulacyjnych	33
7.2. Metoda graficzna	35
8. Obliczenie strat ciepła zespołu rurowego TWIN PIPE – rury podwójne	36
9. Wskazania projektowe	41
9.1. Układanie rurociągów	41
9.2. Wykopy	41
9.3. Łoże piaskowe i zasypka	43
9.4. Minimalne przykrycie zespołu rurowego	44
9.5. Maksymalne przykrycie zespołu rurowego	44
9.6. Poduszki kompensacyjne	45
9.7. Kotwy mocujące	46
9.7. Kotwy mocujące	47
9.8.1. Kolana	47
9.8.2. Ukosowanie	49
9.8.3. Rury gięte elastycznie	49
9.9. Kaskady	50

9.10. Odgałęzienia	50
9.11. Armatura odcinająca	51
9.12. Odpowietrzenia	52
9.13. Odwodnienia pionowe	52
9.14. Redukcja średnic	53
9.15. Połączenia z sieciami preizolowanymi wg PN-EN 253	53
9.16. Przejścia przez przegrody budowlane	54
9.17. Rzeczywiste punkty stałe RPS	55
9.18. Izolacja połączeń	55
9.19. Uszczelki końcowe termokurczliwe	55
9.20. Układanie w terenie z uzbrojeniem podziemnym	55
9.20.1. Układanie równoległe	55
9.20.2. Skrzyżowania	56
9.21. System sygnalizacji stanów awaryjnych	57
9.22. Drogi eksploatacyjne	58
10. Kompensacja wydłużeń termicznych	58
11. Tabele pomocnicze	61

Wykaz rysunków

Rysunek 1:	Definicja klas projektów	3
Rysunek 2:	Budowa elementu preizolowanego	15
Rysunek 3:	Kotwy mocujące w elementach preizolowanych wykonanych w systemie rur pdwójnych – TWIN PIPE	18
Rysunek 4:	Schemat obciążeń oddziałujących na rurociąg preizolowany	20
Rysunek 5:	Schemat do obliczeń siły od tarcia	23
Rysunek 6:	Schemat naprężeń osiowych w rurze zasilenia – bez ograniczenia poziomu naprężeń.	26
Rysunek 7:	Schemat naprężeń osiowych w rurze powrotu – bez ograniczenia poziomu naprężeń.	26
Rysunek 8:	Schemat naprężeń osiowych w rurze zasilenia – długość $l \leq L_{MAX}$ ograniczona przez naprężenie dopuszczalne σ_{MAX}	26
Rysunek 9:	Schemat naprężeń osiowych w rurze powrotu – długość $l \leq L_{MAX}$ ograniczona przez naprężenie dopuszczalne σ_{MAX}	27
Rysunek 10:	Naprężenia maksymalne w strefie hamowania	28
Rysunek 11:	Naprężenia maksymalne w stosunku do naprężeń dopuszczalnych.	28
Rysunek 12:	Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu	29
Rysunek 13:	Zastosowanie kolan kompensacyjnych jako swobodnych końców rurociągu.	29
Rysunek 14:	Utrzymanie naprężeń na niższym poziomie niż naprężenia dopuszczalne	29
Rysunek 15:	Nomogram przepływu, doboru średnic i strat ciśnienia	35
Rysunek 16:	Model do obliczeń strat ciepła w rurach podwójnych	36
Rysunek 17:	Schemat założeń do obliczeń strat ciepła metodą superpozycji.	36
Rysunek 18:	Temperatura w układzie symetrycznym (TS) i antysymetrycznym (Ta).	37
Rysunek 19:	Ułożenie elementu TWIN PIPE	41
Rysunek 20:	Porównanie minimalnych wykopów dla rurociągów tej samej średnicy podwójnych oraz pojedynczych, ułożonych z takim samym przykryciem.	42
Rysunek 21:	Granice krzywych przesiewowych dla łoża piaskowego wg PN-EN 13941-2.	43
Rysunek 22:	Miejsca wymagające stosowania kotew w systemie rur podwójnych	46
Rysunek 23:	Przemieszczenie wierzchołka rurociągu i wydłużenia przeliczeniowe	47

Rysunek 24:	Układ zastępczy z wykorzystaniem U-kształtu.	48
Rysunek 25:	Układ zastępczy z wykorzystaniem Z-kształtu.	48
Rysunek 26:	Wymagania dotyczące ukosowania.	49
Rysunek 27:	Parametry charakterystyczne rury giętej elastycznie.	49
Rysunek 28:	Wymagania dotyczące długości odgałęzienia.	50
Rysunek 29:	Odgałęzienie w płaszczyźnie rurociągów.	51
Rysunek 30:	Armatura odcinającej DN (2×80)/160 z zaznaczonym prześwitem włazu Φ 600.	51
Rysunek 31:	Odpowietrzenie na DN (2×80)/160 z zaznaczonym prześwitem włazu Φ 600.	52
Rysunek 32:	Odwodnienie na DN (2×80)/160 z zaznaczonym prześwitem włazu Φ 600.	53
Rysunek 33:	Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ Y.	54
Rysunek 34:	Warunek łączenia rurociągów TWIN PIPE z rurociągami wg PN-EN 253.	54
Rysunek 35:	Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ F.	54
Rysunek 36:	Przejścia przez przegrody budowlane z wykorzystaniem pierścienia gumowego.	54
Rysunek 37:	Przejście przez ścianę z wykorzystaniem kolana pionowego.	54
Rysunek 38:	Geometria układu kompensacji L-kształtowej.	58
Rysunek 39:	Geometria układu kompensacji Z-kształtowej.	58
Rysunek 40:	Geometria układu kompensacji U-kształtowej.	59
Rysunek 41:	Schemat obliczeniowy do określenia lokalizacji naturalnego punktu stałego.	59
Rysunek 42:	Sposoby obkładania rurociągów.	59

Indeks tabel

Tabela 1:	Parametry charakterystyczne	16
Tabela 2:	Parametry charakterystyczne stali P 235 GH ($\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$)	16
Tabela 3:	Parametry charakterystyczne izolacji termicznej PUR.	17
Tabela 4:	Parametry charakterystyczne osłon polietylenowych.	17
Tabela 5:	Wielkość stosowanych kotew mocujących.	18
Tabela 6:	Zestawienie i sposób oznaczania elementów preizolowanych SERIA 1 – Izolacja STANDARD	19
Tabela 7:	Wartości siły tarcia – typoszereg podstawowy SERIA 1 – izolacja STANDARD.	24
Tabela 8:	Obliczenia dla sieci 125°C/65°C	32
Tabela 9:	Obliczenia dla sieci 90°C/55°C	32
Tabela 10:	Współczynniki symetryczne i antysymetryczne do obliczeń strat ciepła – izolacja STANDARD	39
Tabela 11:	Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 Izolacja STANDARD	39
Tabela 12:	Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 1 Izolacja STANDARD	40
Tabela 13:	Odległości w wykopie.	41
Tabela 14:	Minimalne wymiary wykopów dla systemu TWIN PIPE – rury podwójne	42
Tabela 15:	Minimalne wymiary wykopów dla systemu wg PN-EN 253 – rury pojedyncze.	43
Tabela 16:	Maksymalne przykrycie rurociągów	45
Tabela 17:	Wymagania dotyczące poduszek kompensacyjnych	45
Tabela 18:	Wydłużenia dopuszczalne	47
Tabela 19:	Dobór wysięgów układów kompensacji naturalnych	60
Tabela 20:	Zestawienie i sposób oznaczania elementów preizolowanych SERIA 2 i SERIA 3	61
Tabela 21:	Wartości siły tarcia – rurociągi SERIA 2 – IZOLACJA +	61
Tabela 22:	Wartości siły tarcia – rurociągi SERIA 3 – IZOLACJA ++	62
Tabela 23:	Obliczenia dla sieci 125°C/65°C	63
Tabela 24:	Obliczenia dla sieci 125°C/65°C	63
Tabela 25:	Obliczenia dla sieci 90°C/55°C	64
Tabela 26:	Obliczenia dla sieci 90°C/55°C	64
Tabela 27:	Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2 Izolacja +	65
Tabela 28:	Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 3 Izolacja ++	65
Tabela 29:	Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 2 Izolacja +	66
Tabela 30:	Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 3 Izolacja ++	66

3. Stosowane symbole

Poniżej przedstawione zostały symbole użyte na rysunkach, w tabelach oraz we wzorach.

Symbol	Nazwa	Jednostka
A_{MIN}	wydłużenie przy zerwaniu	%
A_S	powierzchnia pierścienia pojedynczej rury stalowej	mm ²
B_K	szerokość kotwy mocującej	mm
C	odległość między osiami rur w elementach TWIN PIPE	mm
d	wymiar komórek PUR w kierunku promieniowym	mm
d_i	średnica wewnętrzna rury stalowej	mm
d_n	średnica nominalna rury stalowej	mm
d_o	średnica zewnętrzna rury stalowej	mm
D_C	średnica zewnętrzna osłony polietylenowej	mm
D_i	średnica wewnętrzna osłony polietylenowej	mm
D_P	grubość poduszek kompensacyjnych o średniej twardości	mm
E	moduł odkształcalności liniowej – Younga	N/mm ² = MPa
E_{PUR}	moduł elastyczności	N/mm ² = MPa
E_T	moduł odkształcalności liniowej – Younga w założonej temperaturze	N/mm ² = MPa
F	siła wywołana tarciem pomiędzy osłoną HDPE a łóżem piaskowym	kN/m
g	przyspieszenie ziemskie	m/s ²
G	ciężar elementu preizolowanego	kN/m
G_{HDPE}	ciężar osłony polietylenowej w 1 m elementu preizolowanego	kN/m
G_{PUR}	ciężar izolacji termicznej w 1 m elementu preizolowanego	kN/m
G_{ST}	ciężar rur przewodowych w 1 m elementu preizolowanego	kN/m

G_W	ciężar wody wewnątrz rur przewodowych	kN/m
H	przykrycie rurociągu	m
h_a	współczynnik antysymetryczny do obliczeń strat ciepła	–
H_K	(w części rysunkowej) wysokość kotwy mocującej typu A	mm
h_s	współczynnik symetryczny do obliczeń strat ciepła	–
H_W	zagłębienie poziomu zwierciadła wód gruntowych	m
k	chropowatość przewodu rurowego	mm lub m
K_O	współczynnik parcia spoczynkowego gruntu	–
L	długość odcinka tarcia	m
l	długość rozpatrywanego odcinka rurociągów (również L_1 , L_2 , L_{ODG})	
L_{MAX}	długość montażowa dla zespołu rurowego	m
L_O	maksymalna odległość między sąsiadującymi wolnymi końcami	m
L_P	odległość między rurami przewodowymi w elementach TWIN PIPE	mm
M_1	odległość między rurociągami preizolowanymi wg PN-EN 253	mm
M_2	odległość między osłoną HDPE a ścianą wykopu	mm
N_X	siła osiowa	N lub kN
N_F	składowa siły osiowej wywołanej oporem gruntu	N lub kN
N_P	składowa siły osiowej wywołanej ciśnieniem wewnętrznym	N lub kN
N_R	siła od kompensacji i od poprzecznej reakcji gruntu	N lub kN
N_T	składowa siły osiowej wywołanej różnicą temperatury	N lub kN
q	straty ciepła zespołu rurowego	W/m
q_A	składowa układu antysymetrycznego w obliczeniach strat ciepła	W/m

q_F	straty ciepła rurociągu zasilającego	W/m
q_R	straty ciepła rurociągu powrotnego	W/m
q_s	składowa układu symetrycznego w obliczeniach strat ciepła	W/m
Re	(w hydraulice) liczba Reynoldsa	–
Re_T	granica plastyczności w założonej temperaturze	N/mm ²
Re_{MIN}	minimalna granica plastyczności	N/mm ²
R_I	opory liniowe przepływu	Pa/m
R_O	współczynnik uwzględniający wymianę ciepła gruntu i powietrza	m ² K/W
R_{MIN}	minimalny promień elastycznego gięcia zespołu rurowego	m
s	grubość ścianki stalowej rury przewodowej	mm
s_C	grubość ścianki płaszczu osłonowego	mm
T	(w obliczeniach kotew) grubość kotwy mocującej	mm
T	temperatura	°C
T_A	temperatura dla układu antysymetrycznego	°C
T_F lub t_F	temperatura czynnika w rurociągu zasilającym	°C
T_{INST}	temperatura montażu	°C
T_R lub t_R	temperatura czynnika w rurociągu powrotnym	°C
t_S	temperatura nienaruszonego gruntu na poziomie rurociągów	°C
T_S	temperatura dla układu symetrycznego	°C
T_{\pm}	tolerancja grubości ścianki rury stalowej	mm
w	prędkość przepływu czynnika grzewczego	m/s
W_1, W_2	(w geometrii trasy) wydłużenie przeliczeniowe	mm
Z, Z_1, Z_2	zagłębienie osi zespołu rurowego	m
Z	(w hydraulice) opory miejscowe	Pa/m
Z_C	zastępcze zagłębienie osi zespołu rurowego	m

Symbole greckie

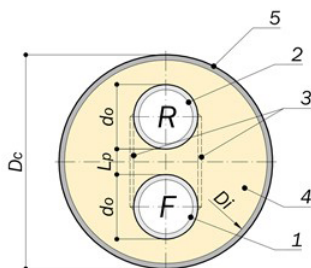
α	współczynnik rozszerzalności liniowej stali	1/K
α	(w geometrii trasy) kąt odchylenia osi rurociągów	°
α_{HDPE}	współczynnik rozszerzalności liniowej polietylenu HDPE	1/K
α_T	współczynnik rozszerzalności liniowej w założonej temperaturze	1/K
γ	(w obliczeniach strat ciepła) zmienna pomocnicza	–
γ_m	współczynnik bezpieczeństwa	–
γ_s	ciężar właściwy zasypki	kN/m ³
γ_{ST}	ciężar właściwy stali	kN/m ³
γ_{SW}	ciężar właściwy szkieletu piaskowego	kN/m ³
γ'_{SW}	ciężar właściwy piasku mokrego	kN/m ³
γ_w	ciężar właściwy wody	kN/m ³
δ	kąt tarcia między gruntem a rurociągiem	°
δ	przesunięcie swobodnego końca rurociągu	mm
δ_w	przesunięcie wypadkowe swobodnego końca rurociągu	mm
δ_{MAX}	wydłużenie wolnego końca dla maksymalnej długości ułożenia LMAX	mm
Δp	strata ciśnienia	Pa
ΔT	różnica lub przyrost temperatury	K
ΔT_T	przyrost temperatury dla zespołu rurowego	K
ε	względna chropowatość przewodu rurowego	–
ε_{gr}	względna chropowatość graniczna przewodu rurowego	–
λ	(w hydraulice) współczynnik oporów miejscowych	–
ζ	współczynnik oporów miejscowych	–
λ_{50}	współczynnik przewodzenia ciepła dla PUR w temperaturze 50°C	W/mK

λ_{HDPE}	współczynnik przewodzenia ciepła polietylenu HDPE	W/mK
λ_i	współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego – PUR	W/mK
λ_s	współczynnik przewodzenia ciepła zasypki – piasku	W/mK
μ	współczynnik tarcia	–
ν	w wytrzymałości – współczynnik Poissona dla stali = 0,3	–
ν	w hydraulice – lepkość dynamiczna	m ² /s
π	3, 14...	–
ρ_{SR}	gęstość minimalna pianki PUR na końcach rur – gęstość średnia	kg/m ³
ρ_{HDPE}	minimalna gęstość polietylenu HDPE	kg/m ³
σ	(w obliczeniach strat ciepła) zmienna pomocnicza	–
$\sigma_{10\%}$	wytrzymałość na ściskanie w kierunku promieniowym	N/mm ²
$\sigma_{\Delta T}$	naprężenie osiowe od zastosowania kotew mocujących	N/mm ²
σ_{DOP}	dopuszczalne naprężenia osiowe	N/mm ²
σ_F	naprężenie osiowe w rurze zasilającej	N/mm ²
σ_{MAX}	maksymalne dopuszczalne naprężenia osiowe	N/mm ²
σ_P	naprężenie obwodowe wskutek nadciśnienia	N/mm ²
σ_R	naprężenie osiowe w rurze powrotnej	N/mm ²
σ_X	średnie naprężenie osiowe od odchylenia temperatury	N/mm ²
T_{ax}	wytrzymałość na ścinanie osiowe pianki PUR	N/mm ²
T_{tan}	wytrzymałość na ścinanie styczne pianki PUR	N/mm ²
φ lub φ'	kąt tarcia wewnętrznego gruntu	°
ψ	skorygowana wartość komórek zewnętrznych	%

4. Opis systemu TWIN PIPE – rury podwójne

System preizolowanych rur podwójnych **TWIN PIPE** stanowi kolejną propozycję budowy sieci ciepłych z przygotowanych uprzednio w warunkach zakładu produkcyjnego elementów preizolowanych do bezpośredniego układania w gruncie.

4.1. Budowa



Rysunek 2: Budowa elementu preizolowanego – wykonanego w systemie rur podwójnych – TWIN PIPE.

- (1) rura stalowa zasilenia, (2) rura stalowa powrotu, (3) kotwy mocujące,
(4) izolacja termiczna PUR, (5) osłona polietylenowa

Element preizolowany, którego przekrój przedstawiony został na rysunku, składa się z dwóch rur przewodowych stalowych (1) i (2) ułożonych równolegle jedna nad drugą, w osłonie polietylenowej (5) wypełnionej materiałem izolacyjnym – sztywną pianką poliuretanową (4).

W niewrażliwych miejscach rurociągi stalowe łączone są za pomocą specjalnie dobranych kotew mocujących (3).

4.2. Rury przewodowe

Jako rury przewodowe stosowane są rury stalowe wykonane ze stali **P 235 GH** zgodnie z normą **PN-EN 10217-2**.

Typoszerzeg stosowanych przez **RADPOL** rur stalowych przedstawiony został w tabeli nr 1.

Tabela 1: Parametry charakterystyczne stosowanych rur stalowych.

dn	d _o [mm]	s [mm]	T± [mm]	A _s [mm ²]	G _s [kN/m]
20	26,9	2,6	0,3	198,5	0,0153
25	33,7	2,6	0,3	254,0	0,0196
32	42,4	2,9	0,3	359,9	0,0277
40	48,3	2,9	0,3	413,6	0,0319
50	60,3	2,9	0,3	522,9	0,0403
65	76,1	2,9	0,3	666,9	0,0514
80	88,9	3,2	0,3	861,6	0,0663
100	114,3	3,6	0,4	1252,0	0,0964
125	139,7	3,6	0,4	1539,3	0,1185
150	168,3	4,0	0,5	2064,7	0,1590
200	219,1	4,5	0,5	3033,8	0,2336

W zakresie średnic od **dn 20 mm** do **dn 40 mm** stosowane są pogrubione ścianki rur stalowych w stosunku do normy **PN-EN 253**.

Parametry stali w zależności od temperatury przedstawione zostały w tabeli 2.

Tabela 2: Parametry charakterystyczne stali P 235 GH ($\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$).

Parametr	Wartości przedstawionych parametrów w temperaturze:									
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C
E _T N/mm ²	211143	210571	210000	209429	208857	208286	207714	207143	206571	206000
α _T mm/(mK)	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25
α E N/(mm ² K)	2,49	2,51	2,5	2,51	2,53	2,54	2,55	2,55	2,56	2,58
Re _T N/mm ²	227,0	224,0	221,0	219,0	216,0	213,0	210,0	207,0	205,0	202,0
σ _{0,2p} N/mm ²	206,0	204,0	201,0	199,0	196,0	194,0	191,0	188,0	186,0	184,0

Dla potrzeb wspomagania obliczeń projektowych przy użyciu arkuszy kalkulacyjnych, parametry stali można obliczyć na podstawie poniższych wzorów:

- granica plastyczności stali

$$R_{eT} = 227 - 0,28 \cdot (T - 50) \quad \text{w zakresie } T \leq 140^\circ \text{C} \quad \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (1)$$

- moduł Younga

$$E_T = \left(21,4 - \frac{T}{175} \right) \cdot 10^4 \quad \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

- współczynnik rozszerzalności liniowej

$$\alpha_T = \left(11,4 + \frac{T}{129} \right) \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{K} \quad (3)$$

Użyte we wzorach symbole są zgodne z rozdziałem nr 3.

4.3. Izolacja termiczna PUR

Wymagania dla stosowanej izolacji termicznej przedstawia poniższa tabela.

Tabela 3: Parametry charakterystyczne izolacji termicznej PUR.

Wyszczególnienie	Symbol	Jedn. miary	Wymagania wg PN-EN 253
Współczynnik przewodzenia ciepła dla PUR w temperaturze 50 °C	λ_{50}	W/(mK)	$\leq 0,029$
Gęstość minimalna na końcach rur	ρ_{SR}	kg/m ³	≥ 55
Wytrzymałość na ściskanie w kierunku promieniowym	$\sigma_{10\%}$	N/mm ²	0,3
Wytrzymałość na ścinanie osłowe w temperaturze pokojowej (23 ±2) °C	τ_{ax}	N/mm ²	0,12
Wytrzymałość na ścinanie osłowe w temperaturze (140 ±2) °C	τ_{ax}	N/mm ²	0,08
Wytrzymałość na ścinanie styczne	τ_{TAN}	N/mm ²	0,2
Wymiar komórek w kierunku promieniowym	d	mm	$\leq 0,5$
Skorygowana zawartość komórek zamkniętych w PUR	ψ	%	≥ 88
Chłonność wody przez PUR – po gotowaniu	WA	%	$\leq 10\%$
Moduł sprężystości w temperaturze pokojowej (23 ±2) °C	E_{PUR}	N/mm ²	10,0
Moduł sprężystości w temperaturze pokojowej (140 ±2) °C	E_{PUR}	N/mm ²	6,5
Współczynnik bezpieczeństwa przy rozstawie sąsiadujących kolan do 20 m	γ_m	-	2,0
Współczynnik bezpieczeństwa przy rozstawie sąsiadujących kolan powyżej 20 m	γ_m	-	3,0

W związku, z deklarowaną trwałością pianki poliuretanowej w temperaturze pracy ciągłej 140°C materiał ten nadaje się do stosowania w sieciach ciepłych o projektowanej trwałości 50 lat zgodnie z normami **PN-EN-13941-1** oraz **PN-EN 1990**.

4.4. Osłona polietylenowa

Osłona wykonana jest w postaci rury polietylenowej HDPE wysokiej gęstości spełniającej wymagania normy **PN-EN 253**.

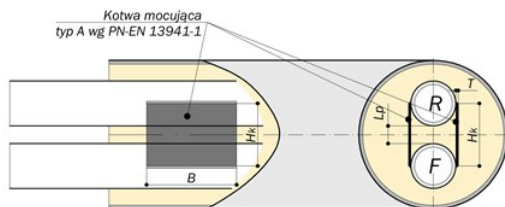
Tabela 4: Parametry charakterystyczne osłon polietylenowych.

Wyszczególnienie	Symbol	Jedn. miary	Wielkość
Współczynnik przewodzenia ciepła dla HDPE	λ_{HDPE}	W/(mK)	$\leq 0,43$
Gęstość minimalna	ρ_{HDPE}	kg/m ³	≥ 944
Granica plastyczności	$R_{e,MIN}$	N/mm ²	19,0
Współczynnik rozszerzalności liniowej	α_{HDPE}	1/K	0,00018
Wydłużenie przy zerwaniu	A_{MIN}	%	350,00
Odporność na uderzenia	-	°C	> -50

4.5. Kotwy mocujące

W newralgicznych miejscach sieci ciepłej, którymi są przede wszystkim kształtki, rury przewodowe połączone są ze sobą kotwami mocującymi, będącymi odpowiednio zaprojektowanymi na etapie produkcji systemu płytami stalowymi.

W systemie **TWIN PIPE** – rury podwójne, wyprodukowanym w technologii **RADPOL** stosowane są kotwy mocujące „**typ A**” zaprojektowane zgodnie z **PN-EN 13941-1**.



Rysunek 3: Kotwy mocujące w elementach preizolowanych wykonanych w systemie rur podwójnych – TWIN PIPE.

Poniższa tabela przedstawia wielkości używanych kotew.

Tabela 5: Wielkość stosowanych kotew mocujących.

dn	d ₀ [mm]	L _p [mm]	B [mm]	H [mm]	g [mm]
20	26,9	19,0	50,0	46,0	4,0
25	33,7	19,0	50,0	53,0	4,0
32	42,4	19,0	50,0	61,0	4,0
40	48,3	19,0	50,0	67,0	4,0
50	60,3	20,0	70,0	80,0	4,0
65	76,1	20,0	90,0	96,0	4,0
80	88,9	25,0	110,0	114,0	6,0
100	114,3	25,0	140,0	139,0	6,0
125	139,7	30,0	170,0	170,0	6,0
150	168,3	40,0	200,0	208,0	6,0
200	219,1	45,0	260,0	264,0	8,0

Wymiary stosowanej spoiny oraz wielkość płyt mocujących zostały tak dobrane, aby powierzchnia spoiny przenosiła siły ścinające wywołane różnicą temperatury pomiędzy rurociągami zasilenia i powrotu, a także, aby płyta mocująca nie spowodowała odkształcenia rury.

4.6. Zespoły rurowe TWIN PIPE

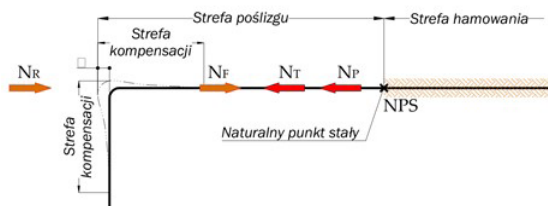
W technologii produkcyjnej RADPOL produkowane są zespoły rurowe spełniające wymagania i warunki norm **PN-EN 15698-1** oraz **PN-EN 15698-2**. Typoszereg podstawowy, określony jako **SERIA 1** w normie **PN-EN 15698-1**, z izolacją standardową, przedstawia się następująco:

Tabela 6: Zestawienie i sposób oznaczania elementów preizolowanych SERIA 1 – Izolacja STANDARD.

Rury stalowe						Seria 1 IZOLACJA STANDARD		
dn	d _o [mm]	s [mm]	T± [mm]	Lp [mm]	A _s [mm ²]	Da [mm]	s [mm]	oznaczenie [-]
20	26,9	2,6	0,3	19,0	198,5	125	3,0	DN (2x20)/125
25	33,7	2,6	0,3	19,0	254,0	140	3,0	DN (2x25)/140
32	42,4	2,9	0,3	19,0	359,9	160	3,0	DN (2x32)/160
40	48,3	2,9	0,3	19,0	413,6	160	3,0	DN (2x40)/160
50	60,3	2,9	0,3	20,0	522,9	200	3,2	DN (2x50)/200
65	76,1	2,9	0,3	20,0	666,9	225	3,4	DN (2x65)/225
80	88,9	3,2	0,3	25,0	861,6	250	3,6	DN (2x80)/250
100	114,3	3,6	0,4	25,0	1252,0	315	4,1	DN (2x100)/315
125	139,7	3,6	0,4	30,0	1539,3	400	4,8	DN (2x125)/400
150	168,3	4,0	0,5	40,0	2064,7	450	5,2	DN (2x150)/450
200	219,1	4,5	0,5	45,0	3033,8	560	6,0	DN (2x200)/560

Tabela dotycząca typoszeregów oznaczonych w normie **PN-EN 15698-1** jako **SERIA 2** i **SERIA 3** znajduje się w rozdziale **12. Tabele pomocnicze.**

5. Obciążenia działające na zespół rurowy



Rysunek 4: Schemat obciążeń oddziałujących na rurociąg preizolowany.

N_T – siła od temperatury, N_p – siła od ciśnienia, N_F – siła wywołana tarciem, N_R – siła od ramienia kompensacji

Na rysunku nr 4 przedstawiono obciążenia, które wywierają bezpośredni wpływ na pracujący rurociąg preizolowany wykonany w systemie **TWIN PIPE** – rury podwójne.

Specyfiką konstrukcji zespołu rurowego jest przenoszenie obciążeń występujących w rurach przewodowych, poprzez izolację ze sztywnej pianki poliuretanowej, na osłonę polietylenową (siły wewnętrzne na zewnątrz) oraz przenoszenie obciążeń pojawiających się „od zewnątrz” na osłonę polietylenowej, poprzez izolację, na rury przewodowe (siły zewnętrzne do wnętrza).

Dodatkowo w obrębie systemu **TWIN PIPE**, powstają siły w wyniku naprężeń wywołanych połączeniem na stałe ze sobą dwóch rur, posiadających różną temperaturę roboczą. Naprężenia te mają wpływ na wytrzymałość poszczególnych rur, jednak z uwagi na swoją specyfikę nie dają bezpośrednich efektów na zewnątrz zespołu rurowego.

Na rysunku pokazane są także:

- **strefa poślizgu** – zwana również odcinkiem tarcia – odcinek, na długości którego obserwowany jest ruch sieci preizolowanej w gruncie,
- **strefa hamowania** – odcinek lub miejsce zwane naturalnym punktem stałym (NPS) gdzie występuje równowaga sił,
- **strefy kompensacji** – fragmenty sieci przylegające do wierzchołka kolana, które podlegają odkształceniom poprzecznym.

5.1. Siła od temperatury N_T

W rurociągach preizolowanych jedną ze składowych siły od temperatury jest siła wywołana naprężeniami wywołanymi przyrostem temperatur, który w systemie TWIN PIPE – rury podwójne obliczamy jako:

$$\Delta T_T = \frac{T_F + T_R}{2} - T_{inst} \quad (4)$$

naprężenia osiowe przyjmują wartość:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T \quad (5)$$

zaś siła osiowa:

$$N_T = 2 \cdot A \cdot (E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T) \quad (6)$$

5.2. Siła od ciśnienia wewnętrznego N_p

W rurociągach poddanych ciśnieniu wewnętrznemu powstają naprężenia, dążące do zwiększenia jego średnicy – tak zwane naprężenia obwodowe (południkowe). Wartość ich można wyliczyć na podstawie:

$$\sigma_p = \frac{p \cdot d_i}{2 \cdot s} \quad (7)$$

Jeśli rurę zakończymy dennicą (lub na przykład kolanem) powstaną również naprężenia osiowe (równoległe), których wartość można wyliczyć na podstawie:

$$\sigma_x = \frac{p \cdot d_i}{4 \cdot s} \quad (8)$$

jak widać

$$\sigma_x = 0,5 \cdot \sigma_p \quad (9)$$

Dodatkowo, zgodnie z prawem Hooke'a naprężenia obwodowe będą powodować skracanie rurociągu przez powstanie dodatkowych naprężeń osiowych o wartości

$$\sigma_x = -\nu \cdot \sigma_p \quad (10)$$

stąd w interesującej nas osi rurociągu uzyskamy naprężenia osiowe wywołane ciśnieniem czynnika o wartości

$$\sigma_x = (0,5 - \nu) \cdot \sigma_p \quad (11)$$

Siła osiowa powstała w wyniku tych naprężeń osiągnie wartość

$$N_p = 2 \cdot A \cdot (0,5 - \nu) \cdot \sigma_p \quad (12)$$

5.3. Siła wywołana tarciem N_f

Wraz z pojawieniem się ruchu zespołu rurowego w gruncie, wywołanego odkształcaniem się rur przewodowych pod wpływem przyrostu temperatury, pojawi się również opór gruntu, którego wielkość będzie uzależniona od:

- współczynnika tarcia między osłoną polietylenową a zasypką

$$\mu = \tan \delta \quad (13)$$

gdzie kąt tarcia między gruntem a rurociągiem

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot \varphi \quad (14)$$

- efektywnych naprężeń gruntu na poziomie osi rurociągu liczonych ze wzoru

$$\sigma_v = \gamma_s \cdot Z \text{ dla } (H_w \geq Z) \quad (15)$$

jeśli poziom wód gruntowych jest poniżej osi zespołu rurowego lub ze wzoru

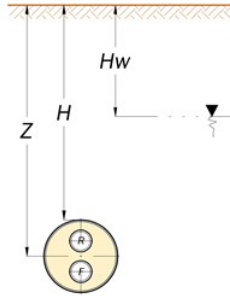
$$\sigma_v = \gamma_s \cdot H_w + \gamma_{sw} \cdot (Z - H_w) \text{ dla } (H_w < Z) \quad (16)$$

gdzie

$$\gamma_{sw} = \gamma'_{sw} - \gamma_w \quad (17)$$

a

$$Z = H + \frac{D_C}{2} \quad (18)$$



Rysunek 5: Schemat do obliczeń siły od tarcia.

Jak widać na rysunku, górna tworząca osłony polietylenowej obciążona jest tylko ciężarem gruntu i nawierzchni (zazwyczaj w obliczeniach tabelarycznych pomijanej). Dolna tworząca dodatkowo obciążona jest ciężarem zespołu rurowego wraz z wodą.

$$G = G_{ST} + G_W + G_{PUR} + G_{HDPE} \quad (19)$$

którego poszczególne składowe można obliczyć ze wzorów:

$$G_{ST} = 2 \cdot \{ \pi \cdot (d_o - s) \cdot s \cdot \gamma_{ST} \} \quad (20)$$

ciężar stali,

$$G_{PUR} = \left\{ \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} - 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \right\} \cdot \gamma_{PUR} \quad (21)$$

ciężar izolacji termicznej,

$$G_{HDPE} = \pi \cdot (D_C - s_C) \cdot s_C \cdot \gamma_{HDPE} \quad (22)$$

ciężar osłony polietylenowej oraz

$$G_W = 2 \cdot \left\{ \frac{\pi \cdot (d_o - 2 \cdot s)^2}{4} \cdot \gamma_W \right\} \quad (23)$$

ciężar wody.

Odnosząc obliczenia do efektywnych naprężeń gruntu na poziomie osi rurociągu, należy jeszcze uwzględnić:

- średnicę osłony zespołu rurowego DC,
- jego ciężar oraz
- wprowadzić korektę związaną zastąpieniem części gruntu zespołem rurowym.

Wówczas siła od tarcia w przeliczeniu na jednostkę długości rurociągu można obliczyć ze wzoru:

$$F = \mu \cdot \left(\frac{(1 + K_o)}{2} \cdot \gamma_s \cdot Z \cdot \pi \cdot D_c + G - \gamma_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_c}{2} \right)^2 \right) \text{ dla } (H_W > Z) \quad (24)$$

dla układania powyżej wód gruntowych oraz

$$F = \mu \cdot \left(\frac{(1 + K_o)}{2} \cdot (\gamma_s \cdot H_W + \gamma_{sw} \cdot (Z - H_W)) \cdot \pi \cdot D_c + G - \gamma_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_c}{2} \right)^2 \right) \text{ dla } (H_W < Z) \quad (25)$$

w przeciwnym przypadku.

Ostatecznie siła od tarcia oddziałująca na przekrój wyniesie:

$$N_F = F \cdot l \quad (26)$$

gdzie l jest odległością rozpatrywanego przekroju, od swobodnego końca rurociągu.

W tabeli poniżej przedstawiono jednostkową siłę tarcia dla typoszeregu podstawowego **SERII 1 – izolacja standard**. Dla **SERII 2** i **SERII 3** tabele z wartościami umieszczone zostały w rozdziale: **Tabele pomocnicze**.

Tabela 7: Wartości siły tarcia – typoszereg podstawowy SERIA 1 – izolacja STANDARD.

SERIA 1 - izolacja STANDARD	Rury stalowe				Osłona Dc [mm]	F - siła tarcia na jednostkę długości [kN/m] dla przykrycia H:						
	dn	d _o [mm]	s [mm]	A _s [mm ²]		H=0,8	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
DN (2x20)/125	20	26,9	2,6	198,5	125	1,75	2,17	2,59	3,01	3,44	3,86	3,44
DN (2x25)/140	25	33,7	2,6	254,0	140	1,97	2,44	2,91	3,39	3,86	4,33	3,86
DN (2x32)/160	32	42,4	2,9	359,9	160	2,27	2,81	3,35	3,88	4,43	4,96	4,43
DN (2x40)/160	40	48,3	2,9	413,6	160	2,27	2,81	3,35	3,89	4,43	4,97	4,43
DN (2x50)/200	50	60,3	2,9	522,9	200	2,87	3,54	4,22	4,89	5,57	6,24	5,57
DN (2x65)/225	65	76,1	2,9	666,9	225	3,26	4,02	4,78	5,53	6,30	7,05	6,30
DN (2x80)/250	80	88,9	3,2	861,6	250	3,65	4,50	5,34	6,18	7,03	7,87	7,03
DN (2x100)/315	100	114,3	3,6	1252,0	315	4,69	5,75	6,82	7,88	8,95	10,01	8,95
DN (2x125)/400	125	139,7	3,6	1539,3	400	6,08	7,43	8,77	10,12	11,48	12,83	11,48
DN (2x150)/450	150	168,3	4,0	2064,7	450	6,96	8,47	9,99	11,51	13,04	14,55	13,04
DN (2x200)/560	200	219,1	4,5	3033,8	560	8,94	10,83	12,72	14,60	16,51	18,40	16,51

5.4. Siła od „ramienia kompensacji” N_R

Dodatkowym obciążeniem występującym w preizolowanych sieciach ciepłych wywołującym naprężenia w przekroju zespołu rurowego jest reakcja poprzecznego ramienia kompensacyjnego będąca składową obciążeń pochodzących od odkształceń rury przewodowej oraz, a raczej przede wszystkim, od parcia gruntu na płaszcz osłonowy ramienia poprzecznego.

Norma PN-EN 13941-1 określa, że siła ta powoduje skrócenie długości tarcia czy redukcję przemieszczenia swobodnego na poziomie nawet do 25% wartości obliczeniowej tych wielkości.

Reakcja ta jest trudna do policzenia bez użycia specjalistycznego oprogramowania symulującego rurociąg ułożony na sprężystym podłożu, ale dla potrzeb obliczeń wstępnych można przyjąć, że przy zastosowaniu poduszek kompensacyjnych jej wartość może wynieść:

$$N_R = 0,1 \cdot F \cdot l \quad (27)$$

5.5. Naprężenia od zastosowania kotew mocujących

W systemie **TWIN PIPE** – rury podwójne, dodatkowe naprężenia w rurach przewodowych wywołane są zastosowaniem kotew mocujących, łączących na stałe rury o różnej temperaturze i zależą od różnicy temperatury między rurociągiem zasilającym i rurociągiem powrotnym.

Naprężenia te wyniosą:

$$\sigma_{\Delta T} = E \cdot \alpha \cdot \frac{T_F - T_R}{2} \quad (28)$$

Uwzględniając naprężenia osiowe w przekroju rury stalowej dla strefy hamowania

$$\sigma_X = -(E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T - \nu \cdot \sigma_P) \quad (29)$$

czy strefy poślizgu

$$\sigma_X = -\frac{F \cdot l}{2 \cdot A} + \frac{1}{2} \cdot \sigma_P - \frac{N_R}{2 \cdot A} \quad (30)$$

uzyskujemy naprężenia osiowe w rurze zasilającej:

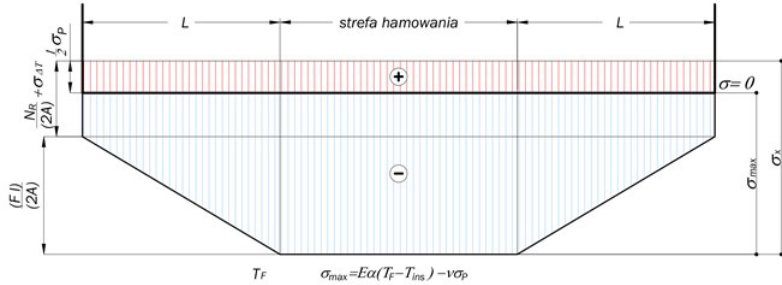
$$\sigma_F = \sigma_X - \sigma_{\Delta T} \quad (31)$$

i rurze powrotnej

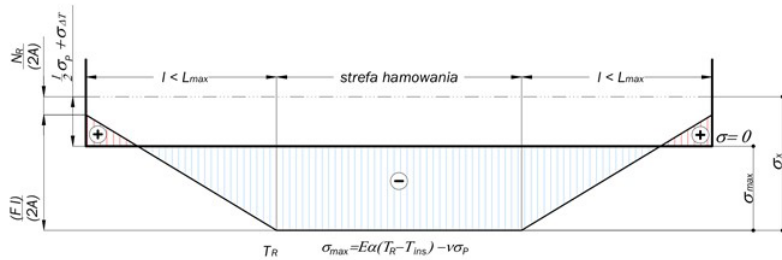
$$\sigma_R = \sigma_X + \sigma_{\Delta T} \quad (32)$$

5.6. Naprężenia w obrębie zespołu rurowego

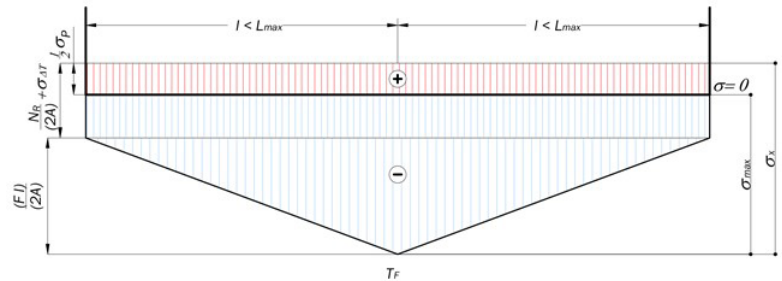
Na czterech kolejnych rysunkach przedstawione zostały wykresy naprężeń, ze wskazaniem sił odpowiedzialnych za ich powstanie powstających w rurociągach zasilającym i powrotnym.



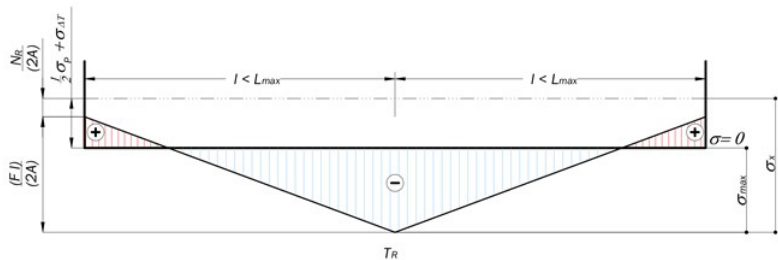
Rysunek 6: Schemat naprężeń osiowych w rurze zasilania – bez ograniczenia poziomu naprężeń.



Rysunek 7: Schemat naprężeń osiowych w rurze powrotu – bez ograniczenia poziomu naprężeń.



Rysunek 8: Schemat naprężeń osiowych w rurze zasilania – długość $l \leq L_{\max}$ ograniczona przez naprężenie dopuszczalne σ_{\max} .



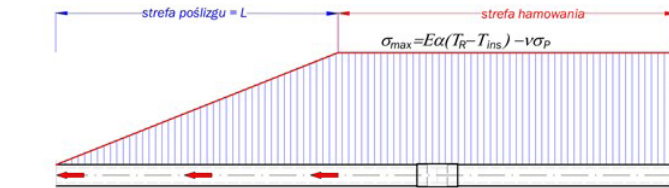
Rysunek 9: Schemat naprężeń osiowych w rurze powrotu
 – długość $l \leq L_{MAX}$ ograniczona przez naprężenie dopuszczalne σ_{MAX} .

6. Technika układania

W rurociągach wraz ze wzrostem temperatury naprężenia osiągają wartość maksymalną na poziomie, który możemy obliczyć ze wzoru:

$$\sigma_{max} = E \cdot \alpha \cdot (T_F - T_{inst}) - \nu \cdot \sigma_P \quad (33)$$

W rurociągach **TWIN PIPE** – rury podwójne maksymalne naprężenia powstają w rurociągu zasilającym przy temperaturze TF i występują w strefie hamowania.

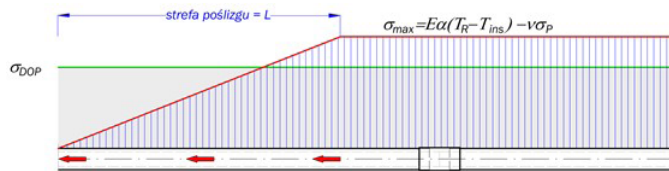


Rysunek 10: Naprężenia maksymalne w strefie hamowania.

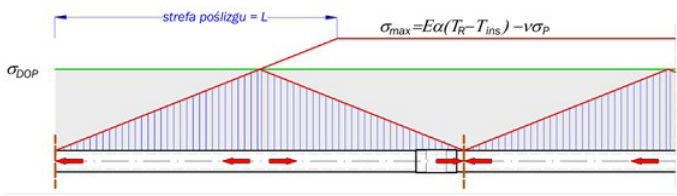
Jeśli naprężenia maksymalne przekraczają wartość naprężeń dopuszczalnych liczonych ze wzoru

$$\sigma_{MAX} > \sigma_{DOP} = \frac{R_e T}{\gamma_m} \quad (34)$$

to projektując geometrię trasy sieci ciepłej, należy utrzymać poziom naprężeń poniżej poziomu naprężeń dopuszczalnych.

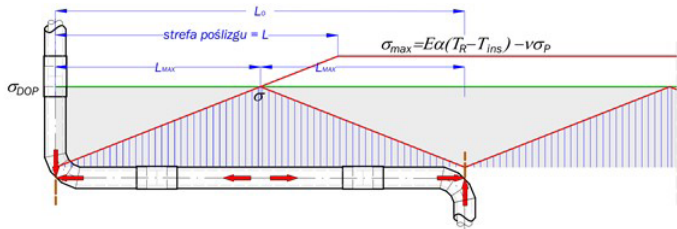


Rysunek 11: Naprężenia maksymalne w stosunku do naprężeń dopuszczalnych.



Rysunek 12: Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu.

Aby tego dokonać, należy doprowadzić do usytuowania w odpowiednich miejscach swobodnych końców umożliwiających „wyładowanie” odkształceń rurociągu. Jako że w technice TWIN PIPE – rury podwójne brak jest kompensatorów osiowych, które mogłyby być wykorzystane jako swobodne końce w linii prostej trasy sieci, należy zastosować zmianę kierunku przy zastosowaniu kolan kompensacyjnych.

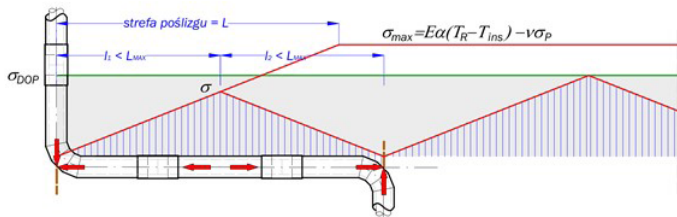


Rysunek 13: Zastosowanie kolan kompensacyjnych jako swobodnych końców rurociągu.

Maksymalny rozstaw elementów kompensacyjnych (swobodnych końców) w tej technice układania rurociągów preizolowanych wynosi:

$$L_0 = 2 \cdot l_{max} \quad (35)$$

a w przypadku mniejszej odległości między swobodnymi końcami, naprężenia będą niższe.



Rysunek 14: Utrzymanie naprężeń na niższym poziomie niż naprężenia dopuszczalne.

6.1. Naprężenia dopuszczalne

Maksymalne naprężenia osiowe zależne są od granicy plastyczności stali w podwyższonej temperaturze oraz współczynnika bezpieczeństwa. Można je wyznaczyć na podstawie wzoru:

$$\sigma_{DOP} = \frac{R_{eT}}{\gamma_m} \quad (36)$$

W załączanych tabelach dla przyjętego zakresu temperaturowego:

- sieci **125°C/65°C** na podstawie obliczeń przyjęto (dla $\gamma_m = 1,1$) naprężenia maksymalne na poziomie $\sigma_{DOP} = 187 \text{ N/mm}^2$,
- zaś dla instalacji odbiorczych **90°C/55°C** przyjęto naprężenia maksymalne na poziomie $\sigma_{DOP} = 196 \text{ N/mm}^2$.

W zależności od temperatury czynnika w rurociągu zasilającym i jej przyrostu w stosunku do temperatury montażu rozróżniamy dwa schematy naprężeń powstających w rurach przewodowych:

- kiedy możemy projektować rurociągi bez limitu naprężeń dopuszczalnych lub maksymalne naprężenia osiowe powstające w rurociągach nie przekroczą naprężeń dopuszczalnych,
- kiedy maksymalne naprężenia osiowe powstające w rurociągach przekraczają naprężenia określone jako dopuszczalne.

Uznając, że zgodnie z założeniami wstępnymi projekty sieci w systemie **TWIN PIPE** – rury podwójne zakwalifikowane zostały do projektów **klasy A**, należy przestrzegać, aby naprężenia osiowe nie przekraczały naprężeń dopuszczalnych.

6.2. Długość strefy poślizgu L i wydłużenie odcinka

Sieci ciepłne, w których przyrost temperatury w rurociągu zasilania w stosunku do temperatury montażu nie przekracza około **75°C**, można zakwalifikować jako sieci układane bez limitu naprężeń. W tym przypadku długość strefy poślizgu (odcinka tarcia) można wyznaczyć ze wzoru:

$$L = \frac{2 \cdot A}{F} \cdot (E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T + (0,5 - \nu) \cdot \sigma_P) - \frac{N_R}{F} \quad (37)$$

W takim przypadku przemieszczenie swobodnego końca zespołu rurowego (wydłużenie odcinka) wyznaczamy ze wzoru:

$$\delta = \frac{F \cdot L^2}{4 \cdot E \cdot A} \quad (38)$$

6.3. Dopuszczalna długość montażowa L_{MAX} i wydłużenie odcinka

W przypadku, kiedy przyrost temperatury w rurociągu zasilania w stosunku do temperatury montażu przekracza około **75°C**, jesteśmy zobowiązani do ograniczenia długości montażowej do wartości wyliczonej ze wzoru:

$$L_{MAX} = \frac{2 \cdot A}{F} \cdot \left(\sigma_{DOP} + \frac{1}{2} \cdot \sigma_P - \frac{N_R}{2 \cdot A} - \sigma_{\Delta T} \right) \quad (39)$$

W takim przypadku przemieszczenie swobodnego końca zespołu rurowego (wydłużenie odcinka) wyznaczamy ze wzoru:

$$\delta = \frac{l}{E} \left(E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T - \frac{F \cdot l}{4 \cdot A} + (0,5 - \nu) \cdot \sigma_P - \frac{N_R}{2 \cdot A} \right) \quad (40)$$

6.4. Zestawienie dopuszczalnych długości montażowych

Na stronie następniej w tabelach, przedstawiono dopuszczalne długości montażowe oraz wydłużenia odcinka dla sieci **125°C/65°C**, oraz dla instalacji odbiorczych **90°C/55°C** i dla typoszeregu podstawowego **SERII 1 – izolacja standard**.

Dla **SERII 2** i **SERII 3** tabele z wartościami umieszczone zostały w rozdziale: **Tabele pomocnicze**.

Tabela 8: Obliczenia dla sieci
125°C/65°C – SERIA 1.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona		Sieć cieplna o parametrach 125°C/65°C-temperatura montażu 10 °C. Gęstość zasypki 18 kN/m ³ Siła tarcia na jednostkę długości F _{max} - [kN/m], Długość montażowa L _{max} - [m] i jej wydzielenie ΔL _{max} - [mm] dla odpowiedniego przykrycia H:																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}					
DN (2x20)/125	20	26,9	2,6	198,5	125	1,75	23,0	18	2,17	18,5	14	2,59	15,5	12	3,01	13,5	10	3,44	11,5	9	3,86	10,5	8	4,28	9,5	7
DN (2x25)/140	25	33,7	2,6	254,0	140	1,97	26,5	20	2,44	21,5	16	2,91	18,0	14	3,39	15,5	12	3,86	13,5	10	4,33	12,0	9	4,80	11,0	8
DN (2x32)/160	32	42,4	2,9	359,9	160	2,27	33,0	25	2,81	26,5	20	3,35	22,5	17	3,88	19,0	15	4,43	17,0	13	4,96	15,0	12	5,50	13,5	10
DN (2x40)/160	40	48,3	2,9	413,6	160	2,27	38,0	29	2,81	31,0	24	3,35	26,0	20	3,89	22,0	17	4,43	19,5	15	4,97	17,5	14	5,51	15,5	12
DN (2x50)/200	50	60,3	2,9	522,9	200	2,87	39,0	30	3,54	31,5	24	4,22	26,5	20	4,89	22,5	17	5,57	20,0	15	6,24	17,5	14	6,92	16,0	12
DN (2x65)/225	65	76,1	2,9	666,9	225	3,26	44,5	34	4,02	36,0	27	4,78	30,0	23	5,53	26,0	20	6,30	23,0	17	7,05	20,5	16	7,81	18,5	14
DN (2x80)/250	80	88,9	3,2	861,6	250	3,65	51,5	39	4,50	41,5	32	5,34	35,0	27	6,18	30,5	23	7,03	26,5	20	7,87	24,0	18	8,71	21,5	16
DN (2x100)/315	100	114,3	3,6	1252,0	315	4,69	59,0	45	5,75	48,0	36	6,82	40,5	31	7,88	35,0	27	8,95	31,0	23	10,01	27,5	21	11,07	25,0	19
DN (2x125)/400	125	139,7	3,6	1539,3	400	6,08	57,0	43	7,43	47,0	35	8,77	39,5	30	10,12	34,5	26	11,48	30,0	23	12,83	27,0	20	14,18	24,5	19
DN (2x150)/450	150	168,3	4,0	2064,7	450	6,96	68,0	51	8,47	55,5	42	9,99	47,0	36	11,51	41,0	31	13,04	36,0	27	14,55	32,5	24	16,07	29,0	22
DN (2x200)/560	200	219,1	4,5	3033,8	560	8,94	79,0	60	10,83	65,5	49	12,72	55,5	42	14,60	48,5	36	16,51	43,0	32	18,40	38,5	29	20,29	35,0	26

Tabela 9: Obliczenia dla sieci
90°C/55°C – SERIA 1.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona		Sieć cieplna o parametrach 90°C/55°C-temperatura montażu 10 °C. Gęstość zasypki 18 kN/m ³ Siła tarcia na jednostkę długości F _{max} - [kN/m], Długość montażowa L _{max} - [m] i jej wydzielenie ΔL _{max} - [mm] dla odpowiedniego przykrycia H:																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}	F	L _{max}					
DN (2x20)/125	20	26,9	2,6	198,5	125	1,75	31,5	11	2,17	25,5	9	2,59	21,5	8	3,01	18,5	7	3,44	16,0	6	3,86	14,0	5	4,28	13,0	5
DN (2x25)/140	25	33,7	2,6	254,0	140	1,97	36,5	13	2,44	29,0	11	2,91	24,9	9	3,39	21,0	8	3,86	18,5	7	4,33	16,5	6	4,80	15,0	5
DN (2x32)/160	32	42,4	2,9	359,9	160	2,27	45,0	16	2,81	36,0	13	3,35	30,5	11	3,88	26,0	9	4,43	23,0	8	4,96	20,5	7	5,50	18,5	7
DN (2x40)/160	40	48,3	2,9	413,6	160	2,27	52,0	19	2,81	42,0	15	3,35	36,0	13	3,89	30,0	11	4,43	26,5	10	4,97	23,5	9	5,51	21,0	8
DN (2x50)/200	50	60,3	2,9	522,9	200	2,87	52,5	19	3,54	42,5	15	4,22	35,5	13	4,89	30,5	11	5,57	27,0	10	6,24	24,0	9	6,92	21,5	8
DN (2x65)/225	65	76,1	2,9	666,9	225	3,26	59,5	21	4,02	48,5	17	4,78	40,5	15	5,53	35,0	13	6,30	31,0	11	7,05	27,5	10	7,81	25,0	9
DN (2x80)/250	80	88,9	3,2	861,6	250	3,66	69,0	25	4,50	56,0	20	5,34	47,0	17	6,18	40,5	15	7,03	36,0	13	7,87	32,0	11	8,72	29,0	10
DN (2x100)/315	100	114,3	3,6	1252,0	315	4,70	79,0	28	5,76	64,0	23	6,82	54,0	19	7,88	47,0	17	8,95	44,5	15	10,01	37,0	13	11,07	33,5	12
DN (2x125)/400	125	139,7	3,6	1539,3	400	6,08	76,0	27	7,43	62,5	22	8,78	52,5	19	10,12	45,5	16	11,48	40,0	14	12,83	36,0	13	14,18	32,5	12
DN (2x150)/450	150	168,3	4,0	2064,7	450	6,96	90,0	32	8,48	74,0	26	10,00	62,5	22	11,51	54,5	19	13,04	48,0	17	14,56	43,0	15	16,07	39,0	14
DN (2x200)/560	200	219,1	4,5	3033,8	560	8,95	104,5	37	10,84	86,0	30	12,72	73,5	26	14,61	64,0	22	16,52	56,5	20	18,41	50,5	18	20,29	46,0	16

7. Obliczenia hydrauliczne

7.1. Wykorzystanie arkuszy kalkulacyjnych

Wykorzystanie odpowiednio przygotowanych arkuszy kalkulacyjnych pozwala przeprowadzać analizę hydrauliczną całego rozpatrywanego układu sieci. Straty liniowe i miejscowe należy obliczać na przykład, zgodnie z **PN-76/M-34034**.

Trudność zadania polega na wyznaczeniu współczynnika oporów liniowych λ . W obliczeniach należy uwzględnić zmienność przepływów charakteryzujących się wielkością liczby Reynoldsa Re .

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu} \quad (41)$$

- dla zakresu $Re \leq 2300$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (42)$$

- dla zakresu $2300 < Re \leq 4000$, w strefie krytycznej, z wystarczającą dokładnością współczynnik oporów możemy wyznaczyć ze wzoru Waldena:

$$\lambda = \frac{1}{\left(-2 \cdot \log \left(\frac{6,10}{Re^{0,916}} + \frac{0,268 \cdot k}{d_i} \right)\right)^2} \quad (43)$$

dla zakresu $Re > 4000$ również można skorzystać ze wzoru **Waldena**, jednak przy dokładniejszej analizie należy sprawdzić, czy chropowatość względna ε spełnia warunek:

$$\varepsilon = \frac{k}{d_i} > \varepsilon_{gr} = \frac{23}{Re} \quad (44)$$

jeżeli nie to współczynnik oporów liniowych wyznaczyć należy ze wzoru **Prandtl-Carmana**:

$$\lambda = \left(2 \cdot \log \frac{\sqrt{\lambda} \cdot Re}{2,51} \right)^{-2} \quad (45)$$

zaś w przeciwnym wypadku ze wzoru **Colebrooka-White'a**:

$$\lambda = \frac{1}{\left(-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}}} + \frac{\varepsilon}{3,71} \right) \right)^2} \quad (46)$$

W obu przypadkach, z uwagi na uwikłane postaci wzorów, pierwsze przybliżenie należy wykonać przy zastosowaniu wzoru **Waldena**. Wystarczającą dokładność uzyskuje się po 4 – 6 przybliżeniach.

Przyjmując tak obliczony współczynnik oporów liniowych, można na podstawie poniższej zależności wyznaczyć jednostkowe opory liniowe:

$$Ri = \frac{\lambda \cdot w^2 \cdot \varrho}{2 \cdot d_i} \quad (47)$$

natomiast opory miejscowe na podstawie zależności:

$$Z = \Sigma \xi \cdot \frac{\varrho \cdot w^2}{2} \quad (48)$$

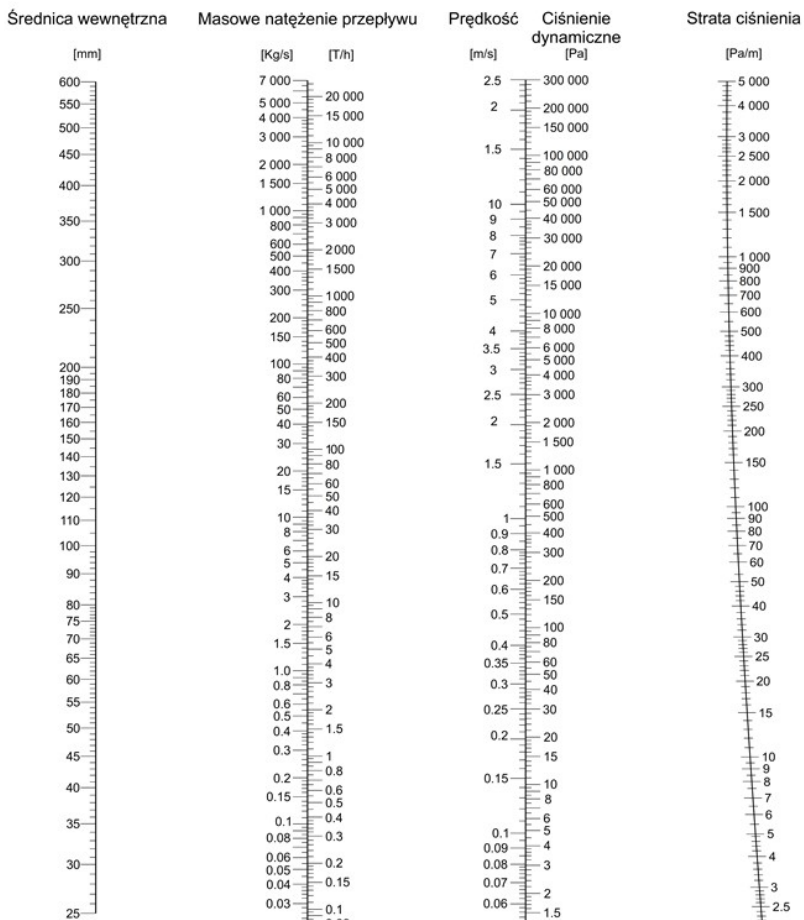
sumaryczne straty ciśnienia obliczymy z zależności:

$$Z = \Sigma \xi \cdot \frac{\varrho \cdot w^2}{2} \quad (48)$$

7.2. Metoda graficzna

Dla potrzeb szacunkowego określenia wymaganej średnicy rurociągu można posłużyć się wykresem zamieszczonym na rysunku.

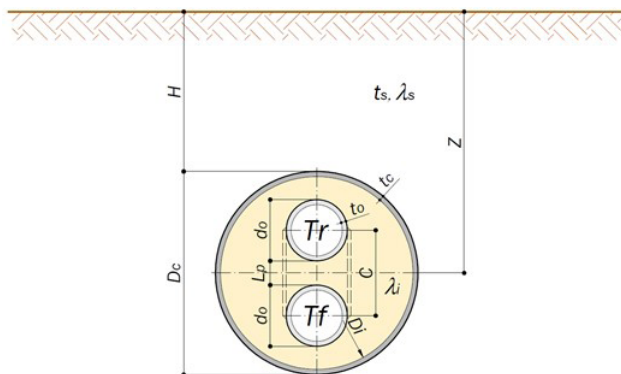
Korzystanie z wykresu polega na połączeniu linią prostą dwóch wybranych parametrów i przedłużeniu jej tak, aby umożliwiło to odczytanie pozostałych.



Rysunek 15: Nomogram przepływu, doboru średnic i strat ciśnienia.

8. Obliczenie strat ciepła zespołu rurowego TWIN PIPE – rury podwójne

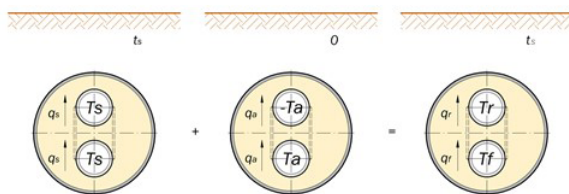
Model obliczeniowy przedstawia poniższy rysunek.



Rysunek 16: Model do obliczeń strat ciepła w rurach podwójnych.

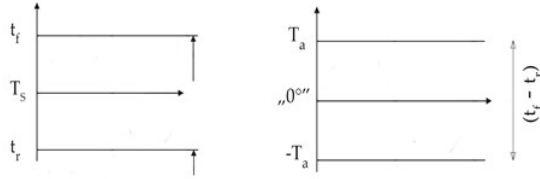
Obecnie preferowaną przez normę **PN-EN 13941-1** metodą obliczania strat ciepła w rurociągach preizolowanych jest metoda superpozycji.

W metodzie tej tworzymy dwa układy (patrz rysunek) – symetryczny i antysymetryczny. Każdy z tych układów obliczamy osobno, a następnie sumujemy obliczenia.



Rysunek 17: Schemat założeń do obliczeń strat ciepła metodą superpozycji.

Dla każdego układu obliczamy wymaganą temperaturę:



Rysunek 18: Temperatura w układzie symetrycznym (TS) i antysymetrycznym (Ta).

Dla układu symetrycznego temperatura wynosi:

$$T_S = \frac{T_F + T_R}{2} \quad (50)$$

zaś dla antysymetrycznego wynosi:

$$T_A = \frac{T_F - T_R}{2} \quad (51)$$

Wprowadzając dwie zmienne pomocnicze:

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_S}{\lambda_i + \lambda_S} \quad (52)$$

i

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \cdot \left(\frac{D_i}{4 \cdot Z_C} \right)^2} \quad (53)$$

przechodzimy do obliczenia współczynników: – symetrycznego

$$h_S^{-1} = 2 \cdot \frac{\lambda_i}{\lambda_S} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i} \right) + \ln \left(\frac{D_i^2}{2 \cdot C \cdot d_O} \right) + \sigma \cdot \ln \left(\frac{D_i^4}{D_i^4 - C^4} \right) - \frac{\left(\frac{d_O}{2 \cdot C} - \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_O \cdot C^3}{D_i^4 - C^4} \right)^2}{1 + \left(\frac{d_O}{2 \cdot C} \right)^2 + \sigma \cdot \left(\frac{2 \cdot d_O \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4} \right)^2} \quad (54)$$

i antysymetrycznego

$$h_a^{-1} = \ln\left(\frac{2 \cdot C}{d_o}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{D_i^2 + C^2}{D_i^2 - C^2}\right) - \frac{\left(\frac{d_o}{2 \cdot C} - \gamma \cdot \frac{C \cdot d_o}{16 \cdot Z_c^2} + \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_o \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_o}{2 \cdot C}\right)^2 - \gamma \cdot \frac{d_o}{4 \cdot Z_c} + 2 \cdot \sigma \cdot d_o^2 \cdot D_i^2 \cdot \frac{(D_i^4 + C^4)}{(D_i^4 - C^4)^2}} - \gamma \cdot \left(\frac{C}{4 \cdot Z_c}\right)^2 \quad (55)$$

gdzie:

$$C = Lp + d_o \text{ [m]} \quad (56)$$

$$Z_c = Z + R_o \cdot \lambda_s \text{ [m]} \quad (57)$$

$$R_o = 0,0685 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (58)$$

natomiast współczynnik przewodzenia ciepła dla zasypki należy przyjmować z poniższych wartości:

$$\begin{aligned} \lambda_s &= 1,0 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piaseksuchy} \\ \lambda_s &= 1,6 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piasekśredniowilgotny} \\ \lambda_s &= 2,0 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piasekwilgotny} \end{aligned} \quad (59)$$

Straty ciepła przez rurociąg zasilania w zespole podwójnym obliczamy ze wzoru:

$$q_F = q_S + q_A \frac{W}{m} \quad (60)$$

natomiast straty ciepła przez rurociąg powrotny w zespole podwójnym obliczamy ze wzoru:

$$q_F = q_S - q_A \frac{W}{m} \quad (61)$$

Poszczególne składowe potrzebne do tych obliczeń wyznaczamy z wzorów:

$$q_S = (T_S - t_S) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_s \frac{W}{m} \quad (62)$$

$$q_A = T_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_a \frac{W}{m} \quad (63)$$

zaś sumaryczne straty ciepła przez zespół rurowy systemu TWIN PIPE – rury podwójne wynosi:

$$\Sigma q = q_F + q_R = 2 \cdot q_S \frac{W}{m} \quad (64)$$

W tabeli przedstawiono współczynniki symetryczne i antysymetryczne do wykorzystania przy obliczaniu strat ciepła rurociągów ułożonych na różnych głębokościach.

Tabela 10: Współczynniki symetryczne i antysymetryczne do obliczeń strat ciepła – izolacja STANDARD.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Współczynniki strat ciepła symetryczne i antysymetryczne do obliczeń strat ciepła w rurociągach preizolowanych TWIN PIPE – rury podwójne metodą superpozycji, dla wartości $t_s = 8^\circ\text{C}$; $\lambda_s = 1,6 \text{ W/mK}$; $\lambda_l = 0,029 \text{ W/mK}$ oraz przykrycia rurociągu H =															
	0,60 m		0,80 m		1,00 m		1,20 m		1,40 m		1,60 m		1,80 m		2,00 m	
	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]	h_s [-]	h_a [-]
DN (2x20)/125	0,5377	0,9108	0,5353	0,9108	0,5334	0,9108	0,5317	0,9108	0,5304	0,9108	0,5291	0,9108	0,5280	0,9107	0,5271	0,9107
DN (2x25)/140	0,5906	0,9749	0,5877	0,9749	0,5854	0,9749	0,5834	0,9749	0,5818	0,9749	0,5803	0,9749	0,5790	0,9749	0,5778	0,9749
DN (2x32)/160	0,6416	1,0509	0,6382	1,0508	0,6355	1,0508	0,6332	1,0508	0,6313	1,0508	0,6296	1,0508	0,6280	1,0508	0,6267	1,0508
DN (2x40)/160	0,7707	1,0816	0,7659	1,0816	0,7620	1,0816	0,7587	1,0816	0,7559	1,0816	0,7534	1,0816	0,7513	1,0816	0,7493	1,0816
DN (2x50)/200	0,7496	1,1215	0,7451	1,1214	0,7415	1,1214	0,7384	1,1214	0,7358	1,1214	0,7335	1,1214	0,7315	1,1214	0,7296	1,1214
DN (2x65)/225	0,9015	1,1718	0,8951	1,1717	0,8899	1,1717	0,8856	1,1716	0,8818	1,1716	0,8786	1,1716	0,8756	1,1716	0,8730	1,1716
DN (2x80)/250	1,0322	1,1397	1,0239	1,1396	1,0172	1,1396	1,0116	1,1396	1,0068	1,1396	1,0026	1,1396	0,9988	1,1395	0,9954	1,1395
DN (2x100)/315	1,0343	1,2066	1,0263	1,2065	1,0197	1,2064	1,0142	1,2064	1,0095	1,2063	1,0053	1,2063	1,0016	1,2063	0,9982	1,2063
DN (2x125)/400	0,9518	1,2006	0,9452	1,2005	0,9399	1,2004	0,9353	1,2003	0,9314	1,2003	0,9279	1,2003	0,9248	1,2002	0,9220	1,2002
DN (2x150)/450	1,1683	1,1587	1,1587	1,1586	1,1508	1,1585	1,1441	1,1584	1,1383	1,1584	1,1332	1,1583	1,1287	1,1583	1,1245	1,1583
DN (2x200)/560	1,3132	1,1875	1,3017	1,1872	1,2922	1,1871	1,2841	1,1870	1,2770	1,1869	1,2708	1,1869	1,2652	1,1868	1,2601	1,1868

Poniżej przedstawiono maksymalne straty ciepła rurociągów przy przykryciu H = 0,6 m oraz minimalne przy przykryciu H = 1,6 m, zarówno dla sieci 125°C/65°C, oraz dla instalacji odbiorczych 90°C/55°C i dla typoszeregu podstawowego SERII 1 – izolacja standard.

Dla SERII 2 i SERII 3 tabele z wartościami umieszczone zostały w rozdziale: Tabele pomocnicze.

Tabela 11: Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 Izolacja STANDARD.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona Dc [mm]	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 125°C/65°C					
	dn	d _s [mm]		Przykrycie H = 0,6 m $\lambda_s = 2,0 \text{ W/mK}$; $t_s = 0^\circ\text{C}$			Przykrycie H = 1,6 m $\lambda_s = 1,6 \text{ W/mK}$; $t_s = 8^\circ\text{C}$		
				q_F	q_R	Σq	q_F	q_R	Σq
				W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	W/m
DN (2x20)/125	20	26,9	125	14,4	4,4	18,8	13,4	3,4	16,8
DN (2x25)/140	25	33,7	140	15,7	5,0	20,7	14,5	3,9	18,4
DN (2x32)/160	32	42,4	160	17,0	5,5	22,5	15,7	4,2	19,9
DN (2x40)/160	40	48,3	160	19,5	7,7	27,2	17,9	6,0	23,9
DN (2x50)/200	50	60,3	200	19,3	7,0	26,3	17,8	5,5	23,3
DN (2x65)/225	65	76,1	225	22,3	9,5	31,8	20,3	7,5	27,8
DN (2x80)/250	80	88,9	250	24,5	12,0	36,5	22,1	9,7	31,8
DN (2x100)/315	100	114,3	315	24,8	11,6	36,4	22,5	9,3	31,8
DN (2x125)/400	125	139,7	400	23,3	10,2	33,5	21,3	8,1	29,4
DN (2x150)/450	150	168,3	450	26,9	14,3	41,2	24,3	11,6	35,9
DN (2x200)/560	200	219,1	560	29,7	16,7	46,4	26,6	13,7	40,3

Tabela 12: Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 1 Izolacja STANDARD.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Oslona	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 90°C/55°C					
	dn	d _o [mm]	Dc [mm]	Przykrycie H = 0,6 m λ _s = 2,0 W/(mK); ts=0 °C			Przykrycie H = 1,6 m λ _s = 1,6 W/(mK); ts=8 °C		
				q _F W/m	q _R W/m	Σq W/m	q _F W/m	q _R W/m	Σq W/m
	DN (2x20)/125	20	26,9	125	10,1	4,3	14,4	9,1	3,3
DN (2x25)/140	25	33,7	140	11,0	4,8	15,8	9,9	3,7	13,6
DN (2x32)/160	32	42,4	160	11,9	5,2	17,1	10,7	4,0	14,7
DN (2x40)/160	40	48,3	160	13,8	6,9	20,7	12,3	5,4	17,7
DN (2x50)/200	50	60,3	200	13,6	6,5	20,1	12,2	5,0	17,2
DN (2x65)/225	65	76,1	225	15,9	8,4	24,3	14,1	6,6	20,7
DN (2x80)/250	80	88,9	250	17,5	10,3	27,8	15,4	8,1	23,5
DN (2x100)/315	100	114,3	315	17,8	10,1	27,9	15,7	8,0	23,7
DN (2x125)/400	125	139,7	400	16,6	8,9	25,5	14,7	7,1	21,8
DN (2x150)/450	150	168,3	450	19,4	12,0	31,4	17,0	9,6	26,6
DN (2x200)/560	200	219,1	560	21,5	13,9	35,4	18,7	11,2	29,9

Z uwagi na ułożenie rurociągów w strefie przemarzania dla obliczeń rurociągów SERII 1 – izolacja standard, z przykryciem H = 0,6 m przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła zasyпки jak dla piasku wilgotnego, czyli $\lambda_s = 2,0 \text{ W/mK}$ oraz temperaturę nienaruszonego gruntu na poziomie osi rurociągów $t_s = 0^\circ\text{C}$. Dla rurociągów ułożonych głębiej przyjęto odpowiednio $\lambda_s = 1,6 \text{ W/mK}$ oraz $t_s = 8^\circ\text{C}$.

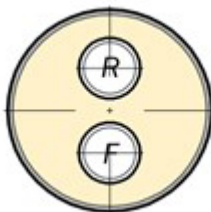
9. Wskazania projektowe

9.1. Układanie rurociągów

Bardzo istotny jest sposób ułożenia elementów zespołu rurowego systemu **TWIN PIPE** – rury podwójne – w wykopie. Jak pokazano na rysunku, elementy preizolowane powinny zostać ułożone w wykopie tak, aby rurociągi stalowe znajdowały się w pozycji pionowej (jeden nad drugim), przy czym rurociąg zasilający (**F**) ułożony jest poniżej rurociągu powrotnego (**R**). Ułożenie takie zwiększa stateczność pionową ułożonego odcinka sieci cieplnej oraz powoduje zmniejszenie strat ciepła.

Istotnym ograniczeniem takiego ułożenia są utrudnienia w dokonywaniu korekty profilu podłużnego układanej sieci cieplnej. Stąd zadaniem projektanta jest kompleksowa ocena wymaganej głębokości ułożenia rurociągów preizolowanych w stosunku do już istniejącego uzbrojenia podziemnego całego terenu, na którym realizowana będzie projektowana inwestycja.

Nie dopuszcza się ułożenia elementów preizolowanych tak, aby rurociągi stalowe ułożone były poziomo – jeden obok drugiego.



Rysunek 19: Ułożenie elementu TWIN PIPE.

9.2. Wykopy

Minimalne wymiary wykopu (minimalna szerokość) powinny być dostosowane do średnic zastosowanych zespołów rurowych i odległości dystansowych w wykopie, które przedstawiono w poniższej tabeli.

Ponadto, szerokość wykopu powinna uwzględniać konieczność przechodzenia pracowników w wykopie wzdłuż rurociągów po jednej lub po obu stronach w zależności od średnicy rurociągów.

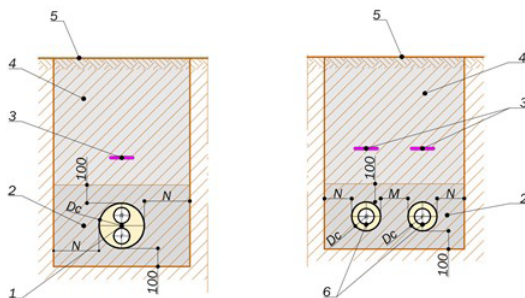
Tabela 13: Odległości w wykopie.

Minimalne odległości dystansowe w wykopie		
Srednica osłony DC [mm]	Odległość między osłonami rur M [mm]	Odległość między osłoną a ścianą wykopu N [mm]
$D_c \leq 225$	150	150
$225 < D_c \leq 560$	250	250
$D_c > 560$	300	300

W sieciach prowadzonych z dużym spadkiem lub położonych na zboczach należy uwzględnić możliwość drenażowego działania profilu wykopu.

Dla potrzeb spawacza i osób wykonujących mufowanie – w miejscach połączeń elementów preizolowanych, należy zapewnić stanowisko spełniające poniższe wymagania:

- minimalna długość: **1,5 m**,
- minimalna odległość pomiędzy rurą przewodową a dnem wykopu **0,4 m**,
- minimalna odległość pomiędzy ścianką rury przewodowej a ścianą wykopu **0,5 m**.



Rysunek 20: Porównanie minimalnych wykopów dla rurociągów tej samej średnicy podwójnych oraz pojedynczych, ułożonych z takim samym przykryciem.

- (1) element preizolowany TWIN PIPE, (2) łożo piaskowe, (3) taśma znacznikowa, (4) zasypka, (5) nawierzchnia, (6) element preizolowany zgodny z PN-EN 253

Porównując minimalne przekroje wykopów dla systemu **TWIN PIPE** oraz systemu zgodnego z normą **PN-EN 253** (rury pojedyncze) można stwierdzić, że przy zachowaniu wymagań normy **PN-EN 13941-1**, zmniejszenie objętości wykopów dla systemu **TWIN PIPE** w stosunku do systemu wg **PN-EN 253** może sięgnąć **30%**, zwłaszcza dla rurociągów o małych średnicach.

Tabela 14: Minimalne wymiary wykopów dla systemu TWIN PIPE – rury podwójne.

System wg PN-EN-15698-1 - system TWIN PIPE - rury podwójne SERIA 1 - Izolacja STANDARD							
dn	Dc	Oznaczenie	Dystans poziomy	Minimalna wysokość łoża	Minimalna szerokość łoża	Objętość łoża l=1,0 m	Min. objętość 1,0 m długości wykopu H=0,8 m
	[mm]	[-]	[mm]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]
20	160	DN (2x20)/160	150	0,36	0,46	0,17	0,49
25	180	DN (2x25)/180	150	0,38	0,48	0,18	0,52
32	200	DN (2x32)/200	150	0,40	0,50	0,20	0,55
40	200	DN (2x40)/200	150	0,40	0,50	0,20	0,55
50	250	DN (2x50)/250	150	0,45	0,55	0,25	0,64
65	280	DN (2x65)/280	150	0,48	0,58	0,28	0,69
80	315	DN (2x80)/315	250	0,52	0,82	0,42	0,99
100	400	DN (2x100)/400	250	0,60	0,90	0,54	1,17
125	500	DN (2x125)/500	250	0,70	1,00	0,70	1,40
150	560	DN (2x150)/560	250	0,76	1,06	0,81	1,55
200	710	DN (2x200)/710	250	0,91	1,21	1,10	1,95

Tabela 15: Minimalne wymiary wykopów dla systemu wg PN-EN 253 – rury pojedyncze.

dn	System wg PN-EN-253 - SERIA 1						
	Dc [mm]	Oznaczenie [-]	Dystans poziomy [mm]	Minimalna wysokość łoża [m]	Minimalna szerokość łoża [m]	Objętość łoża l=1,0 m [m³]	Min. objętość 1,0 m długości wykopu H= 0,8 m [m³]
20	90	DN 20/90	150	0,29	0,63	0,18	0,62
25	90	DN 25/90	150	0,29	0,63	0,18	0,62
32	110	DN 32/110	150	0,31	0,67	0,21	0,68
40	110	DN 40/110	150	0,31	0,67	0,21	0,68
50	125	DN 50/125	150	0,33	0,70	0,23	0,72
65	140	DN 65/140	150	0,34	0,73	0,25	0,76
80	160	DN 80/160	150	0,36	0,77	0,28	0,82
100	200	DN 100/200	150	0,40	0,85	0,34	0,94
125	225	DN 125/225	150	0,43	0,90	0,38	1,01
150	250	DN 150/250	250	0,45	1,25	0,56	1,44
200	315	DN 200/315	250	0,52	1,38	0,71	1,68

9.3. Łoże piaskowe i zasyпка

Łoże piaskowe jest to przestrzeń w bezpośredniej bliskości rurociągów preizolowanych o grubości warstwy **min. 0,1 m** i szerokości zgodnej z tabelą odległości w wykopie.

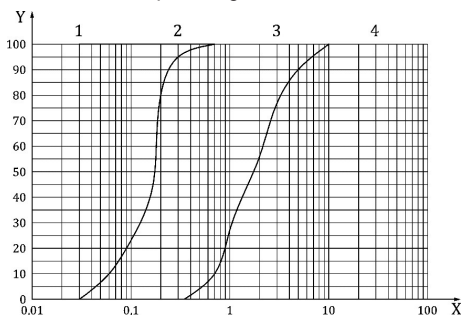
Przebieg ta powinna być wypełniona piaskiem niespoistym, o granulacji średniej do grubego, o parametrach, jak niżej:

- ziarnistość – **0÷4 mm**,
- ziarna o okrągłej krawędzi,
- krzywa przesiewu wg **PN EN 13941-2**.

Niedopuszczalne jest stosowanie w obrębie łoża piaskowego materiałów o zmiennych właściwościach (np. samostabilizujących mieszanek piasku znanych i stosowanych w budownictwie drogowym) oraz piasków z zawartością kamieni.

Jeżeli ze względu na niesprzyjające warunki gruntowe bądź pogodowe istnieje zagrożenie, że w trakcie eksploatacji sieci piasek łoża zostanie wyplukany (np. przez wody opadowe), to strefa łoża powinna zostać owinięta geowłókniną.

Przez łoże piaskowe nie może przebiegać, żadne „obce” ukształtowanie terenu.



Rysunek 21: Granice krzywych przesiewowych dla łoża piaskowego wg PN-EN 13941-2.

(1) muł, (2) piasek, (3) żwir, (4) kamienie

Zgodnie z **PN-EN 13941-1** materiałem na łoża piaskowe powinien być piasek. Zgodnie z załącznikiem E wymienionej normy w obliczeniach przyjmowano piasek średni zagęszczony o ciężarze $\gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3$ o kącie tarcia wewnętrznego $\varphi = 32,5^\circ$.

9.4. Minimalne przykrycie zespołu rurowego

Minimalna wielkość przykrycia elementów i rurociągów preizolowanych, w których wartość naprężeń osiowych nie przekracza **190 MPa**, wynosi **0,4 m**.

W przypadku przekraczania rurociągami preizolowanymi nawierzchni utwardzonych wielkość tą stanowi zagłębienie wierzchu osłony rurociągu w stosunku do spodu podbudowy nawierzchni utwardzonej. Oznacza to, że jeżeli nawierzchnia drogowa wraz z podbudową ma grubość (przykładowo) 60 cm, to przykrycie rurociągów powinno wynosić co najmniej **H = 1,0 m**. Ułożenie w tej sytuacji rurociągów z mniejszym przykryciem będzie wymagało dodatkowych rozwiązań (np. rury osłonowe, płyty odciążające itp.)

Należy unikać układania rurociągów z wykorzystaniem minimalnego przykrycia. Rozwiązanie takie dopuszcza się tylko w wyjątkowych przypadkach, po uzgodnieniu z gestorem sieci.

Zaleca się układanie rurociągów preizolowanych z przykryciem co najmniej **0,8-1,0 m**. Pozwala to uniknąć wielu kolizji z kablami elektroenergetycznymi i telekomunikacyjnymi.

9.5. Maksymalne przykrycie zespołu rurowego

W przedstawionej tabeli podano maksymalne przykrycie rurociągów preizolowanych w zależności od projektowanego rozstawu sąsiadujących kolan (tak zwanych wolnych końców).

Obliczenia stanów granicznych pianki PUR są zgodne z zapisami norm **PN-EN 13941-1** i **PN-EN 253** oraz uwzględniają wymaganą zmienność współczynników bezpieczeństwa. Zastosowano również zgodnie z zaleceniami **PN-EN 13941-1** współczynnik bezpieczeństwa dotyczący ciężaru właściwego zasypki.

Tabela 16: Maksymalne przykrycie rurociągów.

dn	d _s [mm]	Maksymalne przykrycie rurociągów preizolowanych - system TWIN PIPE – RURY PODWÓJNE					
		rozstaw kolan ≤ 20,0 m (γ _m =2,0)			rozstaw kolan > 20,0 m (γ _m =3,0)		
		SERIA 1 [m]	SERIA 2 [m]	SERIA 3 [m]	SERIA 1 [m]	SERIA 2 [m]	SERIA 3 [m]
20	26,9	2,9	2,5	2,2	1,90	1,70	1,50
25	33,7	3,2	2,8	2,5	2,10	1,80	1,60
32	42,4	3,5	3,1	2,8	2,30	2,10	1,90
40	48,3	4,0	3,6	3,2	2,70	2,40	2,10
50	60,3	4,0	3,5	3,2	2,60	2,30	2,10
65	76,1	4,5	4,0	3,6	3,00	2,70	2,40
80	88,9	4,7	4,2	3,7	3,10	2,80	2,50
100	114,3	4,8	4,2	3,7	3,20	2,80	2,50
125	139,7	4,6	4,1	3,6	3,00	2,70	2,40
150	168,3	4,9	4,4	3,9	3,20	2,90	2,60
200	219,1	5,1	4,5	4,0	3,40	3,00	2,60

9.6. Poduszki kompensacyjne

W celu zabezpieczenia preizolowanego zespołu rurowego, w miejscu występowania przemieszczeń poprzecznych rurociągów, należy zaprojektować obłożenie rurociągów materiałami elastycznymi umożliwiającymi przemieszczanie rurociągów w gruncie.

Norma **PN-EN 13941** stawia wymagania, aby poduszki były wykonane z polietylenu **PE**, spienionego i usieciowanego, o zamkniętych komórkach. Sztywność zastosowanych poduszek kompensacyjnych musi być zgodna z wartościami sztywności zastosowanymi w obliczeniach, a które zostały przedstawione w tabeli.

Poduszki kompensacyjne powinny być zaprojektowane po obu stronach rurociągów. Ewentualne odstępianie od obłożenia rurociągów preizolowanych matami kompensacyjnymi należy udokumentować w projekcie obliczeniowo, sprawdzając dla każdego z takich miejsc stany graniczne pianki poliuretanowej.

Tabela 17: Wymagania dotyczące poduszek kompensacyjnych.

Normatywne oznaczenie typów poduszek kompensacyjnych wg PN-EN 13941-1	Wymagana wartość naprężeń ściskających dla kompresji poduszek:		
	40% [kPa]	50% [kPa]	75% [kPa]
Typ 1: TWARDE	85 ±15%	120 ±15%	480 ±15%
Typ 2: ŚREDNIO TWARDE	60 ±15%	90 ±15%	275 ±15%

Strefę kompensacyjną należy projektować również wszędzie tam, gdzie występuje poprzeczne oddziaływanie gruntu na powierzchnię osłony rury preizolowanej, to jest w miejscach:

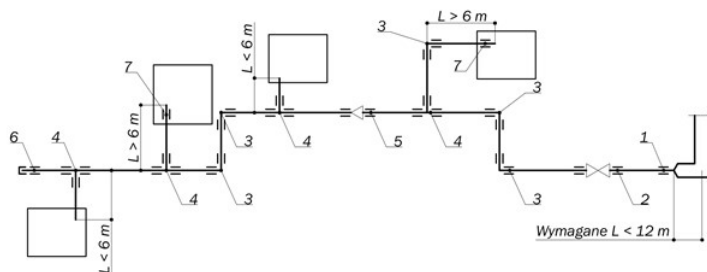
- łuków kompensacyjnych,
- łuków niekompensacyjnych,
- odgałęzień bocznych od rurociągu głównego,
- rurociągu głównego przy odgałęzieniu bocznym,
- zmian średnicy rurociągu,
- trzpieni armatury odcinającej,
- króćców odpowietrzeń i odwodnień pionowych.

Poduszki kompensacyjne należy projektować w różnych warstwach w zależności od żądanej grubości. Ponadto powinny być otulone wokół odpowiednią osłoną ochronną. Osłony ochronne mogą się składać z geowłókniny z taśmą filamentową albo folii piankowej wykonanej z polietylenu usieciowanego.

Stosowanie poduszek kompensacyjnych bez osłony ochronnej jest, według norm **PN-EN 13941-1** i **PN-EN 13941-2**, niedozwolone.

9.7. Kotwy mocujące

Poniższy rysunek przedstawia miejsca lokalizacji kotw mocujących stosowanych do zespalania rurociągu zasilającego i powrotnego w układanej sieci ciepłej preizolowanej w systemie **TWIN PIPE** – rury podwójne.



Rysunek 22: Miejsca wymagające stosowania kotw w systemie rur podwójnych.

- (1) kształtki przejściowe (2) zespole armatury odcinającej, odpowietrzającej i odwodniającej, (3) kolana, (4) trójniki, (5) redukcje średnicy, (6) zakończenia etapu budowy, (7) wejścia do budynków,

RADPOL stosuje kotwy we wszystkich kształtkach produkowanych fabrycznie w ilości:

- kształtka przejściowa – 2 kpl.
- zespoły armatury – 2 kpl.
- zespoły odpowietrzeń – 2 kpl.
- zespoły odwodnień – 2 kpl.
- zwężki – 2 kpl.
- kolana – 2 kpl.
- trójniki – 3 kpl.

Zadaniem projektanta jest przewidzenie konieczności zastosowania kotew mocujących w miejscach wejść do budynków, jeśli odcinek przed budynkiem ma długość powyżej **6,0 m**, a wejście do budynku odbywa się rurą prostą.

Dodatkowo należy przewidzieć zastosowanie kotew:

- w miejscu ewentualnego etapowania budowy – 1 kpl.
- w miejscu przerwania robót montażowych – 1 kpl.
- w miejscu stosowania zwężki w mufie redukcyjnej – 1 kpl.
- w miejscu montażu kolana w mufie kolanowej – 2 kpl.
- w miejscu, gdzie należy przeciąć rurociągi sieci ciepłej w celu wstawienia dodatkowego trójnika – 2 kpl.

9.8. Zmiana kierunku

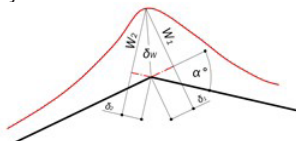
9.8.1. Kolana

Do zmiany kierunku trasy sieci służą łuki (kolana) o kątach od **5° do 90°** (dobierane co 5°), bądź układy tych łuków.

W miejscach przewidywanych kompensacji naturalnych zaleca się stosowanie łuków o kątach **90°** lub o kątach w zakresie **75°÷90°**.

Dopuszcza się projektowanie zmian kierunków trasy sieci ciepłych z zastosowaniem łuków o zakresie kątów gięcia od **5°÷75°**, pod warunkiem:

- dokonania sprawdzenia przemieszczenia wierzchołka łuku, zastosowania współczynnika zwiększenia zasięgu strefy kompensacyjnej,
- porównanie z wartościami dopuszczalnymi zamieszczonymi w tabeli obok.



Rysunek 23: Przemieszczenie wierzchołka rurociągu i wydłużenia przeliczeniowe.

Tabela 18:
Wydłużenia dopuszczalne.

Kąt odchylenia osi sieci	(W ₁ +W ₂) _{loop} mm
≤ 5 °	prosta
10 °	16,0
15 °	17,0
20 °	18,0
25 °	22,0
30 °	26,0
35 °	32,0
40 °	39,0
45 °	48,0
50 °	57,0
55 °	68,0
60 °	80,0
65 °	92,0
70 °	104,0
75 °	115,0

Wartości W_1 i W_2 można obliczyć na podstawie wzorów:

$$W_1 = \frac{\delta_1}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{\delta_2}{\sin \alpha} \quad (65)$$

$$W_2 = \frac{\delta_2}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{\delta_1}{\sin \alpha} \quad (66)$$

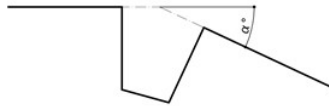
$$\delta_w = \sqrt{W_1^2 + W_2^2} \quad (67)$$

Wartości maksymalnych dopuszczalnych odległości pomiędzy łukami sąsiadującymi dla kątów pośrednich należy wyznaczyć przez interpolację.

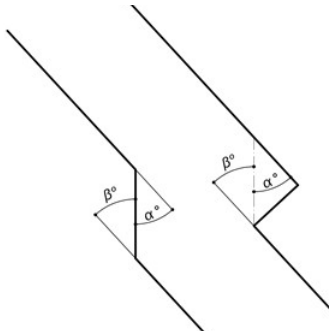
Wskazane jest, aby odcinki po obu stronach łuku, z rozpatrywanego zakresu $5^\circ \div 75^\circ$, posiadały zbliżone długości, a jeżeli nie jest to możliwe, to aby iloraz długości odcinków nie był większy niż 3.

W przypadku występowania łuków o kącie odchylenia trasy sieci od $5^\circ \div 75^\circ$ powinny one być traktowane jako niekompensacyjne.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie układu zastępczego.



Rysunek 24: Układ zastępczy z wykorzystaniem U-kształtu.



Rysunek 25: Układ zastępczy z wykorzystaniem Z-kształtu.

W projekcie należy podać wartość wydłużeń termicznych rurociągów po obydwu stronach takiego łuku.

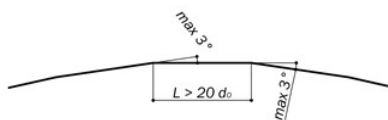
Wszystkie łuki należy obłożyć poduszkami kompensacyjnymi.

9.8.2. Ukosowanie

Z uwagi na trudność wykonania nie zaleca się projektowania niewielkich odchyłek kątowych osi rurociągu przy zastosowaniu ukosowania. Podstawowym problemem jest konieczność prowadzenia prac przygotowawczych i spawalniczych na dwóch niezależnych rurociągach stalowych. Niewielkie ugięcie pionowe w trakcie prowadzenia prac może doprowadzić do złej jakości wykonania spoiny.

Jeśli jedna taka operacja jest konieczna, to maksymalny kąt ukosowania nie może przekroczyć 3° dla każdej średnicy zespołu rurowego.

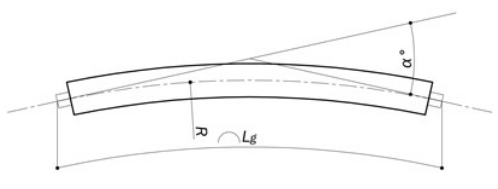
Odległość między dwoma kolejnymi ukosowaniami nie może być mniejsza niż 20 średnic zewnętrznych przewodowej rury stalowej.



Rysunek 26: Wymagania dotyczące ukosowania.

9.8.3. Rury gięte elastycznie

Zamiast wykonywać trudny proces ukosowania, korzystniej jest zaprojektować i wykonać elastyczne gięcie rury preizolowanej.



Rysunek 27: Parametry charakterystyczne rury giętej elastycznie.

Do obliczenia minimalnego promienia gięcia rury należy posłużyć się wzorem:

$$R_{MIN} = \frac{E \cdot d_o}{1,3 \cdot R_e} \quad (68)$$

a stąd, możemy wyznaczyć kąt, o jaki możemy zmienić kierunek osi rurociągu:

$$\alpha = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot R_{MIN}} \quad (69)$$

Możemy również określić jaki jest wymagany promień gięcia dla danego kąta odchylenia osi rurociągu.

$$R = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot \alpha} \geq R_{MIN} \quad (70)$$

9.9. Kaskady

Z uwagi na trudności związane z pokonywaniem znacznych różnic w ukształtowaniu terenu zaleca się stosowanie kaskad (zmiana rzędnej osi rurociągu w pionie).

Kaskady należy projektować tylko z łuków o kącie 75° - 90° a ich minimalna wysokość nie może być mniejsza od 2,0 m („łuk do łuku”).

W projektowaniu kaskad należy uwzględnić dodatkowe obciążenie zboczem (naziemem) a kolana obłożyć matami kompensacyjnymi. Dodatkowo należy dokonać sprawdzenia, czy nie nastąpi przekroczenie maksymalnego dopuszczalnego przykrycia rurociągów.

Odległość najbliższych sąsiadujących łuków od łuków kaskady nie powinna być większa niż 20 m.

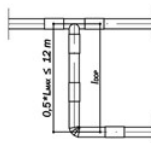
Na planie zagospodarowania terenu i na schemacie montażowym bezwzględnie konieczne jest zaznaczenie i opisanie miejsca występowania kaskady.

Kaskady należy wykonywać przy zastosowaniu kolan pionowych umożliwiające zmianę kierunku w płaszczyźnie pionowej.

9.10. Odgałęzienia

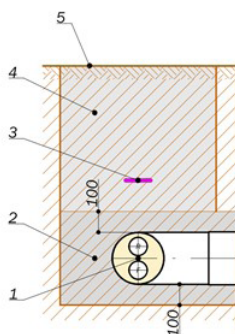
W sieci budowanej z elementów preizolowanych wykonanych w systemie **TWIN PIPE – rury podwójne**, odgałęzienia wykonywane są w płaszczyźnie rurociągu głównego, istotne jest, aby zachować wymaganą dopuszczalną długość odgałęzienia, którą obrazują przedstawione zależności oraz rysunek.

$$L_{ODG} = 0,5 \cdot L_{MAX} \leq 12m \quad (71)$$



Rysunek 28: Wymagania dotyczące długości odgałęzienia.

W sieci budowanej z elementów preizolowanych wykonanych w systemie TWIN PIPE – rury podwójne, odgałęzienia wykonywane są w płaszczyźnie rurociągu głównego – patrz rysunek.



Rysunek 29: Odgałęzienie w płaszczyźnie rurociągów.

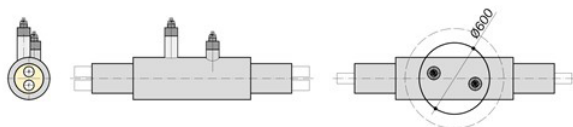
(1) trójnik w systemie TWIN PIPE, (2) łożo piaskowe, (3) taśma znacznikowa, (4) zasypka, (5) nawierzchnia

9.11. Armatura odcinająca

Kształtka zespołu armatury stanowi dość skomplikowany układ rurociągów stalowych wewnątrz osłony, dlatego nie zaleca się jej montażu w miejscu występowania maksymalnych naprężeń osiowych. Zaleca się, aby była zamontowana nie dalej niż w odległości $1/3 L_{MAX}$ od swobodnego końca.

Usytuowanie trzpieni armatury w kształtce umożliwia ich zabudowę we wspólnej studni z wążem $\Phi 600$.

Zaleca się, z uwagi na usytuowanie wysokościowe zaworów, które jest związane z położeniem rurociągów stalowych w kształtce, stosować przedłużacze trzpieni.



Rysunek 30: Armatura odcinającej DN (2x80) /160 z zaznaczonym prześwitem wążu $\Phi 600$.

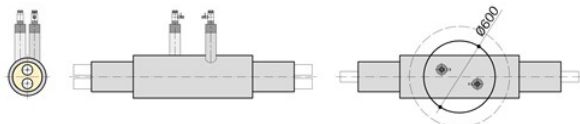
Nie dopuszcza się stosowania jako obudów armatury, skrzynek ulicznych. Izolacja trzpieni jest uzależniona od średnicy zaworu:

- dn 20 i 25 – 90 mm
- dn 32, 40, 50, 65 i 80 – 110 mm
- dn 100, 125, 150 – 140 mm
- dn 200 – 200 mm

9.12. Odpowietrzenia

Wszystkie kształtki odpowietrzeń wyposażone są w zawory odpowietrzające o średnicy **dn 25 mm**.

Odpowietrzenia wyposażone są w zawory serwisowe, których korpus wykonany jest ze stali nierdzewnej a króciec z rury stalowej czarnej.



Rysunek 31: Odpowietrzenie na DN (2×80) /160 z zaznaczonym prześwitem włązu $\Phi 600$.

Usytuowanie króćców w kształtce umożliwia ich zabudowę we wspólnej studni z włączem $\Phi 600$.

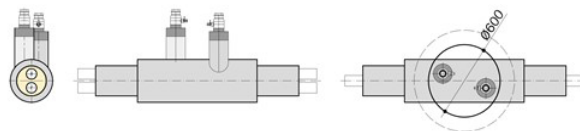
Nie dopuszcza się stosowania jako obudów armatury, skrzynek ulicznych.

9.13. Odwodnienia pionowe

Kształtki odwodnień wyposażone są w zawory o średnicy:

- dn 20, 25, 32 i 40 – 25 mm
- dn 50, 65, 80 i 100 – 32 mm
- dn 125, 150 i 200 – 50 mm

Odwodnienia wyposażone są w zawory serwisowe, których korpus wykonany jest ze stali nierdzewnej a króciec z rury stalowej czarnej.



Rysunek 32: Odwodnienie na DN (2×80) /160 z zaznaczonym prześwitem włązu $\Phi 600$.

Usytuowanie króćców w kształtce umożliwia ich zabudowę we wspólnej studni z włączem $\Phi 600$.

Nie dopuszcza się stosowania jako obudów armatury, skrzynek ulicznych.

9.14. Redukcja średnic

Zwężki należy projektować za odgałęzieniami oraz za przewidywanymi w przyszłości planowanymi miejscami odgałęzień od sieci.

Projektując redukcję średnicy na rurociągach preizolowanych, należy pamiętać o przeanalizowaniu skokowego wzrostu naprężeń w rurze stalowej o mniejszej średnicy, który jest proporcjonalny do stosunku powierzchni przekroju rur.

Z uwagi na powyższe, zespoły te mogą ulegać przemieszczeniom i w związku z tym wymagane jest wykonanie obłożenia matami kompensacyjnymi wokół tych elementów. Grubość mat powinna być dostosowana do obliczeniowego przemieszczenia rurociągu w miejscu montażu redukcji podczas pierwszego ogrzania.

W przypadku projektowania redukcji średnicy rurociągu należy zastosować się do poniższych wymagań:

- nie należy projektować redukcji średnicy rurociągu o więcej niż dwie dymensje na jednej zwężce preizolowanej,
- w przypadku redukcji w miejscu, gdzie na rurociągu o mniejszej średnicy wystąpią naprężenia ≤ 150 MPa, dopuszcza się zastosowanie redukcji o dwie dymensje,
- odległość między dwoma zwężkami w miejscu, gdzie na rurociągu o mniejszej średnicy wystąpią naprężenia ≤ 150 MPa, nie może być mniejsza niż 6,0 m,
- w przypadku redukcji w miejscu, gdzie na rurociągu o mniejszej średnicy wystąpią naprężenia > 150 MPa dopuszcza się zastosowanie redukcji o jedną średnicę. Większą zmianę średnicy należy uzyskać stosując kilka zwęzek jednostopniowych.

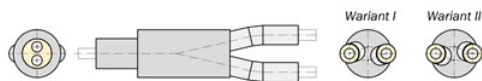
9.15. Połączenia z sieciami preizolowanymi wg PN-EN 253

System TWIN PIPE – rury podwójne można łączyć z rurociągami preizolowanymi wykonanymi zgodnie z normą PN-EN 253 – rurociągi pojedyncze.

Połączenie wymaga zastosowania specjalistycznej kształtki.

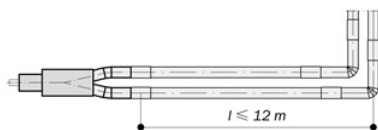
Obecnie dostępne są kształtki „typ Y”.

Kształtka „typ Y” wykonywana jest w dwóch wariantach różniących się między sobą wzajemnym układem rurociągów zasilania i powrotu po stronie systemu rur pojedynczych.

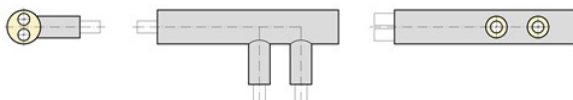


Rysunek 33: Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ Y.

W przygotowaniu znajduje się kształtka „typ F” – rysunek poniżej – która również będzie wykonywana w dwóch wariantach.



Rysunek 34: Warunek łączenia rurociągów TWIN PIPE z rurociągami wg PN-EN 253.



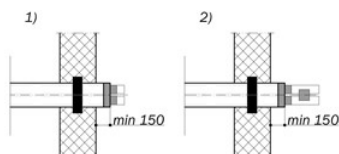
Rysunek 35: Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ F.

9.16. Przejścia przez przegrody budowlane

Przez przegrody budowlane (budynki, komory czy studnie) można wykonać przejście z zastosowaniem typowego pierścienia gumowego.

W przypadku występowania wód gruntowych należy dokonać dodatkowego uszczelnienia w postaci elementów doszczelniających (np. typ WGC).

Jeśli odcinek sieci ciepłej przed budynkiem jest dłuższy od **6,0 m**, należy zastosować kotwy mocujące wewnątrz budynku (patrz rysunek).

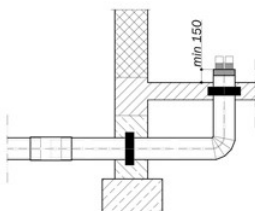


Rysunek 36: Przejścia przez przegrody budowlane z wykorzystaniem pierścienia gumowego.

(1) długość rury prostej przed budynkiem < 6,0 m

(2) długość rury prostej przed budynkiem > 6,0 m z kotwą mocującą

Przez ścianę budynku można również wejść przy zastosowaniu kolana pionowego. Jest to specjalistyczne kolano umożliwiające zmianę kierunku w płaszczyźnie pionowej (patrz rysunek).



Rysunek 37: Przejście przez ścianę z wykorzystaniem kolana pionowego.

9.17. Rzeczywiste punkty stałe RPS

W projektowaniu rurociągów preizolowanych także w systemie TWIN PIPE – rury podwójne, z uwagi na wielkość i trudność w lokalizacji w uzbrojonym terenie należy unikać stosowania rzeczywistych punktów stałych RPS.

W przypadku konieczności wielkość i kształt bloku betonowego punktu stałego powinien określić konstruktor, dostosowując go do istniejącej sytuacji w terenie.

9.18. Izolacja połączeń

W projekcie należy dokładnie określić rodzaj muf stosowanych do izolacji połączeń elementów preizolowanych w warunkach budowy.

W zakresie średnic osłon polietylenowych do $D_c = 560$ mm należy projektować mufy termokurczliwe. Powyżej tej średnicy należy stosować mufy elektrogrzewane.

Mufy elektrogrzewane należy stosować również w miejscach połączenia dwóch kształtek preizolowanych, na których brak jest możliwości umieszczenia mufy termokurczliwej przed wykonaniem spawania.

Długość mufy powinna być uzależniona od długości bosych końców elementów preizolowanych.

Bezwzględnie nie dopuszcza się skracania muf termokurczliwych.

9.19. Uszczelki końcowe termokurczliwe

Na końcach elementów preizolowanych, w miejscach, gdzie preizolacja styka się z powietrzem zewnętrznym, powinny zostać zamontowane końcówki termokurczliwe dostosowane do występujących średnic rur przewodowych i osłon polietylenowych.

9.20. Układanie w terenie z uzbrojeniem podziemnym

9.20.1. Układanie równoległe

Sieć ciepłą należy projektować, zachowując zalecane minimalne odległości między skrajnią sieci ciepłej a skrajnią innych obiektów wymienionych poniżej.

- Kanalizacja – odległość podstawowa minimum 1,2 m z możliwością zmiany za zgodą właściciela.
- Wodociąg – odległość podstawowa minimum 0,9 m z możliwością zmiany za zgodą właściciela.
- Kable do 30 kV – odległość podstawowa minimum 0,5 m.
- Kable powyżej 30 kV – odległość podstawowa minimum 1,0 m.
- Gazociąg – odległość podstawowa minimum 1,0 m z możliwością zmiany na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 roku, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie.

- Sieci telekomunikacyjne – odległość podstawowa min. 1,0 m z możliwością zmiany za zgodą właściciela oraz na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 26 października 2005 roku, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać telekomunikacyjne obiekty budowlane i ich usytuowanie.

W uzasadnionych przypadkach, po uzgodnieniu z gestorem uzbrojenia podziemnego, dopuszcza się możliwość zmniejszenia odległości wskazanych powyżej, po zastosowaniu dodatkowych rozwiązań zabezpieczających uzgodnionych z gestorami tych sieci.

Ponadto, w projekcie należy przewidzieć rozwiązania techniczne związane z zabezpieczaniem sąsiadującej infrastruktury podziemnej.

Odległość między skrajnią sieci ciepłej a budynkiem, jego fundamentami (z uwagi na możliwość utraty nośności gruntu), a także obrysem budynku powyżej poziomu terenu (z uwagi na wymogi eksploatacyjne, w tym również ewentualną pracę sprzętu podczas remontu czy usuwania awarii) uzależniona jest od średnicy sieci ciepłej.

9.20.2. Skrzyżowania

Bez względu na ewentualne przemieszczenia gruntu lub rurociągów wszystkie krzyżujące się rurociągi nie powinny być ułożone bliżej niż 150 mm od płaszcza osłonowego.

Jeżeli ta minimalna odległość nie jest możliwa do zachowania, rura osłonowa musi być zabezpieczona dodatkową rurą HDPE na długości równej pięciokrotnej średnicy rury osłonowej, lecz nie mniejszej niż 1.5m.

Rura krzyżująca musi również być zabezpieczona rurą osłonową.

W pobliżu złączy mufowych, odgałęzień lub zaworów także obowiązuje minimalna odległość 150mm.

Skrzyżowania wynikające z prowadzenia rurociągów ciepłowniczych nad lub pod urządzeniami innej infrastruktury podziemnej muszą być oznaczone w projekcie, który powinien zawierać również szczegółowe rozwiązania kolizji, uzgodnione lub akceptowane przez właściciela lub zarządcę uzbrojenia podziemnego.

W przypadku krzyżowania się sieci ciepłej z tymi urządzeniami minimalne (pionowe) odległości pomiędzy rurociągami preizolowanymi a innym uzbrojeniem (bądź rurą ochronną innego uzbrojenia) powinna wynosić:

- sieci telekomunikacyjne – 0,5 m z możliwością zmiany na podstawie Rozporządzenia przy zastosowaniu zabezpieczenia specjalnego (rura zbliżeniowa) lub szczególnego (rura przepustowa lub ława betonowa) za zgodą właściciela lub gestora przy zastosowaniu zabezpieczenia stykowego,
- gazociąg – 0,2 m z możliwością zmiany na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie,

- kable elektroenergetyczne ≤ 30 kV – do uzgodnienia z gestorem sieci elektroenergetycznej, jednak nie mniej niż 0,1 m między płaszczem osłonowym a osłoną kabla,
- kable elektroenergetyczne > 30 kV – do uzgodnienia z gestorem sieci elektroenergetycznej,
- wodociąg – do uzgodnienia z gestorem sieci wodociągowej, nie mniej niż 0,1 m,
- kanalizacja – do uzgodnienia z gestorem sieci kanalizacyjnej, nie mniej niż 0,1 m.

9.21. System sygnalizacji stanów awaryjnych

W celu niezwłocznej identyfikacji i lokalizacji stanów awaryjnych, minimalizacji kosztów eksploatacyjnych i kosztów ewentualnych remontów sieci ciepłych, należy na etapie projektowania przewidzieć zastosowanie elementów wyposażonych w przewody systemu sygnalizacji alarmowej.

Warunkiem skutecznego działania systemu jest zatem prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie tzw. pętli pomiarowych.

W przypadku projektowania sieci ciepłej wyposażonej w system sygnalizacji alarmowej projektant ma za zadanie:

- określić sposób kontroli rurociągów,
- wskazać miejsca lokalizacji urządzeń stacjonarnych,
- wskazać miejsca wyprowadzenia końcówek pomiarowych,
- określić wielkości pętli pomiarowych,
- wykonać schemat instalacji systemu sygnalizacji alarmowej z opisem punktów charakterystycznych.

W przypadku projektowania stacjonarnych urządzeń kontrolnych należy przewidzieć:

- miejsca lokalizacji urządzeń zgodnie z warunkami producenta,
- zasilanie urządzenia energią elektryczną,
- lokalizację sygnalizatorów awarii.

Kolejną czynnością należąca do projektanta jest określenie i wyspecyfikowanie części składowych systemu kontrolnego, które są montowane bezpośrednio przy rurociągu lub umieszczane w jego bezpośredniej bliskości, z puszkami przyłączeniowymi i pomiarowymi włącznie.

Wskazane jest, by lokalizator był usytuowany w miejscu umożliwiającym przyłączenia do instalacji elektrycznej o napięciu 230V prądu zmiennego.

Pętla pomiarowa powinna być tak zaprojektowana, aby można było wykonać pomiar przynajmniej z obu jej końców. W przypadku pętli rozległych należy przewidzieć możliwość jej rozłączenia przez wyprowadzenie przewodów z elementu preizolowanego na słupki pomiarowy. W przypadku umieszczenia puszki na słupku jego

lokalizacja winna być naniesiona na mapie i uzgodniona razem z uzgodnieniami lokalizacyjnymi sieci.

Do rozłączania pętli może być stosowany również specjalnie przygotowana przez producenta systemu preizolowanego izolacja króćca odpowietrzenia, odwodnienia bądź trzpienia zaworu.

9.22. Drogi eksploatacyjne

Trasa sieci powinna być tak zaprojektowana, aby możliwy był dostęp eksploatacyjny, umożliwiający przeprowadzenie remontu czy usunięcia awarii, a w przypadku sieci o dużych średnicach, aby możliwe było również wprowadzenie ciężkiego sprzętu biorącego udział w prowadzonych robotach.

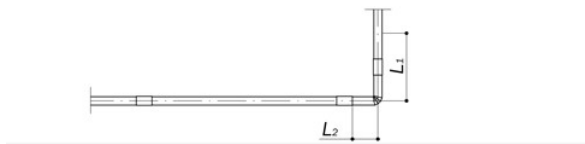
10. Kompensacja wydłużeń termicznych

Wybór metody kompensowania wydłużeń cieplnych zależy od uwarunkowań lokalnych oraz analizy zalet i wad poszczególnych metod.

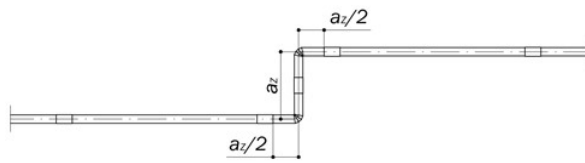
Wydłużenia cieplne rurociągów mogą być kompensowane poprzez naturalne załamania trasy o specjalnie dobranej geometrii, obkładane poduszkami kompensacyjnymi w zależności od przemieszczenia swobodnego końca rurociągu preizolowanego.

Rurociągi mogą być również układane z zastosowaniem podgrzewu wstępnego – więcej szczegółów po kontakcie z Zespołem Projektowania i Doradztwa Technicznego **RADPOL**.

Powszechnie stosowane układy kompensacyjne przedstawiono na kolejnych rysunkach.

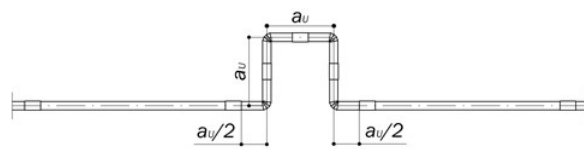


Rysunek 38: Geometria układu kompensacji L-kształtowej.



Rysunek 39: Geometria układu kompensacji Z-kształtowej.

Zaznaczono wielkości charakterystyczne do obkładania poduszkami kompensacyjnymi.

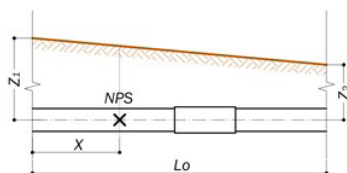


Rysunek 40: Geometria układu kompensacji U-kształtowej.

Zaznaczono wielkości charakterystyczne do obkładania poduszkami kompensacyjnymi.

W doborze kompensacji istotnym elementem jest obliczenie wydłużenia odcinka sieci w obu kierunkach.

W przypadku rozpatrywania odcinka sieci między dwoma swobodnymi końcami przy zróżnicowanym zagłębieniu osi sieci cieplnej przydatny będzie wzór na określenie lokalizacji naturalnego punktu stałego, dla przedstawionego schematu.



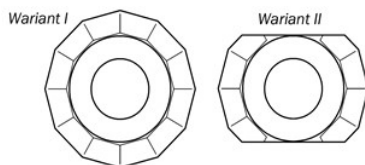
Rysunek 41: Schemat obliczeniowy do określenia lokalizacji naturalnego punktu stałego.

$$X = \frac{2 \cdot Z_1 - \sqrt{2 \cdot (Z_1^2 + Z_2^2)}}{2 \cdot (Z_1 - Z_2)} \cdot L_o \text{ dla } Z_1 \neq Z_2 \quad (72)$$

Z uwagi na zakres temperatur pracy w przedstawionym katalogu, większość układów kompensacyjnych zostanie ograniczona do wielkości, jaką tworzą dwa połączone ze sobą kolana preizolowane.

Dla temperatury roboczej **125°C/65°C** i wydłużeń δ_{MAX} przedstawionych we wcześniejszych tabelach, dla potrzeb podstawowego projektowania, można stosować przedstawione w tabeli wymagane wysięgi elementów kompensacyjnych.

W przypadku innej wielkości wydłużeń δ , można dokonać szczegółowego przeliczenia, jednak elementy kompensacyjne typu „Z-kształt” i „U-kształt” należy tworzyć przy zastosowaniu kolan preizolowanych bez ich skracania.



Rysunek 42: Sposoby obkładania rurociągów poduszkami kompensacyjnymi.

Dla możliwości stosowania tabeli należy dokonać doboru grubości poduszek kompensacyjnych wg wzoru:

$$D_p = 2,4 \cdot \delta \quad (73)$$

a poduszki powinny być układane zgodnie z Wariant II na przedstawionym rysunku.

Tabela 19: Dobór wysięgów układów kompensacji naturalnych.

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona Dc [mm]	Wysięgi kompensacji dla H=0,6 m i δ_{MAX}		
	dn	d ₀ [mm]		L ₁ m	a _z m	a _U m
DN (2x20)/125	20	26,9	125	1,5	2,0	2,0
DN (2x25)/140	25	33,7	140	1,5	2,0	2,0
DN (2x32)/160	32	42,4	160	2,0	2,0	2,0
DN (2x40)/160	40	48,3	160	2,0	2,0	2,0
DN (2x50)/200	50	60,3	200	2,5	2,0	2,0
DN (2x65)/225	65	76,1	225	3,0	2,0	2,0
DN (2x80)/250	80	88,9	250	3,0	2,5	2,0
DN (2x100)/315	100	114,3	315	3,0	2,5	2,0
DN (2x125)/400	125	139,7	400	3,0	2,5	2,0
DN (2x150)/450	150	168,3	450	3,5	3,0	2,5
DN (2x200)/560	200	219,1	560	3,5	3,5	2,5

11. Tabele pomocnicze

W dalszej części przedstawiamy tabele pomocnicze dla zespołów rurowych TWIN PIPE wykonanych w SERII 2 (Izolacja+) i w SERII 3 (Izolacja++) zgodnie z normą PN-EN 15698-1.

Tabela 20: Zestawienie i sposób oznaczania elementów preizolowanych SERIA 2 i SERIA 3.

Rury stalowe						Seria 2 IZOLACJA +			Seria 3 IZOLACJA ++		
dn	d _o [mm]	s [mm]	T± [mm]	Lp [mm]	A _s [mm ²]	Da [mm]	s [mm]	oznaczenie [-]	Da [mm]	s [mm]	oznaczenie [-]
20	26,9	2,6	0,3	19,0	198,5	140	3,0	DN (2x20)/140	180	3,0	DN (2x20)/180
25	33,7	2,6	0,3	19,0	254,0	160	3,0	DN (2x25)/160	180	3,0	DN (2x25)/180
32	42,4	2,9	0,3	19,0	359,9	180	3,0	DN (2x32)/180	200	3,2	DN (2x32)/200
40	48,3	2,9	0,3	19,0	413,6	180	3,0	DN (2x40)/180	200	3,2	DN (2x40)/200
50	60,3	2,9	0,3	20,0	522,9	225	3,4	DN (2x50)/225	250	3,6	DN (2x50)/250
65	76,1	2,9	0,3	20,0	666,9	250	3,6	DN (2x65)/250	280	3,9	DN (2x65)/280
80	88,9	3,2	0,3	25,0	861,6	280	3,9	DN (2x80)/280	315	4,1	DN (2x80)/315
100	114,3	3,6	0,4	25,0	1252,0	355	4,5	DN (2x100)/355	400	4,8	DN (2x100)/400
125	139,7	3,6	0,4	30,0	1539,3	450	5,2	DN (2x125)/450	500	5,6	DN (2x125)/500
150	168,3	4,0	0,5	40,0	2064,7	500	5,6	DN (2x150)/500	560	6,0	DN (2x150)/560
200	219,1	4,5	0,5	45,0	3033,8	630	6,6	DN (2x200)/630	710	7,2	DN (2x200)/710

Tabela 21: Wartości siły tarcia – rurociągi SERIA 2 – IZOLACJA +.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe				Osłona Dc [mm]	F – siła tarcia na jednostkę długości [kN/m] dla przykrycia H:						
	dn	d _o [mm]	s [mm]	A _s [mm ²]		H=0,8	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
DN (2x20)/140	20	26,9	2,6	198,5	140	1,96	2,44	2,91	3,38	3,85	4,33	3,85
DN (2x25)/160	25	33,7	2,6	254,0	160	2,26	2,80	3,34	3,88	4,42	4,96	4,42
DN (2x32)/180	32	42,4	2,9	359,9	180	2,56	3,16	3,77	4,38	4,99	5,59	4,99
DN (2x40)/180	40	48,3	2,9	413,6	180	2,56	3,17	3,78	4,38	4,99	5,60	4,99
DN (2x50)/225	50	60,3	2,9	522,9	225	3,24	4,00	4,76	5,51	6,28	7,03	6,28
DN (2x65)/250	65	76,1	2,9	666,9	250	3,63	4,48	5,32	6,16	7,01	7,85	7,01
DN (2x80)/280	80	88,9	3,2	861,6	280	4,11	5,05	6,00	6,94	7,89	8,83	7,89
DN (2x100)/355	100	114,3	3,6	1252,0	355	5,32	6,51	7,71	8,90	10,11	11,31	10,11
DN (2x125)/450	125	139,7	3,6	1539,3	450	6,88	8,40	9,91	11,43	12,96	14,48	12,96
DN (2x150)/500	150	168,3	4,0	2064,7	500	7,78	9,46	11,15	12,83	14,53	16,22	14,53
DN (2x200)/630	200	219,1	4,5	3033,8	630	10,14	12,26	14,39	16,51	18,66	20,78	18,66

Tabela 22: Wartości siły tarcia – rurociągi SERIA 3 – IZOLACJA ++.

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe				Osłona Dc [mm]	F - siła tarcia na jednostkę długości [kN/m] dla przykrycia H:						
	dn	d _o [mm]	s [mm]	A _s [mm ²]		H=0,8	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
DN (2x20)/160	20	26,9	2,6	198,5	160	2,25	2,79	3,33	3,87	4,39	4,92	4,39
DN (2x25)/180	25	33,7	2,6	254,0	180	2,55	3,15	3,76	4,37	4,94	5,55	4,94
DN (2x32)/200	32	42,4	2,9	359,9	200	2,85	3,52	4,20	4,87	5,50	6,18	5,50
DN (2x40)/200	40	48,3	2,9	413,6	200	2,86	3,53	4,20	4,88	5,50	6,18	5,50
DN (2x50)/250	50	60,3	2,9	522,9	250	3,61	4,46	5,30	6,14	6,92	7,76	6,92
DN (2x65)/280	65	76,1	2,9	666,9	280	4,09	5,03	5,97	6,92	7,77	8,71	7,77
DN (2x80)/315	80	88,9	3,2	861,6	315	4,64	5,71	6,77	7,83	8,77	9,83	8,77
DN (2x100)/400	100	114,3	3,6	1252,0	400	6,03	7,37	8,72	10,07	11,23	12,58	11,23
DN (2x125)/500	125	139,7	3,6	1539,3	500	7,70	9,39	11,07	12,76	14,18	15,87	14,18
DN (2x150)/560	150	168,3	4,0	2064,7	560	8,78	10,67	12,56	14,44	15,98	17,86	15,98
DN (2x200)/710	200	219,1	4,5	3033,8	710	11,55	13,94	16,33	18,73	20,56	22,95	20,56

Tabela 23:
Obliczenia dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Osłona		Sieć ciepła o parametrach 125°C/65°C-temperatura montażu 10 °C. Gęstość zaspiki 18 kN/m³ Siła tarcia na jednostkę długości $F - (kN/m)$. Długość montażowa $L_{mont} - (m)$ i jej wydzielenie $\Delta L_{mont} - (mm)$ dla odpowiedniego przykrycia H:																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}					
DN (2x20)/140	20	26,9	2,6	198,5	140	1,96	20,5	16	2,44	16,5	13	2,91	14,0	11	3,38	12,0	9	3,85	10,5	8	4,33	9,5	7	4,80	8,5	6
DN (2x25)/160	25	33,7	2,6	254,0	160	2,26	23,0	18	2,80	18,5	14	3,34	15,5	12	3,88	13,5	10	4,42	12,0	9	4,96	10,5	8	5,49	9,5	7
DN (2x32)/180	32	42,4	2,9	359,9	180	2,56	29,0	22	3,16	23,5	18	3,77	20,0	15	4,38	17,0	13	4,99	15,0	11	5,59	13,5	10	6,20	12,0	9
DN (2x40)/180	40	48,3	2,9	413,6	180	2,56	34,0	26	3,17	27,5	21	3,78	23,0	18	4,38	19,5	15	4,99	17,5	13	5,60	15,5	12	6,21	14,0	11
DN (2x50)/225	50	60,3	2,9	522,9	225	3,24	34,5	26	4,00	28,0	21	4,76	23,5	18	5,51	20,0	15	6,28	17,5	13	7,03	15,5	12	7,79	14,0	11
DN (2x65)/250	65	76,1	2,9	666,9	250	3,63	40,0	30	4,48	32,0	24	5,32	27,0	21	6,16	23,5	18	7,01	20,5	16	7,85	18,5	14	8,69	16,5	13
DN (2x80)/280	80	88,9	3,2	861,6	280	4,11	45,5	35	5,05	37,0	28	6,00	31,0	24	6,94	27,0	21	7,89	23,5	18	8,83	21,0	16	9,78	19,0	15
DN (2x100)/355	100	114,3	3,6	1252,0	355	5,32	52,0	39	6,51	42,5	32	7,71	36,0	27	8,90	31,0	24	10,11	27,5	21	11,31	24,5	19	12,50	22,0	17
DN (2x125)/450	125	139,7	3,6	1539,3	450	6,88	50,5	38	8,40	41,5	31	9,91	35,0	28	11,43	30,5	23	12,96	26,5	20	14,48	24,0	18	15,99	21,5	16
DN (2x150)/500	150	168,3	4,0	2064,7	500	7,78	60,5	46	9,46	50,0	38	11,15	42,0	32	12,83	36,5	28	14,53	32,5	24	16,22	29,0	22	17,90	26,0	20
DN (2x200)/630	200	219,1	4,5	3033,8	630	10,14	70,0	52	12,26	57,5	43	14,39	49,0	37	16,51	43,0	32	18,66	38,0	29	20,78	34,0	26	22,91	31,0	23

Tabela 24:
Obliczenia dla sieci 125°C/65°C – SERIA 3.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Osłona		Sieć ciepła o parametrach 125°C/65°C-temperatura montażu 10 °C. Gęstość zaspiki 18 kN/m³ Siła tarcia na jednostkę długości $F - (kN/m)$. Długość montażowa $L_{mont} - (m)$ i jej wydzielenie $\Delta L_{mont} - (mm)$ dla odpowiedniego przykrycia H:																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}	F	ΔL_{mont}					
DN (2x20)/140	20	26,9	2,6	198,5	140	1,96	20,5	16	2,44	16,5	13	2,91	14,0	11	3,38	12,0	9	3,85	10,5	8	4,33	9,5	7	4,80	8,5	6
DN (2x25)/160	25	33,7	2,6	254,0	160	2,26	23,0	18	2,80	18,5	14	3,34	15,5	12	3,88	13,5	10	4,42	12,0	9	4,96	10,5	8	5,49	9,5	7
DN (2x32)/180	32	42,4	2,9	359,9	180	2,56	29,0	22	3,16	23,5	18	3,77	20,0	15	4,38	17,0	13	4,99	15,0	11	5,59	13,5	10	6,20	12,0	9
DN (2x40)/180	40	48,3	2,9	413,6	180	2,56	34,0	26	3,17	27,5	21	3,78	23,0	18	4,38	19,5	15	4,99	17,5	13	5,60	15,5	12	6,21	14,0	11
DN (2x50)/225	50	60,3	2,9	522,9	225	3,24	34,5	26	4,00	28,0	21	4,76	23,5	18	5,51	20,0	15	6,28	17,5	13	7,03	15,5	12	7,79	14,0	11
DN (2x65)/250	65	76,1	2,9	666,9	250	3,63	40,0	30	4,48	32,0	24	5,32	27,0	21	6,16	23,5	18	7,01	20,5	16	7,85	18,5	14	8,69	16,5	13
DN (2x80)/280	80	88,9	3,2	861,6	280	4,11	45,5	35	5,05	37,0	28	6,00	31,0	24	6,94	27,0	21	7,89	23,5	18	8,83	21,0	16	9,78	19,0	15
DN (2x100)/355	100	114,3	3,6	1252,0	355	5,32	52,0	39	6,51	42,5	32	7,71	36,0	27	8,90	31,0	24	10,11	27,5	21	11,31	24,5	19	12,50	22,0	17
DN (2x125)/450	125	139,7	3,6	1539,3	450	6,88	50,5	38	8,40	41,5	31	9,91	35,0	28	11,43	30,5	23	12,96	26,5	20	14,48	24,0	18	15,99	21,5	16
DN (2x150)/500	150	168,3	4,0	2064,7	500	7,78	60,5	46	9,46	50,0	38	11,15	42,0	32	12,83	36,5	28	14,53	32,5	24	16,22	29,0	22	17,90	26,0	20
DN (2x200)/630	200	219,1	4,5	3033,8	630	10,14	70,0	52	12,26	57,5	43	14,39	49,0	37	16,51	43,0	32	18,66	38,0	29	20,78	34,0	26	22,91	31,0	23

Tabela 25:
Obliczenia dla sieci 90°C/55°C – SERIA 2.

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe		Osłona		Sieć cieplna o parametrach 125°C/65°C, temperatura montażu 10 °C. Gęstość zasypki 18 kN/m ³ Siła tarcia na jednostkę długości F_{max} – [kN/m], Długość montażowa L_{max} – [m] i jej wydluzenie ΔL_{max} – [mm] dla odpowiedniego przykrycia H																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}							
DN (2x20)/160	20	26,9	2,6	198,5	160	2,25	18,0	14	2,79	14,5	11	3,33	12,0	9	3,87	10,5	8	4,39	9,0	7	4,92	8,0	6	5,46	7,5	6
DN (2x25)/180	25	33,7	2,6	254,0	180	2,55	20,5	16	3,15	16,5	13	3,76	14,0	11	4,37	12,0	9	4,94	10,5	8	5,55	9,5	7	6,16	8,5	7
DN (2x32)/200	32	42,4	2,9	359,9	200	2,85	26,0	20	3,52	21,0	16	4,20	17,5	14	4,87	15,5	12	5,50	13,5	10	6,18	12,0	9	6,85	11,0	8
DN (2x40)/200	40	48,3	2,9	413,6	200	2,86	30,5	23	3,53	24,5	19	4,20	20,5	16	4,88	17,5	14	5,50	15,5	12	6,18	14,0	11	6,85	12,5	10
DN (2x50)/250	50	60,3	2,9	522,9	250	3,61	31,0	23	4,46	25,0	19	5,30	21,0	16	6,14	18,0	14	6,92	16,0	12	7,76	14,0	11	8,60	13,0	10
DN (2x65)/280	65	76,1	2,9	666,9	280	4,09	35,5	27	5,03	28,5	22	5,97	24,0	18	6,92	21,0	16	7,77	18,5	14	8,71	16,5	13	9,66	15,0	11
DN (2x80)/315	80	88,9	3,2	861,6	315	4,64	40,5	31	5,71	33,0	25	6,71	27,5	21	8,73	24,0	18	8,77	21,5	16	9,83	19,0	14	10,89	17,0	13
DN (2x100)/400	100	114,3	3,6	1252,0	400	6,03	46,0	35	7,37	37,5	28	8,72	31,5	24	10,07	27,5	21	11,23	24,5	19	12,58	22,0	17	13,93	19,5	15
DN (2x125)/500	125	139,7	3,6	1539,3	500	7,70	45,0	34	9,39	37,0	28	11,07	31,5	24	12,76	27,0	21	14,18	24,5	19	15,87	22,0	17	17,55	19,5	15
DN (2x150)/560	150	168,3	4,0	2064,7	560	8,78	53,5	41	10,67	44,0	33	12,56	37,5	28	14,44	32,5	25	15,98	29,5	22	17,86	26,5	20	19,75	24,0	18
DN (2x200)/710	200	219,1	4,5	3033,8	710	11,55	61,5	46	13,94	50,5	38	16,33	43,5	33	18,73	37,5	28	20,56	34,5	26	22,95	30,5	23	25,34	28,0	21

Tabela 26:
Obliczenia dla sieci 90°C/55°C – SERIA 3.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Osłona		Sieć cieplna o parametrach 90°C/55°C, temperatura montażu 10 °C. Gęstość zasypki 18 kN/m ³ Siła tarcia na jednostkę długości F_{max} – [kN/m], Długość montażowa L_{max} – [m] i jej wydluzenie ΔL_{max} – [mm] dla odpowiedniego przykrycia H																					
	dn	d _o	s	A _s	Dc	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}	F	ΔL_{max}							
DN (2x20)/140	20	26,9	2,6	198,5	140	1,96	28,5	10	2,44	22,5	8	2,91	19,0	7	3,38	16,5	6	3,85	14,5	5	4,33	12,5	5	4,80	11,5	4
DN (2x25)/160	25	33,7	2,6	254,0	160	2,26	31,5	11	2,80	25,5	9	3,34	21,5	8	3,88	18,5	7	4,42	16,0	6	4,96	14,5	5	5,49	13,0	5
DN (2x32)/180	32	42,4	2,9	359,9	180	2,56	39,5	14	3,16	32,0	12	3,77	27,0	10	4,38	23,0	8	4,99	20,5	7	5,59	18,0	7	6,20	16,5	6
DN (2x40)/180	40	48,3	2,9	413,6	180	2,56	45,0	17	3,17	37,0	13	3,78	31,0	11	4,38	27,0	10	4,99	23,5	8	5,60	21,0	8	6,21	19,0	7
DN (2x50)/225	50	60,3	2,9	522,9	225	3,24	46,5	17	4,00	37,5	13	4,76	31,5	11	5,51	27,0	10	6,28	24,0	9	7,03	21,5	8	7,79	19,0	7
DN (2x65)/250	65	76,1	2,9	666,9	250	3,63	53,5	19	4,48	43,5	15	5,32	36,5	13	6,16	31,5	11	7,01	27,5	10	7,85	24,5	9	8,69	22,0	8
DN (2x80)/280	80	88,9	3,2	861,6	280	4,11	61,5	22	5,05	50,0	18	6,00	42,0	15	6,94	36,0	13	7,89	32,0	11	8,83	28,5	10	9,78	25,5	9
DN (2x100)/385	100	114,3	3,6	1252,0	385	5,32	69,5	25	6,51	57,0	20	7,71	48,0	17	8,91	41,5	15	10,11	36,5	13	11,31	32,5	12	12,50	29,5	11
DN (2x125)/450	125	139,7	3,6	1539,3	450	6,88	67,0	24	8,40	55,0	19	9,92	46,5	17	11,43	40,5	14	12,96	35,5	13	14,48	32,0	11	16,00	29,0	10
DN (2x150)/500	150	168,3	4,0	2064,7	500	7,78	80,5	28	9,47	66,0	23	11,15	56,0	20	12,84	48,5	17	14,54	43,0	15	16,22	38,5	14	17,91	35,0	12
DN (2x200)/630	200	219,1	4,5	3033,8	630	10,15	92,0	32	12,27	76,0	27	14,39	65,0	23	16,52	56,5	20	18,67	50,0	18	20,79	45,0	16	22,91	40,5	14

Tabela 27: Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2 Izolacja +.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Ostona	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 125°C/65°C					
	dn	d _o [mm]	Dc [mm]	Przykrycie H = 0,6 m λs = 2,0 W/(mK); ts=0 °C			Przykrycie H = 1,6 m λs = 1,6 W/(mK); ts=8 °C		
				q _f W/m	q _R W/m	Σq W/m	q _f W/m	q _R W/m	Σq W/m
DN (2x20)/140	20	26,9	140	13,3	3,3	16,6	12,4	2,4	14,8
DN (2x25)/160	25	33,7	160	14,2	3,5	17,7	13,2	2,5	15,7
DN (2x32)/180	32	42,4	180	15,4	3,9	19,3	14,4	2,8	17,2
DN (2x40)/180	40	48,3	180	17,2	5,3	22,5	15,9	4,0	19,9
DN (2x50)/225	50	60,3	225	17,2	4,9	22,1	15,9	3,6	19,5
DN (2x65)/250	65	76,1	250	19,4	6,6	26,0	17,9	5,1	23,0
DN (2x80)/280	80	88,9	280	20,5	7,9	28,4	18,8	6,3	25,1
DN (2x100)/355	100	114,3	355	20,7	7,4	28,1	19,1	5,8	24,9
DN (2x125)/450	125	139,7	450	19,9	6,7	26,6	18,4	5,2	23,6
DN (2x150)/500	150	168,3	500	22,1	9,4	31,5	20,3	7,5	27,8
DN (2x200)/630	200	219,1	630	23,2	10,1	33,3	21,2	8,1	29,3

Tabela 28: Straty ciepła dla sieci 125°C/65°C – SERIA 3 Izolacja ++.

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe		Ostona	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 125°C/65°C					
	dn	d _o [mm]	Dc [mm]	Przykrycie H = 0,6 m λs = 2,0 W/(mK); ts=0 °C			Przykrycie H = 1,6 m λs = 1,6 W/(mK); ts=8 °C		
				q _f W/m	q _R W/m	Σq W/m	q _f W/m	q _R W/m	Σq W/m
DN (2x20)/160	20	26,9	160	12,3	2,3	14,6	11,5	1,6	13,1
DN (2x25)/180	25	33,7	180	13,2	2,5	15,7	12,4	1,7	14,1
DN (2x32)/200	32	42,4	200	14,4	2,8	17,2	13,4	1,9	15,3
DN (2x40)/200	40	48,3	200	15,7	3,9	19,6	14,7	2,8	17,5
DN (2x50)/250	50	60,3	250	15,8	3,5	19,3	14,8	2,4	17,2
DN (2x65)/280	65	76,1	280	17,4	4,5	21,9	16,2	3,3	19,5
DN (2x80)/315	80	88,9	315	18,0	5,4	23,4	16,7	4,1	20,8
DN (2x100)/400	100	114,3	400	18,3	4,9	23,2	17,0	3,7	20,7
DN (2x125)/500	125	139,7	500	17,9	4,7	22,6	16,7	3,5	20,2
DN (2x150)/560	150	168,3	560	19,2	6,4	25,6	17,8	4,9	22,7
DN (2x200)/710	200	219,1	710	19,8	6,6	26,4	18,3	5,1	23,4

Tabela 29: Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 2 Izolacja +.

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Osłona Dc	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 90°C/55°C					
	dn	d _o [mm]		Przykrycie H = 0,6 m λ _s = 2,0 W/(mK); ts=0 °C			Przykrycie H = 1,6 m λ _s = 1,6 W/(mK); ts=8 °C		
			q _f	q _o	Σq	q _f	q _o	Σq	
			W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	
DN (2x20)/140	20	26,9	140	9,3	3,4	12,7	8,4	2,6	11,0
DN (2x25)/160	25	33,7	160	9,9	3,6	13,5	9,0	2,7	11,7
DN (2x32)/180	32	42,4	180	10,7	4,0	14,7	9,7	3,0	12,7
DN (2x40)/180	40	48,3	180	12,0	5,1	17,1	10,8	3,9	14,7
DN (2x50)/225	50	60,3	225	12,0	4,8	16,8	10,8	3,7	14,5
DN (2x65)/250	65	76,1	250	13,7	6,2	19,9	12,3	4,8	17,1
DN (2x80)/280	80	88,9	280	14,5	7,2	21,7	13,0	5,6	18,6
DN (2x100)/355	100	114,3	355	14,6	6,9	21,5	13,1	5,4	18,5
DN (2x125)/450	125	139,7	450	14,0	6,3	20,3	12,6	4,9	17,5
DN (2x150)/500	150	168,3	500	15,8	8,3	24,1	14,0	6,6	20,6
DN (2x200)/630	200	219,1	630	16,5	8,9	25,4	14,7	7,1	21,8

Tabela 30: Straty ciepła dla sieci 90°C/55°C – SERIA 3 Izolacja ++.

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe		Osłona Dc	Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci 90°C/55°C					
	dn	d _o [mm]		Przykrycie H = 0,6 m λ _s = 2,0 W/(mK); ts=0 °C			Przykrycie H = 1,6 m λ _s = 1,6 W/(mK); ts=8 °C		
			q _f	q _o	Σq	q _f	q _o	Σq	
			W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	W/m	
DN (2x20)/160	20	26,9	160	8,5	2,7	11,2	7,8	2,0	9,8
DN (2x25)/180	25	33,7	180	9,1	2,9	12,0	8,3	2,1	10,4
DN (2x32)/200	32	42,4	200	9,9	3,2	13,1	9,1	2,3	11,4
DN (2x40)/200	40	48,3	200	10,9	4,0	14,9	9,9	3,0	12,9
DN (2x50)/250	50	60,3	250	10,9	3,8	14,7	10,0	2,8	12,8
DN (2x65)/280	65	76,1	280	12,2	4,6	16,8	11,0	3,5	14,5
DN (2x80)/315	80	88,9	315	12,6	5,2	17,8	11,4	4,0	15,4
DN (2x100)/400	100	114,3	400	12,8	5,0	17,8	11,6	3,8	15,4
DN (2x125)/500	125	139,7	500	12,5	4,8	17,3	11,3	3,6	14,9
DN (2x150)/560	150	168,3	560	13,5	6,0	19,5	12,2	4,7	16,9
DN (2x200)/710	200	219,1	710	13,9	6,2	20,1	12,6	4,9	17,5

Notatki

Notatki

RADPOL



HEAT-SHRINKABLE TECHNOLOGY



PIPE SOLUTIONS



PRE-INSULATED SYSTEMS



POWER TRANSMISSION INSULATORS

RADPOL S.A. | Prawiedniki Kolonia 57, 20-515 Lublin | +48 81 750 01 70 | radpol@radpol.com.pl | www.radpol.eu