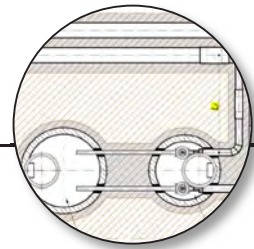
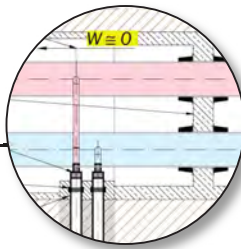
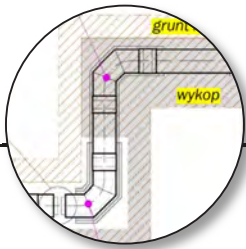


SYSTEMY RUR PREIZOLOWANYCH
PORADNIK PROJEKTANTA



1. Wstęp

Poradnik ten podaje ogólne zasady projektowania preizolowanych sieci ciepłych, wykonywanych w technologii RADPOL PIPES a zawarte w opracowaniu wskazówki mają za zadanie uprościć wybrane etapy prac projektowych i ułatwić podejmowanie -nych 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 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 płaszczu osłonowego z polietylenu.
- **PN-EN 448** – Sieci ciepłownicze — System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie — Kształtki — zespoły ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszczu osłonowego z polietylenu.
- **PN-EN 488** – Sieci ciepłownicze — System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie — Zespół armatury do stalowych rur przewodowych z izolacją cieplną z poliuretanu i płaszczem osłonowym 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 10216-2** – Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych — Warunki techniczne dostawy — Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- **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 własnościami w temperaturze podwyższonej.

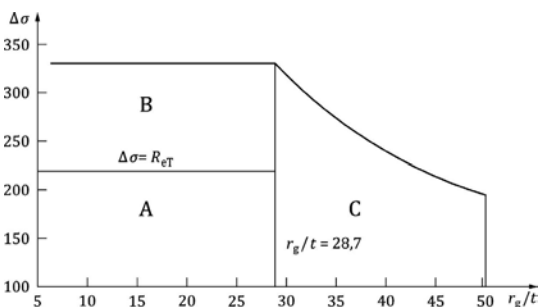
- **PN-EN 10217-5** – Rury stalowe ze szwem do zastosowań ciśnieniowych — Warunki techniczne dostawy — Część 5: Rury ze stali niestopowych i stopowych spawane łukiem krytym z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- **PN-EN 10220** – Rury stalowe bez szwu i ze szwem — Wymiary i masy na 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”

2. Uwagi ogólne

1. Wszystkie elementy preizolowane systemu **RADPOL PIPES** 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 norm **PN-EN 13941.-1** oraz **PN-EN 13941.-2**.
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).



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

- Zgodnie ze wskazaniami normy **PN-EN 13941-1**, przedstawione w poradniku zalecenia w zakresie stosowania rur przewodowych o średnicach poniżej **do=355,6×5,6 mm** oraz zakresie naprężeń osiowych $\sigma_{\text{MAX}} < R_{eT}/\gamma$ mogą służyć do projektowania sieci ciepłych wykonanych z elementów preizolowanych wyprodukowanych zgodnie z normą **PN-EN 253**. Projekty te kwalifikują się jako projekty „klasy A”.
- Odstępstwa od zasad przedstawionych w „Poradniku...”, zgodnie z zapisami normy **PN-EN 13941-1**, wymagają przeprowadzenia pełnych obliczeń wytrzymałościowych.
- Zaleca się** stosowanie przedstawionych w katalogach firmy **RADPOL PIPES** typowych rozmiarów elementów preizolowanych. Odstępstwa od katalogu powinny zostać uzgodnione z właściwymi działami naszej firmy.
- Nie zaleca się** skracania kształtek preizolowanych a najkrótszy odcinek rury prostej, stosowany jako fragment rurociągu, nie może być krótszy od **1,0 m**.
- Nie dopuszcza się** skracania muf termokurczliwych.
- Przedstawione w „Poradniku...” wskazówki dotyczące stosowania rur przewodowych o średnicach większych od **do=355,6×5,6 mm** służą wyłącznie pomocą przy wstępnym określeniu geometrii sieci ciepłej. Zgodnie ze wskazaniami normy **PN-EN 13941-1**, projekty tych sieci wymagają obliczeń szczegółowych.

10. 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 **$\gamma_s = 19 \text{ kN/m}^3$** i temperaturę montażu **$T_{\text{INST}} = 10^\circ\text{C}$** .
11. Załączone w opracowaniu „RADPOL – Poradnik projektanta sieci ciepłych” rysunki nie są przeznaczone do zamieszczania w projektach, a ich celem jest wskazanie przykładowych rozwiązań i zainspirowanie projektantów do opracowania rozwiązań szczegółowych.
12. W opracowaniu przedstawione zostały ogólne wytyczne systemu, dotyczące:
 - określenia klas projektów,
 - obliczania siły od tarcia,
 - obliczania długości tarcia,
 - naprężeń osiowych,
 - obliczeń hydraulicznych,
 - obliczeń strat ciepła,
 - kompensacji wydłużeń termicznych,
 - stosowania poduszek kompensacyjnych,
 - budowy sieci ciepłych z wykorzystaniem rur preizolowanych.

Spis zawartości

1. Wstęp	1
2. Uwagi ogólne	2
3. Stosowane symbole	15
4. Opis systemu rur preizolowanych RADPOL PIPES	27
4.1. Budowa	27
4.2. Rury przewodowe	27
4.3. Izolacja termiczna PUR	29
4.4. Osłona polietylenowa	30
4.5. System kontroli i sygnalizacji stanów awaryjnych	31
4.5.1. System rezystancyjny	31
4.5.2. System impulsowy	32
4.6. Zespoły rurowe	32
5. Sieci ciepłe z zespołów rur	33
5.1. Wykopy	33
5.2. Łoże piaskowe – strefa rurociągu	34
5.3. Strefa wypełnienia wykopu	36
5.4. Poduszki kompensacyjne	36
6. Obciążenia działające na zespół rurowy	38
6.1. Siła od temperatury NT	38
6.2. Siła od ciśnienia wewnętrznego NP	39
6.3. Siła wywołana tarciami NF	39
6.4. Siła od „ramienia kompensacji” NR	41
7. Techniki układania rurociągów preizolowanych	42
8. Stosowanie technik ograniczających naprężenia	44
8.1. Wolny koniec i naturalny punkt stały	44
8.2. Naprężenia dopuszczalne	44
8.3. Zastosowanie kolan kompensacyjnych	45
8.3.1. Dopuszczalna długość montażowa LMAX i wydłużenie odcinka	46
8.3.2. Zestawienie dopuszczalnych długości montażowych	47
8.4. Zastosowanie kompensatorów osiowych	50
8.4.1. Kompensatory mieszkowe – preizolowane	51
8.4.2. Kompensatory jednorazowe – SUC	54
8.5. Podgrzew wstępny	58
9. Obliczenia hydrauliczne	60
9.1. Wykorzystanie arkuszy kalkulacyjnych	60
9.2. Metoda graficzna	61
10. Obliczanie strat ciepła	62
11. Wskazania projektowe	67
11.1. Przeliczenie jednostek	67

11.2.	Wykonanie schematu obliczeniowego	67
11.3.	Występowanie naturalnych punktów stałych	68
11.3.1.	Stałe przykrycie rurociągu (teren płaski – krótkie odcinki)	68
11.3.2.	Przykrycie zmieniające się równomiernie	68
11.3.3.	Zróżnicowane przykrycie rurociągu	69
11.4.	Wykopy	70
11.4.1.	Minimalna głębokość układania	71
11.4.2.	Maksymalna głębokość układania	72
11.4.3.	Płyty zabezpieczające	72
11.4.4.	Płyty odciążające	73
11.4.5.	Rury ochronne	74
11.5.	Roboty ziemne w pobliżu sieci cieplnej preizolowanej	75
11.5.1.	Informacje ogólne	75
11.5.2.	Bezpieczne odkrycie rurociągów	75
11.5.3.	Rekultywacja terenu	77
	a). zwiększenie naziomu	
	(b). zmniejszenie naziomu	
11.5.4.	Wykopy prowadzone równoległe do sieci cieplnej	78
	(a). wykopy umacniane	
	(b). wykopy nieumacniane – wykonywane na rozkop	
	(c). składowanie ziemi z wykopu	
11.6.	Układanie rurociągów w terenie zagospodarowanym	79
11.6.1.	Optymalna głębokość układania	79
11.6.2.	Układanie równoległe	79
11.6.3.	Skrzyżowania	79
11.6.4.	Lokalizacja sieci preizolowanej w pobliżu drzew	81
11.6.5.	Drogi eksploatacyjne	81
11.7.	Zmiana kierunku	81
11.7.1.	Kolana	81
11.7.2.	Ukosowanie	83
11.7.3.	Rury gięte	83
11.8.	Kaskady	85
11.9.	Redukcje średnic	85
11.10.	Odgąłęzienia	86
11.10.1.	Boczne	86
11.10.2.	Równoległe	87
11.10.3.	Odgąłęzienia od sieci kanałowej	87
11.10.4.	Nisze kanałowe	89
11.11.	Rzeczywiste punkty stałe	89
11.12.	Armatura odcinająca	92
11.13.	Odpowietrzenia	93

11.14.	Odwodnienia	95
11.14.1.	Do góry	95
11.14.2.	Grawitacyjne – do dołu	96
11.15.	Połączenia z elementami systemu RURY PODWÓJNE (TWIN PIPE)	97
11.16.	Izolacja połączeń elementów preizolowanych	97
11.17.	Przejścia przez przegrody budowlane	98
11.17.1.	Pierścienie uszczelniające	98
11.17.2.	Uszczelki końcowe termokurczliwe – rękawy kończące	100
11.17.3.	Adaptery przejściowe	100
11.18.	Podgrzew wstępny	100
11.18.1.	Podgrzew czynnikiem grzewczym	102
11.18.2.	Podgrzew parą	102
11.18.3.	Podgrzew elektryczny	103
11.19.	Naciąg wstępny	103
11.19.1.	Naciąg mechaniczny	103
11.19.2.	Naciąg termiczny	105
11.20.	Zastosowanie kompensatorów mieszkowych	105
11.20.1.	Kompensatory mieszkowe – preizolowane	106
11.20.2.	Kompensatory mieszkowe – w komorach	108
11.21.	Kompensatory mieszkowe – jednorazowe SUC	109
11.22.	Komory	106
11.23.	Połączenia z sieciami kanałowymi	110
11.24.	Połączenia z sieciami napowietrznymi	110
11.25.	Przykładowe rozwiązania modernizacji sieci kanałowych	110
11.25.1.	Przykład nr 1	111
11.25.2.	Przykład nr 2	112
11.25.3.	Przykład nr 3	113
11.25.4.	Przykład nr 4	113
11.25.5.	Przykład nr 5	114
11.25.6.	Przykład nr 6	115
11.25.7.	Przykład nr 7	116
11.25.8.	Przykład nr 8	117
11.25.9.	Przykład nr 9	119
12.	Kompensacja wydłużeń termicznych	121
12.1.	Poduszki kompensacyjne	121
12.2.	Schładzanie rurociągów	123
12.3.	Kompensacja wydłużeń układem typu „L”	125
12.3.1.	Budowa	125
12.3.2.	Działanie	125
12.3.3.	Przeciwwskazania	127

12.3.4.	Zasady doboru wielkości kompensacji „L”	127
12.3.5.	Stosowanie poduszek kompensacyjnych	128
12.4.	Kompensacja wydłużeń układem typu „Z”	130
12.4.1.	Budowa	130
12.4.2.	Działanie	130
12.4.3.	Zasady doboru wielkości kompensacji „Z”	131
12.4.4.	Stosowanie poduszek kompensacyjnych	132
12.5.	Kompensacja wydłużeń układem typu „U”	134
12.5.1.	Budowa	134
12.5.2.	Działanie	135
12.5.3.	Zasady doboru wielkości kompensacji „U”	136
12.5.4.	Stosowanie poduszek kompensacyjnych	136
13.	Projektowanie systemów sygnalizacji stanów awaryjnych	139
13.1.	System rezystancyjny	140
13.1.1.	Budowa	140
13.1.2.	Jednolite zasady produkcji elementów preizolowanych dla systemu BRANDES	140
13.1.3.	Zasada działania	142
(a).	sprawdzanie stanu pętli pomiarowej – kontrola ciągłości	
(b).	wykrywanie zmian w rezystancji izolacji – detekcja	
(c).	wskazanie miejsca wystąpienia groźnej anomalii – lokalizacja	
13.1.4.	Skala MH	144
13.1.5.	Tworzenie pętli pomiarowych	144
13.1.6.	Część techniczna dotycząca wyposażenia rurociągu	145
13.1.7.	Projektowanie – część aparaturowa	146
13.1.8.	Podłączenie urządzeń	147
13.1.9.	Składniki systemu	148
13.1.10.	Schemat pomiarowy	149
13.1.11.	Połączenia systemu w komorach	150
13.2.	System impulsowy	151
13.2.1.	Budowa	151
13.2.2.	Jednolite zasady produkcji elementów preizolowanych dla systemu impulsowego	151
13.2.3.	Zasada działania	152
13.2.4.	Tworzenie pętli pomiarowej	153
13.2.5.	Schemat pomiarowy	154
13.2.6.	Ogólne zasady projektowania systemu impulsowego	155
13.3.	Dokumentacja powykonawcza systemu	156
14.	Tabele pomocnicze	157
14.1.	Seria 2 – Izolacja +	157
14.2.	Seria 3 – Izolacja ++	163

Wykaz rysunków

Rysunek 1:	Definicja klas projektów	3
Rysunek 2:	Budowa zespolonego elementu preizolowanego	27
Rysunek 3:	Przewody systemu rezystancyjnego	31
Rysunek 4:	Przewody systemu impulsowego	31
Rysunek 5:	Przekrój poprzeczny wykopu z ułożonymi rurociągami	33
Rysunek 6:	Granice krzywych przesiewowych dla łoża piaskowego	35
Rysunek 7:	Schemat obciążeń oddziałujących na rurociąg preizolowany	38
Rysunek 8:	Schemat do obliczeń siły od tarcia	40
Rysunek 9:	Naprężenia maksymalne w strefie hamowania	42
Rysunek 10:	Naprężenia maksymalne w stosunku do naprężeń dopuszczalnych w sieciach wysokoparametrowych	44
Rysunek 11:	Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu	44
Rysunek 12:	Zastosowanie kolan kompensacyjnych jako swobodnych końców rurociągu	45
Rysunek 13:	Naprężenia w rurze przewodowej przy $L_1 + L_2 < 2 L_{MAX}$	46
Rysunek 14:	Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu	50
Rysunek 15:	Zastosowanie kompensatorów mieszkowych – preizolowanych	51
Rysunek 16:	Podgrzew kompensatora jednorazowego	54
Rysunek 17:	Rozkład naprężeń przy temperaturze obliczeniowej	54
Rysunek 18:	Naprężenia w podgrzanym i zasypanym rurociągu	58
Rysunek 19:	Naprężenia w rurociągu po spadku temperatury	58
Rysunek 20:	Naprężenia w rurociągu po osiągnięciu temperatury obliczeniowej	59
Rysunek 21:	Nomogram przepływu, doboru średnic i strat ciśnienia	61
Rysunek 22:	Model do obliczeń strat ciepła w rurach pojedynczych	62
Rysunek 23:	Schemat założeń do obliczeń strat ciepła metodą superpozycji	62
Rysunek 24:	Temperatura w układzie symetrycznym (T_s) i antysymetrycznym (T_A)	62
Rysunek 25:	Fragment schematu obliczeniowego projektowanej sieci	67
Rysunek 26:	Naturalny punkt stały (NPS) zlokalizowany w połowie odcinka	68
Rysunek 27:	Schemat obliczeniowy do określenia lokalizacji naturalnego punktu stałego	68
Rysunek 28:	Skrajna lokalizacja naturalnego punktu stałego NPS	69
Rysunek 29:	Lokalizacja naturalnego punktu stałego	69
Rysunek 30:	Minimalne przykrycie pod drogą	71
Rysunek 31:	Minimalne przykrycie	71
Rysunek 32:	Płyta zabezpieczająca pod drogą	73
Rysunek 33:	Płyta zabezpieczająca	73
Rysunek 34:	Płyta odciążająca na ściankach	73

Rysunek 35:	Płyta odciążająca oparta na gruncie	73
Rysunek 36:	Rurociągi preizolowane	74
Rysunek 37:	Układanie rurociągów preizolowanych w rurze ochronnej – elementy składowe	74
Rysunek 38:	Odkrycie fragmentu sieci ciepłej	76
Rysunek 39:	Odległość umocnienia ściany wykopu od pracującej sieci ciepłej	78
Rysunek 40:	Odległość skarpy wykopu równoległego	78
Rysunek 41:	Przemieszczenie wierzchołka rurociągu i wydłużenia przeliczeniowe	81
Rysunek 42:	Układ zastępczy z wykorzystaniem U – kształtu	82
Rysunek 43:	Układ zastępczy z wykorzystaniem Z – kształtu	82
Rysunek 44:	Wymagania dotyczące ukosowania	83
Rysunek 45:	Parametry charakterystyczne rury giętej elastycznie	83
Rysunek 46:	Lokalizacja zwężki	85
Rysunek 47:	Skokowy wzrost naprężeń na zwężce	85
Rysunek 48:	Odgałęzienie boczne	87
Rysunek 49:	Odgałęzienie równoległe	87
Rysunek 50:	Odgałęzienie od sieci kanałowej w miejscu lokalizacji punktu stałego – $W \sim 0$	88
Rysunek 51:	Odgałęzienie od sieci kanałowej z zastosowaniem adapteru – $W > 0$	88
Rysunek 52:	Rzeczywisty punkt stały w gruncie	89
Rysunek 53:	Obciążenia rzeczywistego punktu stałego	90
Rysunek 54:	Wielkość rzeczywistego punktu stałego wraz ze zbrojeniem – rysunek do tabeli	90
Rysunek 55:	Schemat lokalizacji rzeczywistego punktu stałego RPS	91
Rysunek 56:	Rzeczywisty punkt stały nieodciążony	91
Rysunek 57:	Montaż armatury odcinającej w miejscu nienarażonym na przemieszczenia	92
Rysunek 58:	Montaż odpowietrzeń preizolowanych we wspólnej obudowie studziennej	94
Rysunek 59:	Montaż odwodnień pionowych w oddzielnych obudowach	95
Rysunek 60:	Studnia zaworów	96
Rysunek 61:	Odwodnienie ze studnią zaworów i studnią schładzającą	96
Rysunek 62:	Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ Y	97
Rysunek 63:	Warunek łączenia rurociągów TWIN PIPE z rurociągami wg PN-EN 253	97
Rysunek 64:	Kształtka przejściowa TWIN PIPE – rury podwójne na rury pojedyncze – typ F	97

Rysunek 65:	Przejścia rurociągów przez ścianę budynku z wykorzystaniem pierścieni uszczelniających	99
Rysunek 66:	Uszczelnienie przejść rurociągów przez ścianę i posadzkę	99
Rysunek 67:	Przejście przez ścianę z wykorzystaniem adaptera	100
Rysunek 68:	Przygotowanie rurociągów do podgrzewu wstępnego – obsypka piaskowa	101
Rysunek 69:	Przygotowanie rurociągów do podgrzewu wstępnego – pozorny punkt stały	101
Rysunek 70:	Naciąg wstępny – mechaniczny	104
Rysunek 71:	Naciąg wstępny – termiczny	105
Rysunek 72:	Zastosowanie pojedynczego kompensatora mieszkowego – preizolowanego	106
Rysunek 73:	Stosowanie rzeczywistych punktów stałych między skrajnymi kompensatorami a kolanami kompensacyjnymi	107
Rysunek 74:	Lokalizacja rzeczywistego punktu stałego	107
Rysunek 75:	Przykład komory kompensatorów	108
Rysunek 76:	Zastosowanie kompensatorów mieszkowych w komorach, w sieciach tradycyjnych w obudowach kanałowych	108
Rysunek 77:	Zastosowanie kompensatorów mieszkowych w komorach, w sieciach ciepłych preizolowanych	108
Rysunek 78:	Połączenie z siecią napowietrzną	111
Rysunek 79:	Przykładowa trasa kanałowej sieci ciepłej przeznaczonej do modernizacji	111
Rysunek 80:	Ułożenie sieci ciepłej preizolowanej po trasie starej sieci ciepłej kanałowej	111
Rysunek 81:	Najprostsza optymalizacja trasy sieci ciepłej	111
Rysunek 82:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 2	112
Rysunek 83:	Sieć ciepła do przykładu nr 2 po przebudowie	112
Rysunek 84:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 3	113
Rysunek 85:	Sieć ciepła do przykładu nr 3 po przebudowie	113
Rysunek 86:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 4	113
Rysunek 87:	Sieć ciepła do przykładu nr 4 po przebudowie	114
Rysunek 88:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 5	114
Rysunek 89:	Sieć ciepła do przykładu nr 5 po przebudowie	115
Rysunek 90:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 6	115
Rysunek 91:	Sieć ciepła do przykładu nr 6 po przebudowie bez zastosowania rzeczywistego punktu stałego	115
Rysunek 92:	Sieć ciepła do przykładu nr 6 po przebudowie z zastosowaniem rzeczywistego punktu stałego	116
Rysunek 93:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 7	116

Rysunek 94:	Sieć ciepła do przykładu nr 7 po przebudowie	116
Rysunek 95:	Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 8	117
Rysunek 96:	Zabezpieczenie układów rurociągów i armatury w komrach	117
Rysunek 97:	Zabezpieczenie pozostających kompensacji	117
Rysunek 98:	Zastosowanie dodatkowego układu kompensacji	118
Rysunek 99:	Rzeczywisty punkt stały pomiędzy siecią ciepłą preizolowaną z kompensatorami mieszkowymi	119
Rysunek 100:	Zastosowanie dodatkowego odcinka sieci ciepłej preizolowanej	120
Rysunek 101:	Obciążenie rurociągów w gruncie	121
Rysunek 102:	Zabezpieczenie izolacji PUR	121
Rysunek 103:	Sposoby obkładania rurociągów	123
Rysunek 104:	Rozkład naprężeń w długim odcinku rurociągu podczas ogrzewania i chłodzenia	124
Rysunek 105:	Rozkład naprężeń w krótkim odcinku rurociągu podczas ogrzewania i chłodzenia	124
Rysunek 106:	Kompensacja typu „L”	125
Rysunek 107:	Współdziałanie kompensacji typu „L” z otoczeniem w miejscu strefy kompensacyjnej	126
Rysunek 108:	Zmiana kierunku nie będąca kompensacją typu „L”	127
Rysunek 109:	Stosowanie poduszek	128
Rysunek 110:	Kompensacja typu „Z”	130
Rysunek 111:	Współdziałanie kompensacji typu „Z” z otoczeniem w miejscu występowania odkształceń	130
Rysunek 112:	Stosowanie poduszek w kompensacji typu „Z”	132
Rysunek 113:	Stosowanie poduszek w kompensacji typu „Z”	132
Rysunek 114:	Kompensacja typu „U”	134
Rysunek 115:	Współdziałanie kompensacji typu „U” z otoczeniem w miejscu występowania odkształceń	135
Rysunek 116:	Stosowanie poduszek w kompensacji typu „U”	136
Rysunek 117:	Stosowanie poduszek w kompensacji typu „U”	137
Rysunek 118:	Przewody systemu rezystancyjnego	140
Rysunek 119:	Przewody w trójnikach	141
Rysunek 120:	Stosowanie trójników odgałęziających się w różnych kierunkach	141
Rysunek 121:	Okablowanie trójnika równoległego w technologii RADPOL PIPES	141
Rysunek 122:	Oryginalny trójnik BRANDES	142
Rysunek 123:	Okablowanie kolan w technologii RADPOL PIPES	142
Rysunek 124:	Kontrola ciągłości pętli pomiarowej	142
Rysunek 125:	Detekcja	143
Rysunek 126:	Lokalizacja	143
Rysunek 127:	Skala MH	144

Rysunek 128:	Pętla pomiarowa bez odgałęzień	144
Rysunek 129:	Pętla pomiarowa z odgałęzieniem	145
Rysunek 130:	Zestawienie elementów systemu rezystancyjnego BRANDES	148
Rysunek 131:	Schemat pomiarowy dla BS-MH3	149
Rysunek 132:	Wyprowadzenie przewodów spod uszczelki końcowej termokurczliwej	149
Rysunek 133:	Montaż i podłączenie puszki przyłączeniowej	149
Rysunek 134:	Wyprowadzenie przewodów do pomiarów	149
Rysunek 135:	Podłączenie puszki pomiarowej BS-MD dla układu pętli pojedynczej i pętli wspólnej	150
Rysunek 136:	Połączenia systemu w komorze	150
Rysunek 137:	Połączenia systemu w komorze z odgałęzieniem	150
Rysunek 138:	Połączenia systemu w komorach z odgałęzieniami „w lewo” i „w prawo”	151
Rysunek 139:	Przewody stosowane w systemie impulsowym	151
Rysunek 140:	Okablowanie kolana	152
Rysunek 141:	Okablowanie trójnika	152
Rysunek 142:	Obraz zwarcia na wyświetlaczu reflektometru	152
Rysunek 143:	Obraz przerwania pętli	152
Rysunek 144:	Obraz zawilgocenia – wycieku	153
Rysunek 145:	Lokalizator awarii – reflektometr	153
Rysunek 146:	Pętla pomiarowa bez odgałęzień	153
Rysunek 147:	Pętla pomiarowa z odgałęzieniami i sposoby wykonania odgałęzień	154
Rysunek 148:	Schemat pomiarowy dla LPS-2C	154
Rysunek 149:	Montaż puszki końcowej	155
Rysunek 150:	Montaż puszki końcowej	155
Rysunek 151:	Puszka końcowa 67LV45 z kablem KE	155
Rysunek 152:	Protokół pomiarowy systemu rezystancyjnego	156
Rysunek 153:	Protokół pomiarowy systemu impulsowego	156

Indeks tabel

Tabela 1:	Parametry charakterystyczne stali P 235 GH ($\gamma=78,5 \text{ kN/m}^3$)	28
Tabela 2:	Typoszereg przewodowych rur stalowych	28
Tabela 3:	Parametry charakterystyczne izolacji termicznej PUR	29
Tabela 4:	Wielkości charakterystyczne osłon	30
Tabela 5:	Parametry charakterystyczne osłon polietylenowych	30
Tabela 6:	Oferta produktowa	32

Tabela 7:	Zestawienie odległości w wykopie	34
Tabela 8:	Wymagania dotyczące poduszek kompensacyjnych	36
Tabela 9:	Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	41
Tabela 10:	Techniki układania rurociągów preizolowanych	43
Tabela 11:	Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	48
Tabela 12:	Długości montażowe dla sieci 90°C/55°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	49
Tabela 13:	Dostępne kompensatory osiowe	50
Tabela 14:	Kompensatory mieszkowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	53
Tabela 15:	Odległość kompensatorów SUC od kolana kompensacyjnego dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	56
Tabela 16:	Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	57
Tabela 17:	Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	65
Tabela 18:	Opory ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD	66
Tabela 19:	Przeliczanie jednostek	67
Tabela 20:	Zalecane minimalne wymiary wykopów	70
Tabela 21:	Maksymalne przykrycie rurociągów	72
Tabela 22:	Odkrywanie rurociągów sieci ciepłej	77
Tabela 23:	Wydłużenia dopuszczalne	81
Tabela 24:	Rury gięte na budowie	83
Tabela 25:	Rury gięte elastycznie i fabrycznie	84
Tabela 26:	Typowe wielkości rzeczywistych punktów stałych	90
Tabela 27:	Dopuszczalne przemieszczenie rurociągów w strefie kompensacyjnej o założonej grubości	123
Tabela 28:	Zdolności kompensacyjne układów „L – kształtowych”	129
Tabela 29:	Zdolności kompensacyjne układów „Z – kształtowych”	133
Tabela 30:	Zdolności kompensacyjne układów „U – kształtowych”	138
Tabela 31:	Części składowe systemu rezystancyjnego BRANDES	146
Tabela 32:	Narzędzia i aparaty do montażu systemu	146
Tabela 33:	Wyposażenie do celów ręcznej kontroli i lokalizacji	147
Tabela 34:	Ilość poszczególnych elementów systemu impulsowego dla projektu	156
Tabela 35:	Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów – SERIA 2 - Izolacja +	157

Tabela 36:	Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja + . .	158
Tabela 37:	Kompensatory mieszkwych w sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +	159
Tabela 38:	Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +	160
Tabela 39:	Odległość kompensatorów SUC od kolana kompensacyjnego dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +	161
Tabela 40:	Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +	161
Tabela 41:	Opory ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C - SERIA 2 - Izolacja + . .	162
Tabela 42:	Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów – SERIA 3 - Izolacja ++	163
Tabela 43:	Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++ . .	164
Tabela 44:	Kompensatory mieszkwych w sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++	165
Tabela 45:	Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++	166
Tabela 46:	Odległość kompensatorów SUC od kolana kompensacyjnego dla sieci 125°C/65°C - SERIA 3 - Izolacja ++	167
Tabela 47:	Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++	167
Tabela 48:	Opory ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++ . .	168

3. Stosowane symbole

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

Symbol	Nazwa	Jednostka
A	punkty stałe) długość bloku betonowego	mm, m
A_{IN}	powierzchnia wewnętrzna rury przewodowej	mm ²
A_M	powierzchnia mieszka kompensatora osiowego	mm ²
A_{MIN}	wydłużenie przy zerwaniu	%
A_S, A_{S1}, A_{S2}	powierzchnia pierścienia rury stalowej	mm ² , m ²

A_{HDPE}	powierzchnia pierścienia osłony polietylenowej	
A^*	remonty sieci) wysięg dobranej kompensacji	
B, B'	punkty stałe) szerokość bloku betonowego	mm, m
B^*	remonty sieci) wysięg dobranej kompensacji	m
B^*	wykopy nad siecią) wartość pomocnicza	–
C, C'	punkty stałe) wysokość bloku betonowego	mm, m
C	obliczenia cieplne) odległość między osiami rur	m
C_A	sprężystość mieszka kompensatora osiowego	N/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 lub D_a	średnica zewnętrzna osłony polietylenowej serii 1 – STANDARD	mm
D_{C+}, D_{C++}	średnica zewnętrzna osłony polietylenowej serii 2 lub 3	mm
D_{Cf}	średnica zewnętrzna osłony polietylenowej zasilenia	mm
D_{CH}	średnica studni schładzającej	mm
D_{Cr}	średnica zewnętrzna osłony polietylenowej powrotu	mm
D_i	średnica wewnętrzna osłony polietylenowej	mm
D_P	średnica zewnętrzna poduszek kompensacyjnych	mm

D_{SZ}	średnica studni zaworów	mm
E	moduł odkształcalności liniowej – Younga	N/mm ² MPa
E_2 lub E_{PUR}	moduł sprężystości PUR	N/mm ² MPa
E_4 lub E_{GRUNT}	moduł sprężystości łoża piaskowego	N/mm ² MPa
E_5 lub E_{PK}	moduł sprężystości poduszek kompensacyjnych	N/mm ² MPa
E_{T2} lub E_T	moduł Younga w założonej temperaturze	N/mm ² MPa
F	siła wywołana tarciami pomiędzy osłoną HDPE a łożem piaskowym	kN/m
F_{SR1} , F_{SR2} , F_{SRi}	średnie odcinkowe siły od tarcia	kN/m
$F_{całk}$	punkty stałe) całkowita siła przenoszona przez punkt stały	kN
g	przyspieszenie ziemskie	m/s ²
g_p	w kompensacjach) grubość pojedynczej poduszki kompensacyjnej lub grubość pojedynczej warstwy poduszek kompensacyjnych	mm
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 stalowej rury przewodowej w 1 m elementu preizolowanego	kN/m
G_w	ciężar wody wewnątrz rury przewodowej	kN/m
H	przykrycie rurociągu	m
H	wysokość króćca odwodnienia pionowego lub odpowietrzenia	m

h_a	obliczenia cieplne) współczynnik układu antysymetrycznego	–
H_{CZ}	głębokość czynna studni schładzającej	mm
H_{MAX}	maksymalne przykrycie rurociągu preizolowanego	mm lub m
h_s	obliczenia cieplne) współczynnik układu symetrycznego	–
H_W	zagłębienie poziomu zwierciadła wód gruntowych	m
I_X, I_Y	moment bezwładności rury przewodowej	m^4
J	w kompensacjach) rozstaw kompensatora typu „U”	m
k	w hydraulicce) chropowatość przewodu rurowego	mm lub m
k_2, k_4, k_5	sztwność materiału, odpowiednio: PUR, zasypka, poduszki	N/mm^2
K_O	współczynnik parcia spoczynkowego gruntu	–
K_M	oznaczenia) kompensator mieszkowy	–
L	długość strefy poślizgu odcinka tarcia)	m
L	rura ochronna) długość rury ochronnej	m
l	długość analizowanego odcinka również $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_{ODG}$	m
l_{DOP}	dopuszczalna długość układania odgałęzienia	m
L_1, L_2, L_3	w kompensacjach) wymagana długość kompensacji typu „L”	m
L_{1B}, L_{2B}	odległości do wystąpienia granicznych naprężeń przy schładzaniu	m
l_{ALL}	odległość kompensatora SUC od naturalnego punktu stałego	m
L_{ALL}	rozstaw kompensatorów SUC	m

L_{OD}	długość odcinka bezpiecznego odkopania rurociągów	m
L_g	długość łuku rury giętej	m
L_f, L_r, L_k L-kształt	długość ramienia kompensacji oznaczenia) kompensacja naturalna wykorzystująca jedno kolano	m –
L_{KM}	długość montażowa dla zespołu z kompensatorem mieszkowym	m
L_{KS}	odległość kompensatora SUC od kolana kompensacyjnego	m
L_{NM}	wielkość naciągu mechanicznego	mm
L_{MAX}	długość montażowa – od kolana do NPS	m
L_O	maksymalna odległość między kolanami kompensacyjnymi	m
L_{PK}	w kompensacjach) długość strefy kompensacyjnej	m
L_{WP}	w kompensacjach) długość warstwy poduszek kompensacyjnych	m
M	wykopy) odległość między rurociągami preizolowanymi	mm
m, n	punkty stałe) proporcje wysokości rzeczywistego punktu stałego	mm
N	wykopy) odległość między osłoną HDPE a ścianą wykopu	mm
N	siła osiowa	N lub kN
N	rura ochronna) liczba zestawów płóz	szt.
N_1, N_2, \dots, N_i	cząstkowe siły osiowe	N lub kN
N_F	składowa siły osiowej wywołana tarciem osłony o grunt	N lub kN
N_{F1}, N_{F2}	siły osiowe od tarcia gruntu na analizowanych odcinkach sieci	N lub kN
N_{KM}	składowa siły osiowej wywołana reakcją kompensatora osiowego	N lub kN

N_{KM}	na rysunkach) liczba kompensatorów mieszkowych w jednej linii	szt.
N_{NPS}	siła równoważona w naturalnym punkcie stałym	N lub kN
N_P	składowa siły osiowej wywołana ciśnieniem wewnętrznym	N lub kN
N_{PS}	oznaczenia) naturalny punkt stały	-
N_R	siła od ramienia kompensacji i poprzecznej reakcji gruntu	N lub kN
N_{RPS}	wielkość siły osiowej dla doboru rzeczywistego punktu stałego	N lub kN
N_T	składowa siły osiowej wywołanej różnicą temperatury	N lub kN
p	nadciśnienie	MPa lub N/mm ²
q	obliczenia cieplne) straty ciepła 1 mb sieci cieplnej preizolowanej	W/m
q_A	obliczenia cieplne) składowa układu antysymetrycznego	W/m
q_F	obliczenia cieplne) straty ciepła rurociągu zasilającego	W/m
q_R	obliczenia cieplne) straty ciepła rurociągu powrotnego	W/m
q_S	obliczenia cieplne) składowa układu symetrycznego	W/m
R	rura ochronna) rozstaw zestawów płóz	m
R	rura gięta) promień gięcia rury	m
R	Brandes) rezystancja pętli pomiarowej	
R_1, R_2	Brandes) rezystancja przewodów po obu stronach awarii	
R_A	obliczenia cieplne) opór cieplny układu antysymetrycznego	m ² K/W
R_e	w hydraulice) liczba Reynoldsa	-
R_e	w mechanice) granica plastyczności	N/mm ²

R_{eT}	granica plastyczności w założonej temperaturze	N/mm ²
R_{EL}	minimalny promień elastycznego gięcia rury na placu budowy	m
R_{eMIN}	minimalna granica plastyczności	N/mm ²
R_F	Brandes) rezystancja izolacji w miejscu wystąpienia awarii	
R_{FA}	minimalny promień fabrycznego gięcia rury	m
R_{ME}	minimalny promień mechanicznego gięcia rury na placu budowy	m
R_{MIN}	minimalny promień gięcia rury dla potrzeb obliczeniowych	m
R_i	w hydraulicce) opory liniowe przepływu	Pa/m
R_O	obliczenia cieplne) współczynnik wymiany ciepła gruntu i powietrza	m ² K/W
R_{PUR}	Brandes) rezystancja suchej izolacji	
R_S	obliczenia cieplne) opór cieplny układu symetrycznego	m ² K/W
RPS	oznaczenia) rzeczywisty punkt stały	m
SUC	oznaczenia) Single Use Compensator – kompensator jednorazowy	–
t lub t_o	grubość ścianki stalowej rury przewodowej	mm
t_c	grubość ścianki osłony polietylenowej serii 1 – STANDARD	mm
t_{c+} , t_{c++}	grubość ścianki osłony polietylenowej serii 2 i 3	mm
T	temperatura obliczeniowa	°C
T_2	temperatura zamknięcia kompensatorów SUC	°C
T_A	temperatura czynnika dla układu antysymetrycznego	°C

T_f , T_f lub t_f	temperatura czynnika w rurociągu zasilającym	°C
T_1 lub T_{INST}	temperatura montażu	°C
T_{PH}	temperatura podgrzewu wstępnego	°C
t_{PUR}	grubość izolacji termicznej PUR	mm
t_{PK}	grubość zastosowanych poduszek kompensacyjnych	mm
T_R , T_r lub t_r	temperatura czynnika w rurociągu powrotnym	°C
t_S	temperatura nienaruszonego gruntu na poziomie rurociągów	°C
T_S	temperatura czynnika dla układu symetrycznego	°C
T_{SR}	średnia temperatura czynnika	°C
T_{\pm}	tolerancja grubości ścianki rury stalowej	mm
u	wydłużenie odcinka montażowego z kompensatorami SUC	mm
U	Brandes) napięcie zasilające układ pomiarowy	V
U_1	Brandes) wskazania voltomierza	V
U-kształt	oznaczenia) kompensacja naturalna wykorzystująca cztery kolana	–
U	w kompensacjach) wymagany wysięg kompensacji typu „U”	m
w	w hydraulice) prędkość przepływu czynnika grzewczego	m/s
W lub W_{MAX}	przesunięcie punktu włączenia w rurociąg sieci kanałowej	mm
W_1 , W_2	geometria trasy) wydłużenie przeliczeniowe	mm
W_A	chłonność wody przez PUR	%

W_{\min}	minimalny wysięg płyty zabezpieczającej poza skrajnię rurociągów	m, mm
X	Brandes) obliczeniowa lokalizacja naturalnego punktu stałego	m
X%	Brandes) miejsce wystąpienia awarii	%
$X_1\% \dots X_8\%$	Brandes) odczyty długości pętli w punktach charakterystycznych charakterystycznych	%
Z, Z_1, Z_2	zagłębienie osi zespołu rurowego	m
Z	w hydraulic) opory miejscowe	Pa/m
Z	w kompensacjach) wymagany wysięg kompensacji typu „Z”	m
Z-kształt	oznaczenia) kompensacja naturalna wykorzystująca dwa kolana	-
Z_C	obliczenia cieplne) zastępcze zagłębienie osi zespołu rurowego	m

Symbole greckie

Symbol	Nazwa	Jednostka
α	współczynnik rozszerzalności liniowej	1/K
α lub α°	geometria trasy) kąt odchylenia osi rurociągów	°
α_{EL}	kąt elastycznego gięcia rury preizolowanej	°
α_{FA}	kąt fabrycznego gięcia rury preizolowanej	°
α_{HDPE}	współczynnik rozszerzalności liniowej polietylenu HDPE	1/K
α_{ME}	kąt mechanicznego gięcia rury preizolowanej	°
$\alpha T, \alpha T2, \alpha PH$	współczynnik rozszerzalności liniowej w założonej temperaturze	1/K

β	obliczenia cieplne) zmienna pomocnicza	-
β°	geometria trasy) kąt odchylenia osi rurociągów	°
γ_m	współczynnik bezpieczeństwa	-
γ_u	punkty stałe) współczynnik przeliczeniowy punktu stałego	-
γ_s	ciężar właściwy zasyпки i łoża piaskowego	kN/m ³
γ lub 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	°
$\delta, \delta_1, \delta_2$	wydłużenie odcinka rurociągu	mm, m
δ_{KM}	przemieszczenie wolnego końca w miejscu kompensatora osiowego	mm
$\delta_w, \delta_{w1}, \delta_{w2}$	w kompensacjach) przemieszczenie wypadkowe kolana	mm
δ_{MAX}	wydłużenie w miejscu kolana dla długości montażowej LMAX	mm
ΔL	zdolność kompensacyjna kompensatora mieszkowego	mm
$\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3$	w kompensacjach) wydłużenie odcinka w kompensacji typu „L”	mm
$\Delta L_{1B}, \Delta L_{2B}$	„skrócenie” odcinków podczas schładzania	mm
Δp	w hydraulice) suma straty ciśnienia	Pa
$\Delta \sigma$	wzrost lub spadek naprężeń	N/mm ²
ΔT	różnica lub przyrost temperatury	K

ΔT_T	przyrost temperatury dla zespołu rurowego	K
$\Delta U_1 \Delta U_2 \Delta U_3$	w kompensacjach) wydłużenie odcinka w kompensacji typu „U”	mm
Δu	nastawa kompensatora SUC	mm
$\Delta Z_1 \Delta Z_2 \Delta Z_3$	w kompensacjach) wydłużenie odcinka w kompensacji typu „Z”	mm
ε	w hydraulic) względna chropowatość przewodu rurowego	–
ε	rura ochronna) przesunięcie mimośrodowe osi rur	mm
ε_{gr}	w hydraulic) względna chropowatość graniczna przewodu	–
ζ	w hydraulic) współczynnik oporów miejscowych	–
λ	w hydraulic) współczynnik oporów liniowych	–
λ	współczynnik przewodzenia ciepła	W/mK
λ_{50}	współczynnik przewodzenia ciepła przez PUR w temperaturze 50°C	W/mK
λ_{HDPE}	współczynnik przewodzenia ciepła polietylenu HDPE	W/mK
λ_i	współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego	W/mK
λ_s	współczynnik przewodzenia ciepła gruntu	W/mK
μ	współczynnik tarcia	–
ν	współczynnik Poissona	dla stali 0,3
ν	w hydraulic) lepkość dynamiczna	m ² /s
π	stała matematyczna	3,14...
ρ	w hydraulic) gęstość czynnika w założonej temperaturze	kg/m ³
ρ_{SR}	gęstość minimalna pianki PUR na końcach rur – gęstość średnia	kg/m ³

ρ_{HDPE}	minimalna gęstość polietylenu HDPE	kg/m ³
σ	naprężenia	N/mm ²
σ_1, σ_2	naprężenia osiowe w analizowanych przekrojach	N/mm ²
σ_1	naprężenia osiowe dopuszczalne podczas zamknięcia SUC	N/mm ²
σ_2	naprężenia osiowe resztkowe po zamknięciu SUC	N/mm ²
$\sigma_{10\%}$	wytrzymałość na ściskanie w kierunku promieniowym	N/mm ²
σ_a	naprężenia osiowe	N/mm ²
σ_{DOP} lub σ_{ALL}	dopuszczalne naprężenia osiowe	N/mm ²
σ_F	naprężenie osiowe w rurze zasilającej	N/mm ²
σ_{max}	maksymalne naprężenia osiowe	N/mm ²
σ_p	naprężenie obwodowe wywołane na skutek nadciśnienia	N/mm ²
σ_R	naprężenie osiowe w rurze powrotnej	N/mm ²
σ_u	efektywne naprężenia gruntu na poziomie osi rurociągu	N/mm ²
σ_x	składowa naprężenia osiowego wywołana ciśnieniem wewnętrznym	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 zamkniętych	%

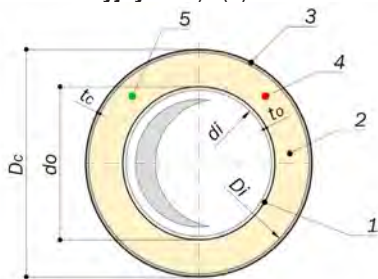
4. Opis systemu rur preizolowanych RADPOL PIPES

Nowoczesne systemy rur preizolowanych RADPOL PIPES spełniające coraz ostrzejsze wymagania jakościowe, stanowią skuteczną propozycję budowy sieci ciepłych z przygotowanych w warunkach zakładu produkcyjnego elementów przystosowanych do bezpośredniego układania w gruncie.

4.1. Budowa

Element preizolowany, którego przekrój przedstawiony został na rysunku, składa się z:

- rury przewodowej stalowej (1) ułożonej wewnątrz
- osłony polietylenowej (3), przy czym przestrzeń pomiędzy rurą przewodową a osłoną wypełniona jest materiałem termoizolacyjnym wykonanym ze –
- sztywnej pianki poliuretanowej (2), wewnątrz której umieszczone są 2 lub 4 przewody, jednego z dwóch powszechnie stosowanych **systemów kontroli i sygnalizacji stanów awaryjnych** 4) i (5).



Rysunek 2: Budowa zespolonego elementu preizolowanego. (1) rura przewodowa, (2) izolacja termiczna PUR, (3) osłona polietylenowa, (4) przewód kontrolny, (5) przewód powrotny

4.2. Rury przewodowe

Jako rury przewodowe stosowane są rury stalowe wykonane ze stali **P 235 GH**.

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

- granica plastyczności stali

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

- moduł Younga

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

- współczynnik rozszerzalności liniowej

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

Użyte we wzorach symbole są zgodne z rozdziałem nr 3. **Stosowane symbole.** Parametry stali w zależności od temperatury przedstawione zostały w tabeli numer 1.

Tabela 1: Parametry charakterystyczne stali P 235 GH ($\gamma=7B,5$ kN/m8)

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
αE N/(mm ² K)	2,49149	2,50579	2,499	2,51315	2,52717	2,54109	2,55488	2,54786	2,56148	2,575
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_{Dcp} N/mm ²	206,0	204,0	201,0	199,0	196,0	194,0	191,0	188,0	186,0	184,0

Rury wykonane są zgodnie z normą **PN-EN 10217-2** lub **PN-EN 10217-5** a ich typozereg stosowany przez **RADPOL PIPES** przedstawiony został w tabeli numer 2.

Tabela 2: Typozereg przewodowych rur stalowych

Rury stalowe wyprodukowane ze stali P235GH zgodnie z typozeregiem RADPOL							
dn	d_p [mm]	t [mm]	$T \pm$ [mm]	A_k [mm ²]	G_s [N/m]	metoda Produkcji [-]	wg normy PN-EN [-]
20	26,9	2,6	0,3	198,5	15,3	HFW	10217-2
25	33,7	2,6	0,3	254,0	19,6	HFW	10217-2
32	42,4	2,6	0,3	325,1	25,0	HFW	10217-2
40	48,3	2,9	0,3	413,6	31,9	HFW	10217-2
50	60,3	2,9	0,3	522,9	40,3	HFW	10217-2
65	76,1	2,9	0,4	666,9	51,4	HFW	10217-2
80	88,9	3,2	0,4	861,6	66,4	HFW	10217-2
100	114,3	3,6	0,6	1252,0	96,4	HFW	10217-2
125	139,7	3,6	0,7	1539,3	118,5	HFW	10217-2
150	168,3	4,0	0,8	2064,7	159,0	HFW	10217-2
200	219,1	4,5	1,0	3033,8	233,6	HFW	10217-2
250	273,0	5,0	1,0	4209,7	324,2	HFW	10217-2
300	323,9	5,6	1,0	5599,8	431,2	HFW	10217-2
350	355,6	5,6	1,6	6157,5	474,2	HFW	10217-2
400	406,4	6,3	1,6	7918,8	609,8	SAWL / SAWH	10217-5
450	457,0	6,3	1,6	8920,3	686,9	SAWL / SAWH	10217-5
500	508,0	6,3	1,6	9929,7	764,7	SAWH / SAWL	10217-5
600	610,0	7,1	1,6	13447,9	1035,6	SAWH / SAWL	10217-5
700	711,0	8,0	1,6	17668,3	1360,6	SAWH / SAWL	10217-5
800	813,0	8,8	1,6	22232,9	1712,1	SAWH / SAWL	10217-5
900	914,0	10,0	1,6	28400,0	2187,0	SAWH / SAWL	10217-5
1000	1016,0	11,0	1,6	34730,3	2674,5	SAWH / SAWL	10217-5

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

4.3. Izolacja termiczna PUR

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**.

Normatywne wymagania dla stosowanej izolacji termicznej przedstawia następująca 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	$\lambda_{0,01}$	W/(mK)	≤ 0,029
Gęstość minimalna na końcach rur	ρ_{50}	kg/m ³	≥ 55
Wytrzymałość na ściskanie w kierunku promieniowym	$\sigma_{0,01}$	N/mm ²	0,3
Wytrzymałość na ścinanie osiowe w temperaturze pokojowej (23 ±2) °C	τ_{sk}	N/mm ²	0,12
Wytrzymałość na ścinanie osiowe w temperaturze (140 ±2) °C	τ_{sk}	N/mm ²	0,08
Wytrzymałość na ścinanie styczne	τ_{TAN}	N/mm ²	0,2
Wymiar komórek w kierunku promieniowym	d	mm	≤ 0,5
Skorygowana zawartość komórek zamkniętych w PUR	ψ	%	≥ 88
Chłonność wody przez PUR – po gotowaniu	WA	%	≤ 10%
Moduł sprężystości w temperaturze pokojowej (23 ±2) °C	E_{PUR}	N/mm ²	10,0
Moduł sprężystości w temperaturze pracy (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

4.4. Osłona polietylenowa

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

Tabela 4: Wielkości charakterystyczne osłon

Rury wyprodukowane z HDPE zgodnie z typoszeregiem FINPOL					
D _n	D _c [mm]	t _c [mm]	D _i [mm]	A _{HDPE} [mm ²]	G _{HDPE} [N/m]
90	90,0	3,0	84,0	820,0	7,7
110	110,0	3,0	104,0	1008,5	9,5
125	125,0	3,0	119,0	1149,8	10,9
140	140,0	3,0	134,0	1291,2	12,2
160	160,0	3,0	154,0	1479,7	14,0
180	180,0	3,0	174,0	1668,2	15,7
200	200,0	3,2	193,6	1978,4	18,7
225	225,0	3,4	218,2	2367,0	22,3
250	250,0	3,6	242,8	2786,7	26,3
280	280,0	3,9	272,2	3382,8	31,9
315	315,0	4,1	306,8	4004,6	37,8
355	355,0	4,5	346,0	4955,1	46,8
400	400,0	4,8	390,4	5959,5	56,3
450	450,0	5,2	439,6	7266,4	68,6
500	500,0	5,6	488,8	8697,9	82,1
560	560,0	6,0	548,0	10442,7	98,6
630	630,0	6,6	616,8	12925,9	122,0
710	710,0	7,2	695,6	15897,0	150,1
800	800,0	7,9	784,2	19658,8	185,6
900	900,0	8,7	882,6	24360,9	230,0
1000	1000,0	9,4	981,2	29253,4	276,2
1100	1100,0	10,2	1079,6	34921,8	329,7
1200	1200,0	11,0	1178,0	41088,9	387,9
1400	1400,0	12,5	1375,0	54487,0	514,4

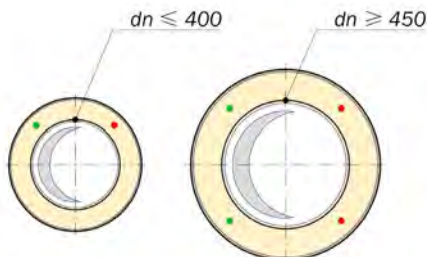
Tabela 5: Parametry charakterystyczne osłon polietylenowych

Wyszczególnienie	Symbol	Jedn. miary	Wielkość
Współczynnik przewodzenia ciepła	λ_{HDPE}	W/(mK)	≤ 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

Obok przedstawiono wielkości charakterystyczne wykonywanych osłon.

4.5. System kontroli i sygnalizacji stanów awaryjnych

W elementach preizolowanych montowane są przewody systemu kontroli i sygnalizacji stanów awaryjnych, spełniające wymagania normy **PN-EN 14419**, przy czym w elementach o średnicy nominalnej rury przewodowej **dn ≤ 400 mm** montowana jest jedna para przewodów sygnalizacyjnych, natomiast w przypadku elementów z rurą przewodową **dn ≥ 450 mm** montowane są co najmniej dwie pary przewodów sygnalizacyjnych.



Rysunek 3: Montaż przewodów sygnalizacyjnych w zależności od średnicy rury przewodowej

Alternatywnie, w zależności od preferencji zamawiającego produkty **RADPOL PIPES**, może być zamontowany jeden z dwóch typów systemów, to jest system rezystancyjny lub system impulsowy.

4.5.1. System rezystancyjny

Rezystancyjny system alarmowy działa na zasadzie pomiaru rezystancji izolacji termicznej. Wyposażenie elementów preizolowanych stanowią dwa przewody:

- przewód czujnikowy – **oznaczenie BS-FA – NiCr 8020** – niklowo chromowy o składzie: **80% - Ni, 20% - Cr**. Średnica przewodu wynosi **0,5 mm** zaś stała rezystancja (oporność) **5,7 Ω/m**. Przewód jest wykonany w czerwonej izolacji teflonowej z perforacją co 15 mm
- przewód powrotny – **oznaczenie BS-RA – Cu** – miedziany o średnicy **0,8 mm** i stałej oporności **0,036 Ω/m**. Przewód jest wykonany w zielonej izolacji teflonowej – bez perforacji.

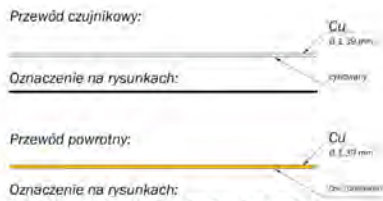


Rysunek 3: Przewody systemu rezystancyjnego

4.5.2. System impulsowy

Działanie systemu impulsowego opiera się na pomiarze zarówno oporności, jak i impedancji. Wyposażenie elementów preizolowanych stanowią dwa przewody:

- przewód czujnikowy **Cu** – miedziany cynowany – o średnicy Φ 1,39 mm i przekroju 1,5 mm².
- przewód powrotny **Cu** – miedziany czysty – o średnicy Φ 1,39 mm i przekroju 1,5 mm².



Rysunek 4: Przewody systemu impulsowego

4.6. Zespoły rurowe

W technologii produkcyjnej **RADPOL PIPES** produkowane są zespoły rurowe spełniające wymagania i warunki norm z grupy normy **PN-EN 253**.

Produkowane są one w trzech typoszeregach różniących się między sobą grubością izolacji. Poniższa tabela przedstawia poszczególne typoszeregi zespołów rurowych.

Tabela 6: Oferta produktowa

Typoszeregi elementów preizolowanych produkowanych w RADPOL											
rury przewodowe		Elementy preizolowane SERIA 1 – Izolacja standard			Elementy preizolowane SERIA 2 – Izolacja +			Elementy preizolowane SERIA 3 – Izolacja ++			
d _n	d _e	t	D _c	t _c	Ciężar 1m Z wodą	D _c +	t _c +	Ciężar 1m Z wodą	D _c ++	t _c ++	Ciężar 1m Z wodą
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N/m]	[mm]	[mm]	[N/m]	[mm]	[mm]	[N/m]
20	26,9	2,6	90	3,0	29,0	110	3,0	23,0	125	3,0	35,0
25	33,7	2,6	90	3,0	35,5	110	3,0	29,5	125	3,0	41,6
32	42,4	2,6	110	3,0	48,2	125	3,0	40,3	140	3,0	53,9
40	48,3	2,9	110	3,0	57,9	125	3,0	49,9	140	3,0	63,5
50	60,3	2,9	125	3,0	76,9	140	3,0	67,8	180	3,0	84,0
65	76,1	2,9	140	3,0	104,2	160	3,0	94,7	180	3,0	113,0
80	88,9	3,2	160	3,0	136,0	180	3,0	125,1	200	3,2	146,4
100	114,3	3,6	200	3,2	208,1	225	3,4	194,0	250	3,6	224,7
125	139,7	3,6	225	3,4	279,4	250	3,6	262,3	280	3,9	300,0
150	168,3	4,0	250	3,6	383,7	280	3,9	364,3	315	4,1	409,9
200	219,1	4,5	315	4,1	609,6	355	4,5	583,4	400	4,8	652,4
250	273,0	5,0	400	4,8	912,8	450	5,2	874,9	500	5,6	974,8
300	323,9	5,6	450	5,2	1243,4	500	5,6	1195,5	560	6,0	1318,2
350	355,6	5,6	500	5,6	1460,6	560	6,0	1406,0	630	6,6	1559,7
400	406,4	6,3	560	6,0	1885,8	630	6,6	1823,0	710	7,2	2014,1
450	457,0	6,3	630	6,6	2308,2	710	7,2	2232,3	800	7,9	2470,0
500	508,0	6,3	710	7,2	2783,2	800	7,9	2691,5	900	8,7	2986,7
600	610,0	7,1	800	7,9	3888,9	900	8,7	3776,3	1000	9,4	4125,1
700	711,0	8,0	900	8,7	5196,8	1000	9,4	5049,1	1100	10,2	5458,4
800	813,0	8,8	1000	9,4	6688,2	1100	10,2	6503,3	1200	11,0	6977,9
900	914,0	10,0	1100	10,2	8432,6	1200	11,0	8203,6	1400	12,5	8921,3
1000	1016,0	11,0	1200	11,0	10354,1	1400	12,5	10188,8	1400	12,5	10691,3

5. Sieci ciepłne z zespołów rur

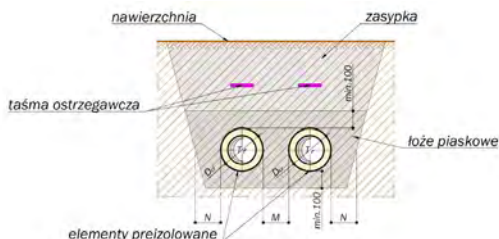
Bardzo istotny jest sposób ułożenia elementów zespołów rurowych tworzących sieć ciepłą w wykopie. O ile produkcja elementów preizolowanych regulowana jest normą :

- **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 i normami pokrewnymi **PN-EN 448**, **PN-EN 488**, **PN-EN 489** i **PN-EN 14419**, o tyle ich użycie normalizują zapisy norm:
- **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.

Aby mieć pewność, że rurociągi będą pracowały zgodnie z założeniami projektowymi, podczas realizacji i eksploatacji należy zapewnić im warunki maksymalnie zbliżone do tych, jakie przyjęto na etapie projektowania. Wymagania stawiane są przez normę **PN-EN 13941-2**.

5.1. Wykopy

Wykop pod rurociąg powinien być wykonany zgodnie z wymaganiami wynikającymi z przebiegu trasy i wymaganiami dotyczącymi jego głębokości.



Rysunek 5: Przekrój poprzeczny wykopu z ułożonymi rurociągami

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

Tabela 7: Zestawienie odległości w wykopie

Minimalne odległości dystansowe w wykopie wg PN-EN 13941-1		
Srednica osłony Dc [mm]	Odległość między osłonami rur M [mm]	Odległość między osłoną a ścianą wykopu N [mm]
Dc ≤ 225	150	150
225 < Dc ≤ 560	250	250
Dc > 560	300	300

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

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

Zwyczajowo, rurociągi w wykopie należy układać tak, aby rurociąg zasilający leżał „po prawej stronie”, patrząc zgodnie z kierunkiem przepływu czynnika w rurociągu zasilającym.

5.2. Łoże piaskowe – strefa rurociągu

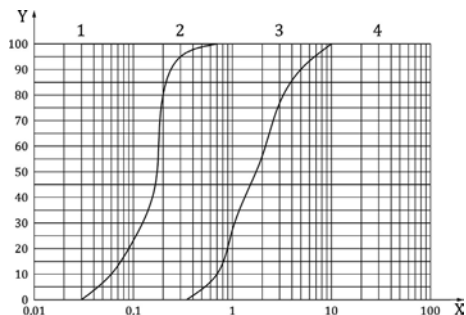
Przed zasypaniem rurociągów należy przeprowadzić końcową kontrolę zabudowanego systemu rur. Kontrola taka wiąże się z kontrolą wzrokową zespołu rurowego oraz kontrolą rejestracji danych powykonawczych takich jak wymiary rur i elementów oraz ich inwentaryzacji geodezyjnej.

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.

Materiał zasypki powinien charakteryzować się odpowiednią nośnością oraz wymaganymi właściwościami mechanicznymi i hydraulicznymi w celu spełnienia kryteriów projektowych. Materiał zasypki powinien mieć takie właściwości, żeby można go było zagęszczać za pomocą odpowiednich narzędzi z zastosowaniem odpowiedniej siły.

Przeźren 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**.



Rysunek 6: Granice krzywych przesiewowych dla łoża piaskowego wg normy **PN-EN 13941-2**
(1) muł, (2) piasek, (3) żwir, (4) kamienie

Materiał nie powinien zawierać szkodliwych ilości resztek roślin, ziemi próchniczej, grudek gliny lub mułu.

Należy unikać piasku o dużych ziarnach o ostrych krawędziach, które mogłyby uszkodzić rurociąg lub złącze.

Skład materiału powinien umożliwić uzyskanie po ostrożnym zagęszczeniu współczynnika tarcia zgodnego z projektem zabudowy.

Wskaźnik zagęszczenia zagęszczonego materiału zasyпки według Proctora musi wynosić średnio od **97 %** do **98 %**. Wartości poniżej **94 %** według Proctora są niedopuszczalne.

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 wypłukany (np. przez wody opadowe), to strefa łoża powinna zostać owinięta geowłókniną.

Przez łoża piaskowe nie może przebiegać żadne „obce” uzbrojenie terenu.

Do dalszych obliczeń przyjmowano piasek średni zagęszczony o ciężarze $\gamma_s = 19 \text{ kN/m}^3$ o kącie tarcia wewnętrznego $\varphi=32,5^\circ$.

5.3. Strefa wypełnienia wykopu

Strefa wypełnienia wykopu, to znaczy przestrzeń pomiędzy strefą rurociągu a górną konstrukcją (np. ulicy), powinna być wykonana za pomocą takiego materiału i w taki sposób (warstwowo), żeby spełnione były wymagania stawiane przez konstrukcje budowlane znajdujące się nad rurociągiem.

Nie należy stosować nieodpowiednich materiałów jak na przykład kamienie lub fragmenty skał.

Górna strefa budowlana (np. podkład ulicy), to znaczy przestrzeń pomiędzy strefą wypełnienia a na-wierzchnią, powinna być wypełniona zgodnie z zaleceniami instytucji odpowiedzialnych za nawierzchnię.

W celu zmniejszenia niebezpieczeństwa uszkodzenia rurociągu przez strony trzecie należy stosować taśmy ostrzegawcze informujące o zamontowanym rurociągu. Taśmy ostrzegawcze powinny być umieszczone w odległości około **0,2 m** do **0,5 m** nad rurociągiem ciepłowniczym.

5.4. Poduszki kompensacyjne

W celu zabezpieczenia preizolowanego zespołu rurowego, w miejscu występowania przemieszczeń poprzecznych rurociągów, należy zaprojektować obłożenie ich materiałami elastycznymi ułatwiającymi 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.

Tabela 8: Wymagania dotyczące poduszek kompensacyjnych

Normatywna 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%

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.

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

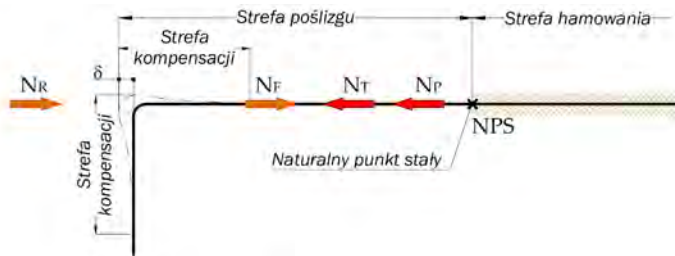
- łuków kompensacyjnych,
- łuków niekompensacyjnych,
- odgałęzień bocznych od rurociągu głównego,
- rurociągu głównego przy odgałęzieniu bocznym,
- zmian średnicy rurociągu,
- trzpieni armatury odcinającej,
- króćców odpowietrzeń i odwodnień.

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.

6. Obciążenia działające na zespół rurowy



Rysunek 7: Schemat obciążeń oddziałujących na rurociąg preizolowany NT – siła od temperatury, NP – siła od ciśnienia, NF – siła wywołana tarciami, NR – siła od ramienia kompensacji

Na rysunku powyżej przedstawiono obciążenia, które wywierają bezpośredni wpływ na pracujący rurociąg preizolowany ułożony w wykopie.

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).

Na rysunku pokazane są także:

- **strefa poślizgu** – zwana również odcinkiem tarcia – to odcinek, na którego długości, obserwowany jest ruch elementów preizolowanych w gruncie,
- **strefa hamowania** – odcinek lub miejsce zwane naturalnym punktem stałym **NPS** gdzie występuje równowaga sił zewnętrznych i wewnętrznych,
- **strefy kompensacji** – to fragmenty sieci przylegające do wierzchołka kolana lub trójnika, które podlegają odkształceniom poprzecznym,

6.1. Siła od temperatury NT

W rurociągach preizolowanych jedną ze składowych siły od temperatury jest siła wywołana naprężeniami wywołanymi przyrostem temperatur, obliczonym jako:

$$\Delta T_T = T - T_{inst} \quad (4)$$

Naprężenia osiowe przyjmują wówczas wartość:

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

zaś siła osiowa:

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

6.2. Siła od ciśnienia wewnętrznego NP

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

$$\sigma_p = \frac{p \cdot d_o}{2 t} \quad (7)$$

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

$$\sigma_x = \frac{p \cdot d_o}{4 t} \quad (8)$$

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 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

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

6.3. Siła wywołana tarciem NF

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

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

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

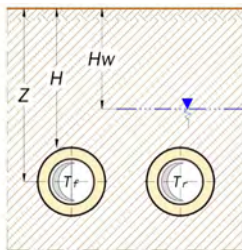
$$\sigma_v = \gamma'_s \cdot H_w + \gamma'_{sw} \cdot (Z - H_w) \quad \text{dla} \quad (H_w < Z) \quad (16)$$

jeśli poziom wód gruntowych jest powyżej osi zespołu rurowego, gdzie:

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

a

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



Rysunek 8: 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. Ciężar ten obliczamy ze wzoru:

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

kórego poszczególne składowe można obliczyć ze wzorów przedstawionych poniżej. I tak, ciężar stali,

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

ciężar izolacji termicznej,

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

ciężar osłony polietylenowej

$$G_{HDPE} = \pi \cdot (D_c - t_c) \cdot t_c \cdot \gamma_{HDPE} \quad (22)$$

oraz ciężar wody:

$$G_w = \frac{\pi \cdot (d_o - 2 \cdot t)}{4} \cdot \gamma_w \quad (23)$$

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

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

dla układania powyżej wód gruntowych oraz

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

w przypadku układania rurociągów poniżej zwierciadła wód gruntowych.

Ostatecznie siła od tarcia oddziałująca na rozpatrywany przekrój wyniesie:

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

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

Oznaczenia we wzorach zgodne z rozdziałem nr 3. **Stosowane symbole.**

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**.

6.4. Siła od „ramienia kompensacji” NR

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

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

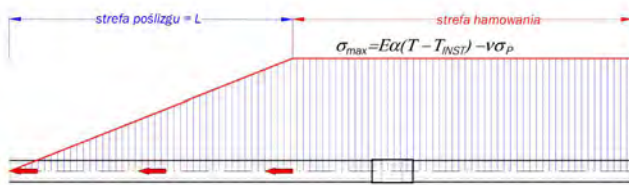
Tabela 9: Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów – SERIA 1 – izolacja STANDARD

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury stalowe				Osłona Dc [mm]	F – siła tarcia na jednostkę długości [kN/m] dla przykrycia H:						
	dn	d _s	t	A _s		H=0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]								
DN 20/90	20	26,9	2,6	198,5	90	1,28	1,59	1,91	2,22	2,53	2,84	3,16
DN 25/90	25	33,7	2,6	254,0	90	1,29	1,60	1,91	2,22	2,53	2,85	3,16
DN 32/110	32	42,4	2,6	325,1	110	1,58	1,96	2,34	2,72	3,10	3,49	3,87
DN 40/110	40	48,3	2,9	413,6	110	1,58	1,96	2,35	2,73	3,11	3,49	3,87
DN 50/125	50	60,3	2,9	522,9	125	1,81	2,24	2,67	3,11	3,54	3,98	4,41
DN 65/140	65	76,1	2,9	666,9	140	2,04	2,52	3,01	3,49	3,98	4,47	4,95
DN 80/160	80	88,9	3,2	861,6	160	2,34	2,90	3,45	4,01	4,56	5,12	5,67
DN 100/200	100	114,3	3,6	1252,0	200	2,97	3,66	4,35	5,05	5,74	6,44	7,13
DN 125/225	125	139,7	3,6	1539,3	225	3,37	4,15	4,93	5,71	6,49	7,27	8,05
DN 150/250	150	168,3	4,0	2064,7	250	3,79	4,66	5,53	6,39	7,26	8,13	9,00
DN 200/315	200	219,1	4,5	3033,8	315	4,88	5,98	7,07	8,16	9,26	10,35	11,44
DN 250/400	250	273,0	5,0	4209,7	400	6,35	7,74	9,13	10,51	11,90	13,29	14,68
DN 300/450	300	323,9	5,6	5599,8	450	7,29	8,85	10,41	11,98	13,54	15,10	16,66
DN 350/500	350	355,6	5,6	6157,5	500	8,20	9,94	11,67	13,41	15,14	16,87	18,61
DN 400/560	400	406,4	6,3	7918,8	560	9,38	11,32	13,26	15,21	17,15	19,09	21,03
DN 450/630	450	457,0	6,3	8920,3	630	10,75	12,93	15,12	17,30	19,49	21,67	23,86
DN 500/710	500	508,0	6,3	9929,7	710	12,34	14,80	17,26	19,73	22,19	24,65	27,12
DN 600/800	600	610,0	7,1	13447,9	800	14,40	17,17	19,95	22,72	25,50	28,27	31,05
DN 700/900	700	711,0	8,0	17668,3	900	16,77	19,89	23,02	26,14	29,26	32,38	35,50
DN 800/1000	800	813,0	8,8	22232,9	1000	19,27	22,74	26,21	29,68	33,15	36,62	40,09
DN 900/1100	900	914,0	10,0	28400,0	1100	21,93	25,75	29,56	33,38	37,19	41,01	44,82
DN 1000/1200	1000	1016,0	11,0	34730,3	1200	24,71	28,87	33,04	37,20	41,36	45,52	49,69

7. Techniki układania rurociągów preizolowanych

W rurociągach wraz ze wzrostem temperatury do wartości temperatury obliczeniowej T następuje wzrost naprężeń osiowych, które osiągają wartość maksymalną na poziomie, który możemy obliczyć ze wzoru:

$$\sigma_{\max} = E \cdot \alpha \cdot (T - T_{\text{inst}}) - \nu \cdot \sigma_p \quad (28)$$



Rysunek 9: Naprężenia maksymalne w strefie hamowania

Jak widać, osiągną one jednak wartość największą w sytuacji, kiedy nastąpi gwałtowny spadek ciśnienia w rurociągu.

Dla tak przyjętego schematu rurociągu długość strefy poślizgu (odcinka tarcia) można obliczyć ze wzoru:

$$L = \frac{A_s}{F} \cdot \left(E \cdot \alpha \cdot \Delta T + \left(\frac{1}{2} - \nu \right) \cdot \sigma_p - \frac{N_R}{A} \right) \quad (29)$$

A wydłużenia na końcu strefy poślizgu — końcu zespołu rurowego (wydłużenie odcinka) ze wzoru:

$$\delta = \frac{F \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot A_s} \quad (30)$$

W zależności od temperatury czynnika w rurociągu 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.

Tabela 10: Techniki układania rurociągów preizolowanych

Stosowana technika	Zalety	Wady
Kompensacja naturalna	<ul style="list-style-type: none"> > naprężenia osiowe co najwyżej równe dopuszczalnym, > proste układanie, > możliwość bezpośredniego zasypywania wykopów, > nieskomplikowana w eksploatacji, 	<ul style="list-style-type: none"> > ograniczenia stosowania wydłużeń ze względu na ograniczoną grubość poduszek kompensacyjnych > utrudnienia w wykonywaniu nowych odgałęzień z uwagi na strefy kompensacyjne
Kompensatory mieszkowe preizolowane	<ul style="list-style-type: none"> > naprężenia osiowe co najwyżej równe dopuszczalnym, > proste układanie, > możliwość bezpośredniego zasypywania wykopów, > nieskomplikowana w eksploatacji, 	<ul style="list-style-type: none"> > znaczne utrudnienia w wykonywaniu nowych odgałęzień z uwagi na kompensatory i ich brak na mapach, > czuły i stale poruszający się element rury przewodowej > przy długich odcinkach wymagane są rzeczywiste punkty stałe, > ograniczony zakres zdolności kompensacyjnych
Kompensatory jednorazowe SUC	<ul style="list-style-type: none"> > ograniczenia ilość samokompensacji pośrednich, > wykop może być częściowo zasypany, > eliminacja elementów ruchomych i zginanych, 	<ul style="list-style-type: none"> > znaczne zagęszczenie kompensatorów jednorazowych, > pozostająca część wykopów musi być odkryta do osiągnięcia przez sieć wymaganych parametrów, > utrudnienia w wykonywaniu nowych włączeń wymagających rozcięcia sieci. > utrudnienia w usuwaniu awarii związanej z rozcięciem sieci
Podgrzew wstępny	<ul style="list-style-type: none"> > niskie naprężenia osiowe, > zmniejszone wydłużenia eksploatacyjne, > niewielkie wysięgi ramion kompensacyjnych > niska podatność na uszkodzenia przy prowadzeniu robót równoległych, > możliwość użycia różnych czynników do podgrzania (ciecz, para, prąd elektryczny), > dowolna lokalizacja odgałęzień, 	<ul style="list-style-type: none"> > wykop między dwoma wolnymi końcami musi pozostać odkryty, > utrudnienia w usuwaniu awarii związanej z rozcięciem sieci,
Zimny montaż	<ul style="list-style-type: none"> > możliwość bezpośredniego zasypywania wykopów, > eliminacja pośrednich układów kompensacyjnych, > korzystny dla zewnętrznych instalacji odbiorczych 	<ul style="list-style-type: none"> > wysokie naprężenia osiowe, > znaczne wydłużenia rurociągów, > wysokie niebezpieczeństwo wybooczenia, > przeznaczony dla sieci przesyłowych bez odgałęzień, > wymagana znacznej dokładności i prostoliniowości ułożenia

Norma **PN-EN 13941** umożliwia projektowanie sieci ciepłych w pełnym zakresie naprężeń osiowych dla maksymalnej temperatury czynnika grzewczego równej **140°C**. Jednak z uwagi na wskazania zawarte w opracowaniu **PZITS** oraz **Izby Gospodarczej Ciepłownictwo Polskie** zatytułowanym „Warunki techniczne wykonania, odbioru i eksploatacji rurociągów preizolowanych w płaszczu osłonowym **HDPE** układanych bezpośrednio w gruncie”, w terenach zurbanizowanych nie zaleca się projektowania i wykonywania rurociągów preizolowanych o wartości naprężeń osiowych przekraczających **190 MPa**.

Stąd też zalecane jest stosowanie technik układania pozwalających zachować naprężenia osiowe na poziomie nieprzekraczającym wartości naprężeń dopuszczalnych.

$$\sigma_{max} > \sigma_{DOP} \quad (31)$$

Spełnienie tego warunku umożliwiają dostępne techniki układania rurociągów.

8. Stosowanie technik ograniczających naprężenia

8.1. Wolny koniec i naturalny punkt stały

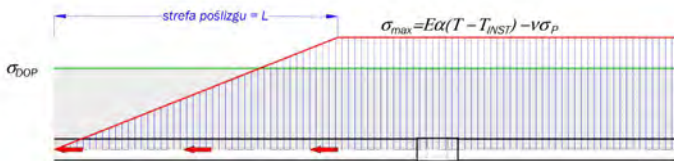
Dla potrzeb dalszych wyjaśnień wprowadzono dwa często stosowane określenia obszarów sieci cieplnej preizolowanej:

- **wolny koniec** – lub swobodny koniec — to miejsce, w którym możliwe jest osiowe przemieszczenie lub poprzeczne odkształcenie rurociągu,
- **naturalny punkt stały** – to miejsce, w którym następuje zrównanie siły osiowej oddziałującej na zespół rurowy od strony otoczenia z siłą osiową wywołaną wewnątrz rurociągu (strefa hamowania) lub miejsce, w którym następuje zrównanie sił osiowych oddziałujących z przeciwnych kierunków (między dwoma wolnymi końcami)

8.2. Naprężenia dopuszczalne

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

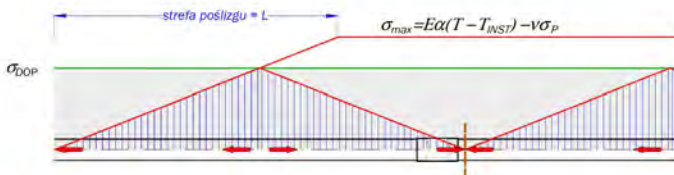
$$\sigma_{DOP} = \frac{R_{eT}}{\gamma_m} \quad (32)$$



Rysunek 10: Naprężenia maksymalne w stosunku do naprężeń dopuszczalnych w sieciach wysokoparametrowych

Dla przyjętego zakresu temperaturowego naprężenia dopuszczalne wynoszą:

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



Rysunek 11: Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu

W związku z tym należy tak zaprojektować odcinek sieci ciepłej, aby układ naprężeń w rurze przewodowej był zbliżony do przedstawionego na rysunku powyżej.

W technologii **RADPOL PIPES** do tego celu można stosować:

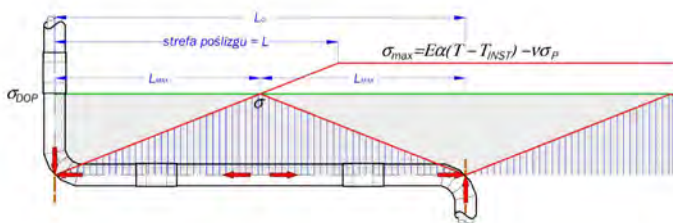
- **kolana kompensacyjne** – czyli projektowanie sieci ciepłej dobierając odpowiednią geometrię trasy sieci ciepłej,
- **kompensatory mieszkowe preizolowane** – czyli projektowanie sieci ciepłej z zastosowaniem kompensatorów osiowych, czyli elementów, które pracując non stop, przejmują wszelkie ruchy rurociągów,
- **kompensatory jednorazowe SUC** – czyli projektowanie sieci ciepłej z zastosowaniem kompensatorów osiowych jednorazowych, które przejmują tylko część wydłużeń, a następnie zostają trwale zablokowane po nagrzaniu wstępnym,
- **podgrzew wstępny** – czyli projektowanie sieci ciepłej z wykorzystaniem podgrzania rurociągów i wprowadzenia wstępnych naprężeń jeszcze przed ich zasypaniem tak by w czasie eksploatacji przyrosty i spadki temperatury nie powodowały przekroczenia naprężeń dopuszczalnych, dodatkowo można korzystać z techniki mieszanej, czyli **stosowania kompensatorów osiowych w komorach** i rurociągów preizolowanych między komorami.

8.3. Zastosowanie kolan kompensacyjnych

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

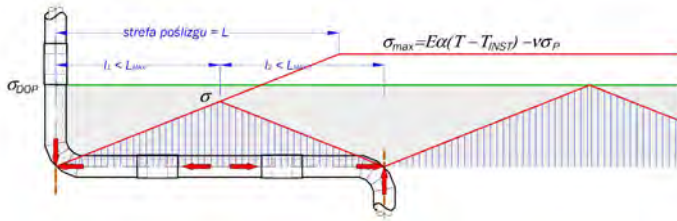
$$L_O = 2 \cdot L_{max} \quad (33)$$

gdzie L_{max} jest tak zwana „**dopuszczalną długością montażową**”, czyli długością odcinka rurociągu od wolnego końca do punktu osiągnięcia w rurze przewodowej naprężeń dopuszczalnych.



Rysunek 12: Zastosowanie kolan kompensacyjnych jako swobodnych końców rurociągu

W przypadku mniejszej odległości między wolnymi końcami naprężenia będą odpowiednio niższe – co obrazuje rysunek następnny.



Rysunek 13: Naprężenia w rurze przewodowej przy $L_1+L_2 < 2 L_{MAX}$

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

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:

$$L_{MAX} = \frac{(\sigma_{DOP} \cdot A_S + 0,5 \cdot \sigma_P \cdot A_S - N_R)}{F} \quad (34)$$

Biorąc pod uwagę, że wartość siły NR od reakcji ramienia poprzecznego do obliczeń wstępnych przyjęto w wysokości **10 %** siły wywołanej tarcieniem na rozpatrywanym odcinku od długości l

$$N_R \approx 0,1 F l \quad (35)$$

czyli wskaźnik wielkości udziału siły reakcji ramienia wynosi:

$$W_{NR} = \frac{N_R}{F \cdot l} = 0,1 \quad (36)$$

wzór na obliczenie L_{MAX} można zapisać jako

$$L_{MAX} = (1,0 - W_{NR}) \cdot \frac{(\sigma_{DOP} \cdot A_S + 0,5 \cdot \sigma_P \cdot A_S)}{F} \quad (37)$$

Jednak z uwagi na to, że człon wzoru związany z oddziaływaniem ciśnienia powoduje korzystne zmiany w obciążeniach, a sieć cieplna powinna być bezpieczna w każdych warunkach również w sytuacji, kiedy nastąpi jej przestój połączony ze spadkiem ciśnienia, do dalszych obliczeń wskazane jest pominięcie tej części wzoru, co spowoduje, że obliczeń L_{MAX} należy dokonać na podstawie:

$$L_{MAX} = (1,0 - W_{NR}) \cdot \frac{\sigma_{DOP} \cdot A_S}{F} \quad (38)$$

Podczas pracy sieci pod ciśnieniem roboczym naprężenie osiowe w punkcie znajdującym się w odległości l od wolnego końca, co do wartości bezwzględnej, wyniesie:

$$\sigma_x = \frac{l \cdot F}{(1,0 - W_{NR}) \cdot A_S} - 0,5 \cdot \sigma_P \quad (39)$$

i osiągnie maksimum w odległości L_{MAX} w czasie gdy nastąpi spadek ciśnienia w sieci.

Dokonując korekty oddziaływania siły poprzecznej N_R , należy odpowiednio skorygować współczynnik W_{NR} we wzorach, a obliczenia wykonywać na wartościach bezwzględnych występujących naprężeń.

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

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

gdzie l jest odległością od wolnego końca do rozpatrywanego przekroju. W tym przypadku:

$$l = L_{max} \quad (41)$$

wzór na wydłużenie odcinka można zapisać w prostszej postaci jako:

$$\delta = \frac{l}{E} \left(E \cdot \alpha \cdot \Delta T_T - \frac{F \cdot l}{2 \cdot A_S} + (0,5 - \nu) \cdot \sigma_p - \frac{W_{NR} \cdot F \cdot l}{A_S} \right) \quad (42)$$

W sytuacji, kiedy sieć przestanie pracować pod ciśnieniem, oba człony wzoru związane z ciśnieniem roboczym w wyniku obliczeń dają wartości zerowe, a maksymalne wydłużenie odcinka należy obliczyć ze wzoru:

$$\delta = l \cdot \alpha \cdot \Delta T - \frac{(1 + W_{NR}) \cdot F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot A_S} \quad (43)$$

Oznaczenia we wzorach zgodne z rozdziałem nr 3. **Stosowane symbole.**

8.3.2. Zestawienie dopuszczalnych długości montażowych

Na stronie następnnej 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**.

Jak widać z załączonych tabel, maksymalne długości montażowe, w przypadku sieci niskoparametrowych są tylko około **5%** większe niż dla sieci wysokoparametrowych, dlatego zaniechano prezentacji większej ilości tabel dla tych sieci.

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

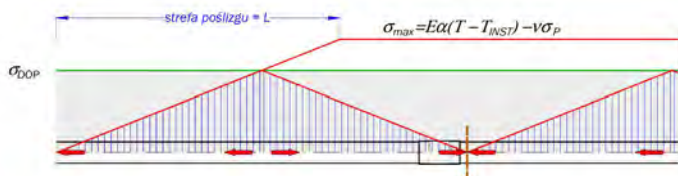
Tabela 11: Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona		Sieć ciepłota o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zapasiki 19,0 kN/m ³ Sila nacisku na jednostkę długości F = [kN/m]; Długość montażowa L _{max} = [m] (gdzie wydzielenie Δmax = [mm] dla przynajmniej 1t																					
	dn	φ _o [mm]	t [mm]	λ _s [mm ²]	D _o [mm]	H= 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}	F	L _{max} Δ _{max}							
DN 20/90	20	26,9	2,6	198,5	90	1,28	26,1	25	1,59	21,0	20	1,91	17,5	17	2,22	15,1	15	2,53	13,2	13	2,84	11,8	11	3,16	10,6	10
DN 25/90	25	33,7	2,6	254,0	90	1,29	33,2	32	1,60	26,8	26	1,91	22,4	22	2,22	19,3	19	2,63	16,9	16	2,85	15,0	15	3,16	13,5	13
DN 32/110	32	42,4	2,6	325,1	110	1,58	34,7	34	1,96	28,0	27	2,34	23,4	23	2,72	20,1	20	3,10	17,7	17	3,49	15,7	15	3,87	14,2	14
DN 40/110	40	48,3	2,9	413,6	110	1,58	44,1	43	1,96	35,6	35	2,35	29,7	29	2,73	25,5	25	3,11	22,4	22	3,49	20,0	19	3,87	18,0	18
DN 50/125	50	60,3	2,9	522,9	125	1,81	48,7	47	2,24	39,3	38	2,67	33,0	32	3,11	28,3	28	3,64	24,9	24	3,96	22,1	22	4,41	20,0	19
DN 65/140	65	76,1	2,9	666,9	140	2,04	55,1	54	2,52	44,6	43	3,01	37,3	36	3,49	32,2	31	3,98	28,2	27	4,47	25,1	24	4,95	22,7	22
DN 80/160	80	88,9	3,2	861,6	160	2,34	62,1	60	2,90	50,1	49	3,45	42,1	41	4,01	36,2	35	4,56	31,8	31	5,12	28,4	28	5,67	25,6	25
DN 100/200	100	114,3	3,6	1252,0	200	2,97	71,0	69	3,66	57,7	56	4,35	48,5	47	5,05	41,8	41	5,74	36,8	36	6,44	32,8	32	7,13	29,6	29
DN 125/225	125	139,7	3,6	1539,3	225	3,37	77,0	75	4,15	62,5	61	4,93	52,6	51	5,71	45,4	44	6,49	40,0	39	7,27	35,7	35	8,05	32,2	31
DN 150/250	150	168,3	4,0	2064,7	250	3,79	91,8	89	4,66	74,7	73	5,53	62,9	61	6,39	54,5	53	7,26	47,9	47	8,13	42,9	42	9,00	38,7	38
DN 200/315	200	219,1	4,5	3033,8	315	4,88	104,8	102	5,98	85,5	83	7,01	72,3	70	8,16	62,7	61	9,26	55,2	54	10,35	49,4	48	11,44	44,7	44
DN 250/400	250	273,0	5,0	4269,7	400	5,35	111,7	109	7,74	91,7	89	9,13	77,7	76	10,51	67,5	66	11,90	59,6	58	13,29	53,4	52	14,68	48,3	47
DN 300/450	300	323,9	5,6	5699,8	450	7,29	129,5	126	8,80	106,6	104	10,41	90,7	88	11,98	78,8	77	13,54	69,7	68	15,10	62,5	61	16,66	56,7	56
DN 350/500	350	355,6	5,6	6157,5	500	8,20	126,6	123	9,94	104,4	102	11,67	88,9	87	13,41	77,4	75	15,14	68,5	67	16,87	61,5	60	18,61	56,8	54
DN 400/560	400	406,4	6,3	7918,8	560	9,38	142,3	139	11,32	117,9	115	13,26	100,7	98	15,21	87,7	85	17,15	77,8	76	19,09	69,9	68	21,03	63,5	62
DN 450/630	450	457,0	6,3	8920,3	630	10,75	139,9	136	12,93	116,3	113	15,12	99,4	97	17,30	86,9	85	19,49	77,1	75	21,67	69,4	68	23,86	63,0	61
DN 500/710	500	568,0	6,3	9920,7	710	12,34	135,6	132	14,80	113,1	110	17,26	97,0	94	19,73	84,8	83	22,19	75,4	73	24,65	67,9	66	27,12	61,7	60
DN 600/800	600	610,0	7,1	13447,9	800	14,40	157,4	153	17,17	132,0	129	19,95	113,6	111	22,72	96,8	97	25,50	86,9	87	28,27	80,2	78	31,05	73,0	71
DN 700/900	700	711,0	8,0	17668,3	900	16,77	177,6	173	19,89	149,7	146	23,02	129,4	126	26,14	113,9	111	29,26	101,8	99	32,38	92,0	90	35,50	83,9	82
DN 800/1000	800	813,0	8,8	22322,9	1000	19,27	194,5	189	22,74	164,8	161	26,21	143,0	139	29,68	126,3	123	33,15	113,0	110	36,62	102,3	100	40,09	93,5	91
DN 900/1100	900	914,0	10,0	28400,0	1100	21,93	218,3	213	25,75	185,9	181	29,56	161,9	158	33,38	143,4	140	37,19	128,7	125	41,01	116,7	114	44,82	106,8	104
DN 1000/1200	1000	1018,0	11,0	34750,3	1200	24,71	236,9	231	28,87	202,8	198	33,04	177,2	173	37,20	157,4	153	41,26	141,5	138	46,52	128,6	125	49,69	117,8	115

Tabela 12: Długości montażowe dla sieci 90°C/55°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

SERIA 1 WYKONANIE STANDARD	Rury szklane			Ciężar		Siła łarcia na jednostkę długości F - [kN/m], Długość montażowa L _{max} - [m] (B) wydzielenie δ _{max} - [mm] dla przyłącza Hc																				
	dn [mm]	d _e [mm]	t [mm]	A _s [mm ²]	D _e [mm]	H= 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	δ _{max}	F	δ _{max}	F	δ _{max}	F	δ _{max}	F	δ _{max}	F	δ _{max}	F	δ _{max}							
DN 20/90	20	26,9	2,6	198,5	90	1,28	27,4	1,4	1,59	22,0	1,1	1,91	18,3	9	2,22	15,8	8	2,53	13,9	7	2,84	12,3	6	3,16	11,1	6
DN 25/90	25	33,7	2,6	254,0	90	1,29	34,8	1,7	1,60	28,0	1,4	1,91	23,5	12	2,22	20,2	10	2,53	17,7	9	2,85	15,7	8	3,16	14,2	7
DN 32/110	32	42,4	2,6	325,1	110	1,58	36,3	1,8	1,96	29,3	1,5	2,34	24,5	12	2,72	21,1	11	3,10	18,5	9	3,49	16,4	8	3,87	14,8	7
DN 40/110	40	48,3	2,9	413,6	110	1,58	46,2	2,3	1,96	37,3	1,9	2,35	31,1	16	2,73	26,8	13	3,11	23,5	12	3,49	20,9	11	3,87	18,9	9
DN 50/125	50	60,3	2,9	522,9	125	1,81	51,0	2,6	2,24	41,2	2,1	2,68	34,5	17	3,11	29,7	15	3,54	26,1	13	3,98	23,2	12	4,41	20,9	11
DN 65/140	65	76,1	2,9	665,9	140	2,04	57,7	2,9	2,52	46,7	2,4	3,01	39,1	20	3,49	33,7	17	3,98	29,6	15	4,47	26,3	13	4,95	23,8	12
DN 80/160	80	88,9	3,2	861,6	160	2,34	65,0	3,3	2,90	52,5	2,6	3,45	44,1	22	4,01	37,9	19	4,56	33,4	17	5,12	29,7	15	5,67	26,8	13
DN 100/200	100	114,3	3,6	1252,0	200	2,97	74,4	3,7	3,66	60,4	3,0	4,36	50,7	26	5,05	43,8	22	5,74	38,5	19	6,44	34,3	17	7,13	31,0	16
DN 125/225	125	139,7	3,6	1539,3	225	3,37	80,6	4,1	4,15	65,5	3,3	4,93	55,1	28	5,71	47,6	24	6,49	41,9	21	7,28	37,3	19	8,06	33,7	17
DN 150/250	150	168,3	4,0	2064,7	250	3,79	96,2	4,6	4,66	74,2	3,9	5,93	65,9	33	6,40	57,0	26	7,26	50,2	25	8,13	44,8	23	9,00	40,5	20
DN 200/315	200	219,1	4,5	3033,8	315	4,89	109,5	5,6	5,98	89,6	4,5	7,07	75,8	38	8,17	69,6	33	9,26	57,8	29	10,35	51,8	26	11,44	46,8	24
DN 250/400	250	273,0	5,0	4203,7	400	6,36	116,9	5,9	7,74	96,0	4,9	9,13	81,4	41	10,52	70,7	36	11,91	62,4	31	13,29	55,9	28	14,68	50,6	25

8.4. Zastosowanie kompensatorów osiowych



Rysunek 14: Wymagany rozkład naprężeń w rurociągu

Innym rozwiązaniem jest zastosowanie w miejscu, w którym powinien przypaść wolny koniec, kompensatorów osiowych,

W technologii **RADPOL PIPES** dysponujemy zestawem kompensatorów, który przedstawia poniższa tabela.

Tabela 13: Dostępne kompensatory osiowe

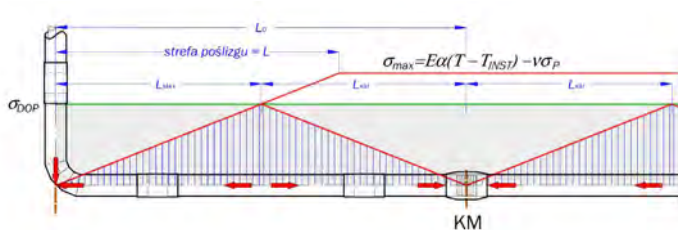
Kompensatory osiowe stosowane w ofercie produktowej RADPOL														
Króćce stalowe				Kompensatory Preizolowane -Seria A			Kompensatory Preizolowane -Seria B			Kompensatory jednorazowe -SUC				
DN	d_s [mm]	t [mm]	A_B [mm ²]	A_M [mm ²]	ΔL [mm]	C_A [N/mm]	A_M [mm ²]	ΔL [mm]	C_A [N/mm]	A_M [mm ²]	ΔL [mm]	C_A [N/mm]	A_M [mm ²]	
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	48.3	2.9	413.6	1419	100	15	4100	-	-	-	50	1600	2910	
50	60.3	2.9	522.9	2333	100	43	5500	-	-	-	50	1700	4180	
65	76.1	2.9	666.9	3882	100	51	7600	-	-	-	70	2000	6180	
80	88.9	3.2	861.6	5346	100	45	10800	150	41	10800	70	2300	8110	
100	114.3	3.6	1252.0	9009	125	27	17300	155	25	17300	80	2800	12690	
125	139.7	3.6	1539.3	13789	125	58	23700	160	48	23700	80	3600	18030	
150	168.3	4.0	2064.7	20182	125	63	33200	165	53	33200	100	4800	25510	
200	219.1	4.5	3033.8	34669	125	53	56000	170	56	56000	120	6700	44480	
250	273.0	5.0	4209.7	54325	125	81	81000	170	42	81000	120	8900	67020	
300	323.9	5.6	5599.8	76797	125	91	110700	190	66	110700	140	10800	92410	
350	355.6	5.6	6157.5	93157	125	101	130500	190	62	130500	140	12000	110450	
400	406.4	6.3	7918.8	121798	125	108	173800	200	67	173800	140	14000	142400	
450	457.0	6.3	8920.3	155109	125	144	213500	200	94	213500	150	16100	178410	
500	508.0	6.3	9929.7	192753	125	150	255500	200	98	255500	150	18200	218460	
600	610.0	7.1	13447.9	278799	125	175	358400	200	104	358400	150	21800	310740	
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

8.4.1. Kompensatory mieszkowe – preizolowane

Cechą charakterystyczną **kompensatorów mieszkowych – preizolowanych** jest ich ciągła praca osiowa, będąca reakcją na wszystkie odkształcenia wydłużenia i skrócenia) rury przewodowej.

W przypadku stosowania kompensatorów mieszkowych – preizolowanych, na rurociąg nie oddziałuje reakcja od poprzecznego ramienia N_R , natomiast pojawia się reakcja związana ze:

- zwiększoną powierzchnią przekroju A_M mieszka w stosunku do przekroju rury stalowej
- sprężystością mieszka C_A



Rysunek 15: Zastosowanie kompensatorów mieszkowych – preizolowanych

Wielkość tej reakcji można opisać wzorem:

$$N_{KM} = p \cdot A_M + C_A \cdot \Delta L \quad (44)$$

W związku z tym długość montażowa fragmentu sieci ciepłej z **kompensatorami mieszkowymi – preizolowanymi** wyniesie:

$$L_{KM} = \frac{A_S}{F} \left(\sigma_{DOP} - v \cdot \sigma_p - \frac{N_{KM}}{A_S} \right) \quad (45)$$

natomiast po rozpisaniu

$$L_{KM} = \frac{A_S}{F} \left(\sigma_{DOP} - v \cdot \sigma_p - \frac{(p \cdot A_M + C_A \cdot \Delta L)}{A_S} \right) \quad (46)$$

W związku z tym, że siła związana ze sprężystością mieszka w porównaniu do pozostałych składowych jest pomijalnie mała, długość montażową można obliczyć ze wzoru:

$$L_{KM} = \frac{A_S}{F} \cdot \left(\sigma_{DOP} - \nu \cdot \sigma_p - \frac{p \cdot A_M}{A_S} \right) \quad (47)$$

a wydłużenie odcinka między naturalnym punktem stałym a kompensatorem wyniesie:

$$\delta_{KM} = \frac{l}{E} \cdot \left(E \cdot \alpha \cdot \Delta T - \frac{F \cdot l}{2 \cdot A_S} - \nu \cdot \sigma_p - \frac{p \cdot A_M}{A_S} \right) \quad (48)$$

W sytuacji, kiedy sieć przestanie pracować pod ciśnieniem, oba człony wzoru związane z ciśnieniem roboczym w wyniku obliczeń dają wartości zerowe, a maksymalne wydłużenie odcinka należy obliczyć ze wzoru:

$$\delta_{KM} = l \cdot \alpha \cdot \Delta T - \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot A_S} \quad (49)$$

Oznaczenia we wzorach zgodne z rozdziałem nr 3. **Stosowane symbole.**

W przypadku stosowania **kompensatorów mieszkowych – preizolowanych** bardzo istotna jest osiowość ich pracy, dlatego nie dopuszcza się wykonywania ukosowania na pierwszych spoinach kompensatora. Ukosowanie w wąskim zakresie dopuszczone jest dopiero **12,0 m** od spoiny fabrycznie wykonanego elementu, jakim jest **kompensator mieszkowy – preizolowany**.

Z uwagi na wymaganą osiowość pracy kompensatory mieszkowe sprawdzają się na długich prostych odcinkach sieci przesyłowych.

Stosowanie kolana w bezpośredniej bliskości kompensatora należy uznać za błąd w sztuce projektowania.

Na stronie następniej w tabeli, przedstawiono dopuszczalne długości montażowe oraz wydłużenia odcinka przylegającego do kompensatora dla sieci **125°C/65°C** i typoszeregu podstawowego **SERII 1 – izolacja standard**.

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

Tabela 14: Kompensatory mieszkowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Ocisk		Kompensatory przeizolowane w sieci ciepłej o parametrach 125°C/65°C, temperatura montażu 10°C, ciężkość zasypki 19,0 kN/m ³														
	dn	d _{iw} [mm]	t [mm]	A _s [mm ²]	Dc [mm]	H= 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m	
						F	Δsw	F	Δsw	F	Δsw	F	Δsw	F	Δsw	F	Δsw	F	Δsw
DN 20/90	20	26,9	2,6	198,5	90	1,26	-	1,59	-	1,91	-	2,22	-	2,53	-	2,84	-	3,16	-
DN 25/90	25	33,7	2,6	254,0	90	1,29	-	1,60	-	1,94	-	2,22	-	2,53	-	2,85	-	3,16	-
DN 32/110	32	42,4	2,6	325,1	110	1,58	-	1,96	-	2,34	-	2,72	-	3,10	-	3,49	-	3,87	-
DN 40/110	40	48,3	2,9	413,6	110	1,58	44	45	1,96	35	36	2,35	30	30	2,73	25	26	3,11	22
DN 50/125	50	60,3	2,9	522,9	125	1,81	48	49	2,24	39	40	2,67	33	34	3,11	28	29	3,54	25
DN 65/140	65	76,1	2,9	666,9	140	2,04	53	55	2,52	43	44	3,01	36	37	3,49	31	32	3,98	27
DN 80/160	80	88,8	3,2	861,6	160	2,34	59	61	2,80	48	50	3,45	40	41	4,01	35	36	4,56	30
DN 100/200	100	114,3	3,6	1252,0	200	2,97	67	70	3,68	54	56	4,35	45	47	5,05	39	41	5,74	34
DN 125/225	125	139,7	3,6	1539,3	225	3,37	70	74	4,15	57	60	4,93	48	50	5,74	41	43	6,49	36
DN 150/250	150	168,3	4,0	2064,7	250	3,79	83	87	4,66	67	71	5,53	57	60	6,39	49	52	7,26	43
DN 200/315	200	219,1	4,5	3033,8	315	4,86	91	97	5,98	74	79	7,07	63	67	8,16	54	58	9,26	48
DN 250/400	250	273,0	5,0	4208,7	400	6,35	95	102	7,74	78	84	9,13	66	71	10,51	58	62	11,90	51
DN 300/450	300	323,8	5,6	5599,8	450	7,29	109	118	8,85	90	97	10,41	77	83	11,98	66	71	13,54	59
DN 350/500	350	355,6	5,6	6157,5	500	8,20	104	113	9,84	86	93	11,67	73	79	13,41	64	69	15,14	56
DN 400/560	400	406,4	6,3	7918,8	560	9,38	116	126	11,32	96	105	13,26	82	89	15,21	71	78	17,45	63
DN 450/630	450	457,0	6,3	8920,3	630	10,75	110	121	12,83	91	100	15,12	78	86	17,30	68	75	19,49	60
DN 500/710	500	508,0	6,3	9929,7	710	12,34	102	114	14,80	85	95	17,26	73	81	19,73	64	71	22,19	57
DN 600/800	600	610,0	7,1	13447,9	800	14,40	116	130	17,17	98	110	19,95	84	94	22,72	74	83	25,50	66
DN 700/900	700	711,0	8,0	17668,3	900	16,77	-	-	19,69	-	-	23,02	-	-	26,14	-	-	29,26	-
DN 800/1000	800	813,0	8,8	22332,9	1000	19,27	-	-	22,74	-	-	26,21	-	-	29,68	-	-	33,15	-
DN 900/1100	900	914,0	10,0	28400,0	1100	21,93	-	-	25,75	-	-	29,56	-	-	33,38	-	-	37,49	-
DN 1000/1200	1000	1016,0	11,0	34730,3	1200	24,71	-	-	28,87	-	-	33,04	-	-	37,20	-	-	41,36	-

8.4.2. Kompensatory jednorazowe – SUC

W odróżnieniu od kompensatorów mieszkowych – preizolowanych przejmujących wydłużenia rury przewodowej przez cały okres przydatności do użytkowania, kompensatory jednorazowe przejmują tylko część wydłużeń początkowych rurociągu, a następnie po osiągnięciu projektowanego ciśnienia zostają zaspawane i od tego momentu pracują jak sztywny odcinek rury przewodowej.

Podczas stosowania kompensatorów jednorazowych **SUC** istotne są trzy elementy:

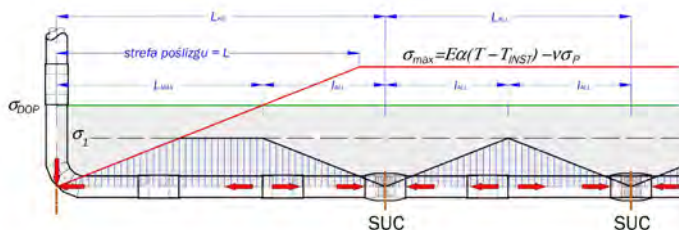
- określenie temperatury projektowanego ciśnienia kompensatora,
- rozstaw kompensatorów jednorazowych
- oraz ustawienie kompensatora.

Norma **PN-EN 13941-1** uporządkowuje sposób dobierania kompensatorów jednorazowych **SUC**. Dla przewidywanego wzrostu naprężeń w rurociągu przewodowym określonego ze wzoru:

$$\Delta \sigma = E \cdot \alpha_T \cdot (T - T_1) \quad (50)$$

naprężenia dopuszczalne, jakie mogą pojawić się w rurociągu w momencie zamknięcia kompensatora, powinny wynieść:

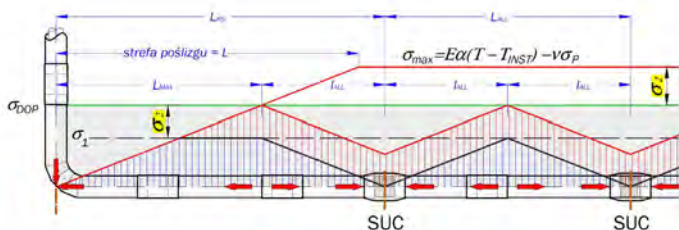
$$\sigma_1 = 2 \cdot \sigma_{ALL} - \Delta \sigma \quad (51)$$



Rysunek 16: Podgrzew kompensatora jednorazowego

wartość pozostałych naprężeń (reszkowych), które kompensator przeniesie już jako element sztywny, wyniesie:

$$\sigma_2 = \Delta \sigma - \sigma_{ALL} \quad (52)$$



Rysunek 17: Rozkład naprężeń przy temperaturze obliczeniowej

Odległość kompensatora jednorazowego od naturalnego punktu stałego długość

odcinka montażowego) możemy obliczyć ze wzoru:

$$l_{ALL} = \frac{\sigma_1 \cdot A_S}{F} \quad (53)$$

natomiast rozstaw kompensatorów jednorazowych wyniesie

$$L_{ALL} = 2 \cdot l_{ALL} \quad (54)$$

a wychodząc od wartości naprężeń resztkowych

$$\sigma_2 = \alpha_T \cdot (T - T_1) \cdot E - \sigma_{ALL} \quad (55)$$

możemy określić temperaturę zamknięcia kompensatorów jednorazowych, która wynosi:

$$T_2 = T_1 + \frac{\sigma_{ALL}}{\alpha_T \cdot E} \quad (56)$$

Znając temperaturę zamknięcia kompensatora, możemy obliczyć wydłużenie odcinka montażowego:

$$u = \alpha_{T2} \cdot (T_2 - T_1) \cdot l_{ALL} - \frac{F \cdot l_{ALL}^2}{2 \cdot E_{T2} \cdot A_S} \quad (57)$$

oraz nastawę kompensatora:

$$\Delta u = 2 \cdot u \quad (58)$$

W przypadku występowania po obu stronach kompensatora różnych warunków zewnętrznych należy dokonać odpowiedniej korekty obliczeń.

Na stronie następnej w tabeli, przedstawiono rozstawy kompensatorów jednorazowych **SUC** oraz ich nastawy dla sieci **125°C/65°C** i typoszeregu podstawowego **SERII 1 – izolacja standard**. Natomiast w tabeli poniżej przedstawiono odległość pomiędzy kompensatorem jednorazowym a kolanem kompensacyjnym.

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

Tabela 15: Odległość kompensatorów **SUC** od kolana kompensacyjnego

dla sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Kompensatory jednorazowe SUC i kolana kompensacyjne zamontowane w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zastpki 19,0 kN/m³						
	Odstęłość między kompensatorem SUC a kolaniem kompensacyjnym $L_{KS} = L_{ALL} + L_{MAX}$ - [m] dla przykrycia H:						
	H= 0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}
DN 20/90	-	-	-	-	-	-	-
DN 25/90	-	-	-	-	-	-	-
DN 32/110	-	-	-	-	-	-	-
DN 40/110	65,1	52,6	43,9	37,7	33,1	29,5	26,6
DN 50/125	71,9	58,1	48,8	41,8	36,8	32,7	29,5
DN 65/140	81,4	65,9	55,1	47,6	41,7	37,1	33,5
DN 80/160	91,7	74,0	62,2	53,5	47,0	41,9	37,8
DN 100/200	104,9	85,2	71,6	61,7	54,3	48,4	43,7
DN 125/225	113,7	92,3	77,7	67,1	59,1	52,7	47,6
DN 150/250	135,6	110,3	92,9	80,5	70,8	63,2	57,1
DN 200/315	154,8	126,3	106,8	92,6	81,5	73,0	66,0
DN 250/400	165,0	135,4	114,8	99,7	88,0	78,9	71,4
DN 300/450	191,2	157,4	133,9	116,4	102,9	92,3	83,7
DN 350/500	186,9	154,2	131,3	114,3	101,2	90,8	82,4
DN 400/560	210,1	174,1	148,7	129,5	114,9	103,2	93,8
DN 450/630	206,6	171,7	146,8	128,3	113,9	102,5	93,0
DN 500/710	200,2	167,0	143,2	125,2	111,4	100,3	91,1
DN 600/800	232,4	194,9	167,8	147,4	131,3	118,4	107,8
DN 700/900	-	-	-	-	-	-	-
DN 800/1000	-	-	-	-	-	-	-
DN 900/1100	-	-	-	-	-	-	-
DN 1000/1200	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 16: Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

8.5. Podgrzew wstępny

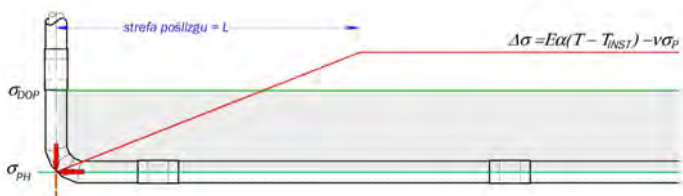
SERIA 1 Inkocja STANDARD	Rury stalowe						Kompensatory jednorazowe SUC w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zaspoki 19,0 kN/m ³ Sisa zarcia na jednostkę długości F ₁ - [kN/m]; Roostaw-kompensatorów SUC (A-U-2)kL ₁ - [m] ustawienie kompensatora 2 u ₁ - [mm] (na przykrycia H:																			
	Długość		Ciężar		Ciężar		Długość		Ciężar		Ciężar		Długość		Ciężar		Ciężar		Długość		Ciężar					
	dn	d _s [mm]	t [mm]	A _s [mm ²]	Dc [mm]	H=	F	L _{uL}	2 u ₁	F	L _{uL}	2 u ₁	F	L _{uL}	2 u ₁	F	L _{uL}	2 u ₁	F	L _{uL}	2 u ₁	F	L _{uL}	2 u ₁		
DN 20/90	20	26,9	2,6	188,5	90	1,26	-	-	1,91	-	-	2,22	-	-	2,53	-	-	2,84	-	-	3,16	-	-			
DN 25/90	25	33,7	2,6	254,0	90	1,29	-	-	1,91	-	-	2,22	-	-	2,53	-	-	2,85	-	-	3,16	-	-			
DN 32/110	32	42,4	2,6	325,1	110	1,58	-	-	2,34	-	-	2,72	-	-	3,10	-	-	3,49	-	-	3,87	-	-			
DN 40/110	40	48,3	2,9	413,6	110	1,58	42,0	29	1,96	33,9	23	2,35	28,3	20	2,73	24,3	17	3,11	21,4	15	3,49	19,0	13	3,87	17,2	12
DN 50/125	50	60,3	2,9	522,9	125	1,81	46,4	32	2,24	37,5	26	2,67	31,5	22	3,11	27,0	19	3,54	23,7	16	3,98	21,1	15	4,41	19,0	13
DN 65/140	65	76,1	2,9	666,9	140	2,04	52,5	36	2,52	42,5	29	3,01	35,6	25	3,49	30,7	21	3,98	26,9	19	4,47	24,0	17	4,95	21,6	15
DN 80/160	80	88,9	3,2	891,6	160	2,34	59,1	41	2,80	47,7	33	3,45	40,1	28	4,01	34,5	24	4,56	30,3	21	5,12	27,0	19	5,67	24,4	17
DN 100/200	100	114,3	3,6	1252,0	200	2,97	67,7	47	3,66	54,9	38	4,35	46,2	32	5,05	39,8	27	5,74	35,0	24	6,44	31,2	22	7,13	28,2	19
DN 125/225	125	138,7	3,6	1539,3	225	3,37	73,4	51	4,15	59,6	41	4,93	50,1	35	5,71	43,3	30	6,49	38,1	26	7,27	34,0	23	8,05	30,7	21
DN 150/250	150	168,3	4,0	2084,7	250	3,79	87,5	60	4,66	71,2	49	5,53	60,0	41	6,39	51,9	36	7,26	45,7	32	8,13	40,8	28	9,00	36,8	25
DN 200/315	200	219,1	4,5	3033,8	315	4,85	99,9	69	5,98	81,5	56	7,07	68,9	48	8,16	59,7	41	9,26	52,6	36	10,35	47,1	32	11,44	42,5	29
DN 250/400	250	273,0	5,0	4209,7	400	6,35	106,5	73	7,74	87,4	60	9,13	74,1	51	10,51	64,3	44	11,90	56,8	39	13,29	50,9	35	14,88	46,1	32
DN 300/450	300	323,9	5,6	5599,8	450	7,29	123,4	85	8,86	101,6	70	10,41	86,4	60	11,98	75,1	52	13,54	66,4	46	15,10	59,6	41	16,66	54,0	37
DN 350/500	350	355,6	5,6	6157,5	500	8,20	120,6	83	9,94	99,5	69	11,67	84,7	58	13,41	73,8	51	15,14	65,3	45	16,87	58,6	40	18,61	53,1	37
DN 400/560	400	406,4	6,3	7918,8	560	9,38	135,6	94	11,52	112,4	78	13,26	95,9	66	15,21	83,6	58	17,15	74,2	51	19,09	66,6	46	21,03	60,5	47
DN 450/630	450	457,0	6,3	8920,3	630	10,75	133,3	92	12,93	110,8	76	15,12	94,8	65	17,30	82,8	57	19,49	73,5	51	21,67	68,1	46	23,86	60,0	41
DN 500/710	500	508,0	6,3	9929,7	710	12,34	129,2	89	14,80	107,8	74	17,26	92,4	64	19,73	80,8	56	22,19	71,9	50	24,65	64,7	45	27,12	58,8	41
DN 600/800	600	510,0	7,1	13447,9	800	14,40	150,0	103	17,17	125,8	87	19,95	108,3	75	22,72	95,1	66	25,50	84,7	58	28,27	78,4	53	31,05	69,6	48
DN 700/900	700	711,0	8,0	17668,3	900	16,77	-	-	19,89	-	-	23,02	-	-	26,14	-	-	29,26	-	-	32,38	-	-	35,50	-	-
DN 800/1000	800	813,0	8,8	22232,9	1000	19,27	-	-	22,74	-	-	26,21	-	-	29,68	-	-	33,15	-	-	36,62	-	-	40,09	-	-
DN 900/1100	900	914,0	10,0	28400,0	1100	21,93	-	-	25,75	-	-	29,56	-	-	33,38	-	-	37,19	-	-	41,01	-	-	44,82	-	-
DN 1000/1200	1000	###	11,0	34730,3	1200	24,71	-	-	28,87	-	-	33,04	-	-	37,20	-	-	41,36	-	-	45,52	-	-	49,69	-	-

Technika podgrzewu wstępnego polega na podgrzaniu rurociągów sieci ciepłej przed jej zasypaniem, czyli wywołaniu odkształcenia rur przewodowych bez wprowadzania w nie wysokiego poziomu naprężeń.

Dla wybranego zakresu temperatury obliczeniowej T i temperatury montażu T_{INST} dobierana jest odpowiednia temperatura podgrzewu wstępnego T_{PH} , obliczona ze wzoru:

$$T_{PH} = \frac{T + T_{INST}}{2} \quad (59)$$

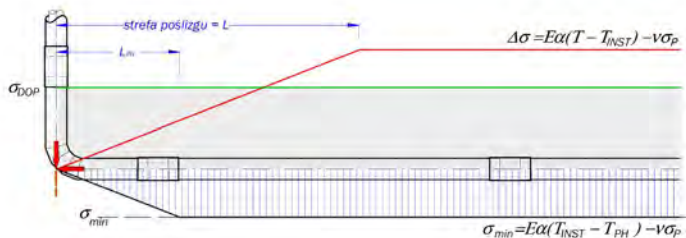
Rurociąg ułożony w wykopie i podgrzany do zadanej temperatury poddany jest śladowym wielkościom naprężeń.



Rysunek 18: Naprężenia w podgrzany i zasypany rurociągu

Jeśli podgrzany rurociąg zostanie zasypany z zachowaniem wszelkich reżimów przyjętej technologii, to rurociąg taki po obniżeniu temperatury będzie dążył do „skurczenia się”. Wykonana zasypka poprzez płaszcz osłonowy i izolację termiczną (system zespolony) będzie temu przeciwdziałać, co wywoła w ścianie rurociągu naprężenia osiowe – rozciągające – które dla pracującej sieci osiągną wartość:

$$\sigma_{min} = E \cdot \alpha_{PH} \cdot (T_{PH} - T_{INST}) - v \cdot \sigma_P \quad (60)$$



Rysunek 19: Naprężenia w rurociągu po spadku temperatury

Przystępując do podgrzania rurociągu (praca sieci) do momentu osiągnięcia

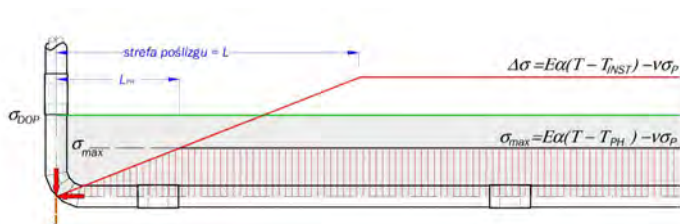
temperatury, w jakiej rurociąg był zasypany, czyli temperatury podgrzewu, wartość naprężeń rozciągających w ścianie rury stalowej będzie maleć, by w temperaturze podgrzewu ponownie osiągnąć wartość zbliżoną do zera.

Kiedy temperatura czynnika będzie nadal rosła, w ścianie rury pojawią się naprężenia ściskające, których wartość w temperaturze obliczeniowej i pracującej pod ciśnieniem sieci wyniesie:

$$\sigma_{max} = E \cdot \alpha_T \cdot (T - T_{PH}) - \nu \cdot \sigma_P \quad (61)$$

Dla sieci ciepłej o parametrach **125°C/65°C** temperatura podgrzewu wstępnego wyniesie około:

$$T_{PH} = \frac{T - T_{INST}}{2} = \frac{125 - 10}{2} = 57,5^\circ C \quad (62)$$



Rysunek 20: Naprężenia w rurociągu po osiągnięciu temperatury obliczeniowej

Dla większości sieci ciepłych w Polsce, pracujących przy maksymalnej temperaturze zasilania **130°C**, przy prawidłowo zaprojektowanym podgrzewie, naprężenia w okresie szczytowym wyniosą **155 N/mm²**.

9. Obliczenia hydrauliczne

9.1. 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, które opisuje się wielkością liczby Reynoldsa **Re**:

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu} \quad (63)$$

współczynnika oporów liniowych λ dla zakresu **Re \leq 2300**

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

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

$$\lambda = \frac{1}{\left(-2 \cdot \log \left(\frac{6,10}{Re^{0,916}} + \frac{0,268 \cdot k}{d_i} \right)\right)^2} \quad (65)$$

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

$$\varepsilon = \frac{k}{d_i} > \varepsilon_{gr} = \frac{23}{Re} \quad (66)$$

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

$$\lambda = \left(2 \cdot \log \frac{\sqrt{\lambda} \cdot Re}{2,51} \right)^{-2} \quad (67)$$

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

$$\lambda = \frac{1}{\left(-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}}} + \frac{\varepsilon}{3,71} \right)\right)^2} \quad (68)$$

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:

$$Ri = \frac{\lambda \cdot w^2 \cdot \varrho}{2 \cdot d_i} \quad (69)$$

natomiast opory miejscowe na podstawie zależności:

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (70)$$

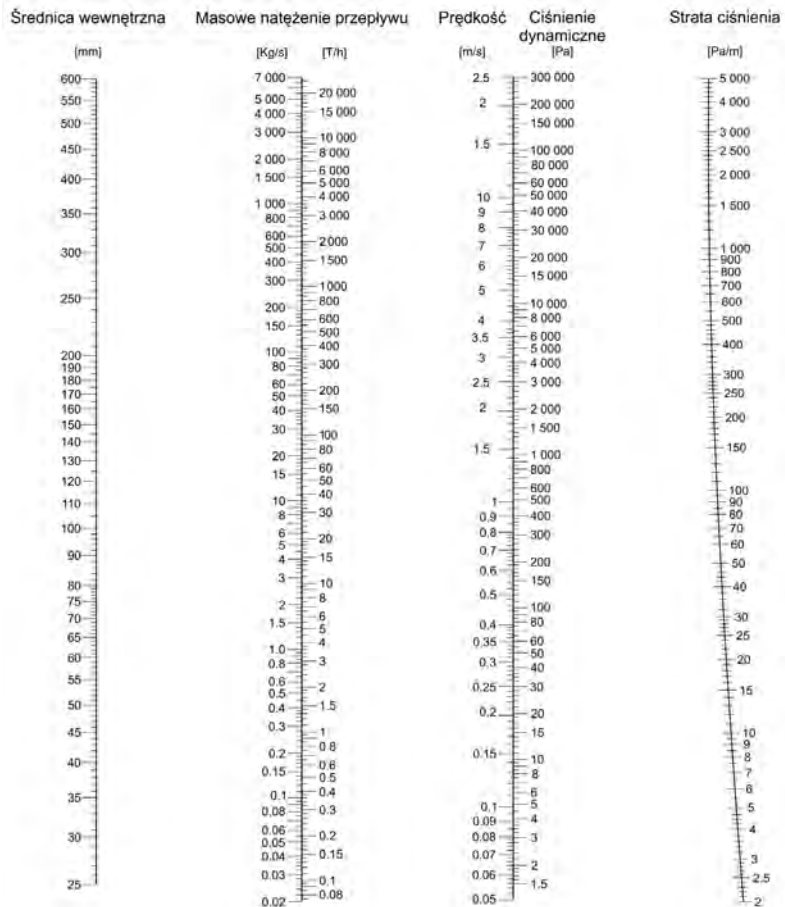
sumaryczne straty ciśnienia obliczymy z zależności:

$$\Delta p = 2 \cdot l \cdot Ri + Z \quad (71)$$

9.2. Metoda graficzna

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

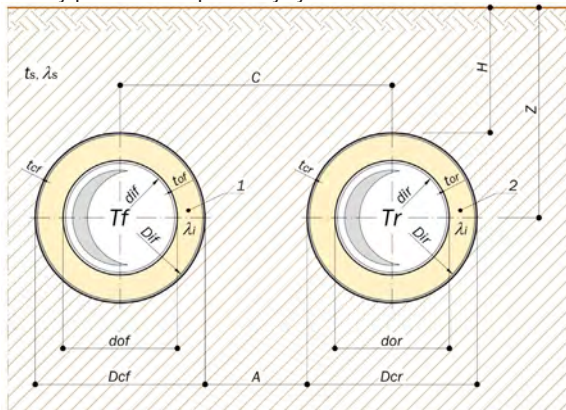
Korzystanie z wykresu polega na połączeniu linią prostą dwóch wybranych parametrów i przedłużeniu jej tak, aby umożliwiło to odczytanie pozostałych.



Rysunek 21: Nomogram przepływu, doboru średnic i strat ciśnienia

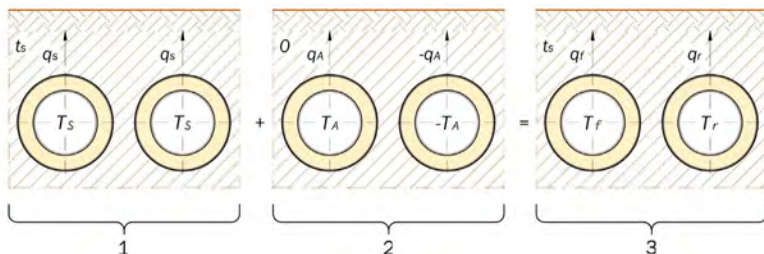
10. Obliczanie strat ciepła

Model obliczeniowy przedstawia poniższy rysunek:



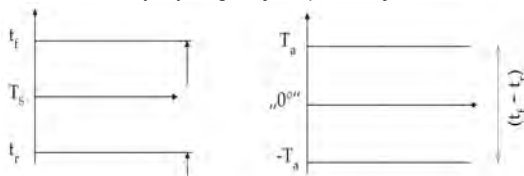
Rysunek 22: Model do obliczeń strat ciepła w rurach pojedynczych

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



Rysunek 23: Schemat założeń do obliczeń strat ciepła metodą superpozycji

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



Rysunek 24: Temperatura w układzie symetrycznym (T_s) i antysymetrycznym (T_A)

Dla układu symetrycznego temperatura wynosi:

$$T_s = \frac{T_F + T_R}{2} \quad (72)$$

zaś dla antysymetrycznego wynosi:

$$T_A = \frac{T_F - T_R}{2} \quad (73)$$

Wprowadzając zmienną pomocniczą:

$$\beta = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \ln \left(\frac{D_i}{d_o} \right) \quad (74)$$

przechodzimy do obliczenia współczynników strat ciepła, dla układu symetrycznego:

$$h_s^{-1} = \ln \left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i} \right) + \beta + \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_C}{C} \right)^2} \right) \quad (75)$$

i antysymetrycznego:

$$h_A^{-1} = \ln \left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i} \right) + \beta - \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_C}{C} \right)^2} \right) \quad (76)$$

Opór cieplny dla poszczególnych układów można obliczyć z wzorów:

$$R_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \left(\ln \left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i} \right) + \beta + \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_C}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (77)$$

dla układu symetrycznego i

$$R_A = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \left(\ln \left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i} \right) + \beta - \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_C}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (78)$$

dla układu antysymetrycznego, gdzie:

$$Z_C = Z + R_o \cdot \lambda_s \quad [m] \quad (79)$$

$$R_o = 0,0685 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (80)$$

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

$$\begin{aligned}\lambda_s &= 1,0 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piasek suchy} \\ \lambda_s &= 1,6 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piasek średnio wilgotny} \\ \lambda_s &= 2,0 \frac{W}{m \cdot K} - \text{piasek wilgotny}\end{aligned}\quad (81)$$

Straty ciepła w rurociągu zasilającym obliczamy ze wzoru:

$$q_F = q_S + q_A \frac{W}{m} \quad (82)$$

natomiast straty ciepła w rurociągu powrotnym ze wzoru:

$$q_R = q_S - q_A \frac{W}{m} \quad (83)$$

Poszczególne składowe potrzebne do tych obliczeń wyznaczamy ze wzorów – dla układu symetrycznego:

$$q_S = (T_S - t_S) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_S \cdot h_S \frac{W}{m} \quad (84)$$

czyli:

$$q_S = \frac{(T_S - t_S)}{R_S} \frac{W}{m} \quad (85)$$

i dla układu antysymetrycznego

$$q_A = T_A \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_A \cdot h_A \frac{W}{m} \quad (86)$$

czyli:

$$q_A = \frac{T_A}{R_A} \frac{W}{m} \quad (87)$$

zaś sumaryczne straty ciepła przez oba rurociągi sieci cieplnej wynosi:

$$\Sigma q = q_F + q_R = 2 \cdot q_S \frac{W}{m} \quad (88)$$

Poniżej przedstawiono straty ciepła dla rurociągów. Z uwagi na ich ułożenie w strefie przemarzania dla obliczeń rurociągów z przykryciem $H=0,6$ m przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła zasypki jak dla piasku wilgotnego, czyli $\lambda_s=2,0$ W/mK, oraz temperaturę nienaruszonego gruntu na poziomie osi rurociągów $t_s=0$ °C. Dla rurociągów ułożonych głębiej przyjęto odpowiednio $\lambda_s=1,6$ W/mK oraz $t_s=8$ °C.

Tabela 17: Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Rury stalowe		Osłona		Straty ciepła w rurociągach preizolowanych równoległych obliczone zgodnie z PN-EN 13941-1 dla parametrów sieci 125°C/65°C; oraz przykrycia rurociągu H (m)								
	dn	d _o [mm]	Dc [mm]	Di [mm]	H=0,6 m			H=2,0 m					
					dla λs =2,0W/(mK); λi =0,029W/(mK) oraz ts=0,0°C						dla λs =1,6W/(mK); λi =0,029W/(mK) oraz ts=8,0°C		
					qr	q _o	Σq	qr	q _o	Σq			
DN 20/90	20	26,9	90	84,0	18,90	9,51	28,41	18,25	8,91	27,16			
DN 25/90	25	33,7	90	84,0	23,26	11,61	34,87	22,28	10,71	32,99			
DN 32/110	32	42,4	110	104,0	23,74	11,86	35,60	22,73	10,93	33,66			
DN 40/110	40	48,3	110	104,0	27,47	13,63	41,10	26,14	12,41	38,55			
DN 50/125	50	60,3	125	119,0	30,79	15,21	46,00	29,16	13,71	42,87			
DN 65/140	65	76,1	140	134,0	36,51	17,88	54,39	34,29	15,83	50,12			
DN 80/160	80	88,9	160	154,0	37,63	18,43	56,06	35,32	16,30	51,62			
DN 100/200	100	114,3	200	193,6	39,33	19,27	58,60	36,89	17,02	53,91			
DN 125/225	125	139,7	225	218,2	45,91	22,32	68,23	42,70	19,35	62,05			
DN 150/250	150	168,3	250	242,8	55,06	26,77	81,83	50,64	22,76	73,40			
DN 200/315	200	219,1	315	306,8	59,87	29,07	88,94	54,90	24,53	79,43			
DN 250/400	250	273,0	400	390,4	57,21	28,01	85,22	52,80	23,99	76,79			
DN 300/450	300	323,9	450	439,6	66,20	32,17	98,37	60,54	27,02	87,56			
DN 350/500	350	355,6	500	488,8	64,08	31,29	95,37	58,87	26,54	85,41			
DN 400/560	400	406,4	560	548,0	68,03	33,17	101,20	62,36	28,01	90,37			
DN 450/630	450	457,0	630	616,8	68,22	33,47	101,69	62,67	28,44	91,11			
DN 500/710	500	508,0	710	695,6	65,65	32,36	98,01	60,63	27,82	88,45			
DN 600/800	600	610,0	800	784,2	80,70	39,37	120,07	73,49	32,92	106,41			
DN 700/900	700	711,0	900	892,6	92,61	44,88	137,49	83,60	36,85	120,45			
DN 800/1000	800	813,0	1000	981,2	105,14	50,60	155,74	94,13	40,82	134,95			
DN 900/1100	900	914,0	1100	1079,6	117,41	56,13	173,54	104,18	44,51	148,69			
DN 1000/1200	1000	1016,0	1200	1178,0	130,50	61,94	192,44	114,92	48,33	163,25			

W tabeli następniej przedstawiono opory cieplne dla układu symetrycznego i antysymetrycznego do wykorzystania przy obliczaniu strat ciepła rurociągów ułożonych na różnych głębokościach.

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

Tabela 18: Opory ciepła dla sieci ciepłej 125 °C/65 °C – SERIA 1 – Izolacja STANDARD

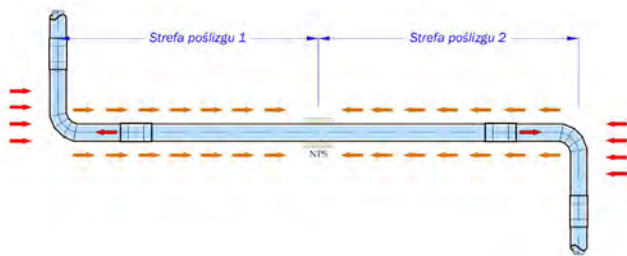
SERIA 1 - Izolacja STANDARD	Opory cieplne dla układów symetrycznego i antysymetrycznego, do obliczania strat ciepła metodą superpozycji, w rurociągach przeizolowanych równoległych – rury pojedyncze - dla wartości $t_s = 8,00\text{ °C}$; $\lambda_s = 1,60\text{ W/(mK)}$; $N = 0,0290\text{ W/(mK)}$, oraz przyręcza rurociągu $H =$													
	H=0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m	
	Rs	Ra	Rs	Ra	Rs	Ra	Rs	Ra	Rs	Ra	Rs	Ra	Rs	Ra
DN 20/90	6,8355	6,4214	6,8731	6,4217	6,9048	6,4218	6,9321	6,4219	6,9561	6,4220	6,9775	6,4220	6,9969	6,4220
DN 25/90	5,5991	5,1850	5,6367	5,1852	5,6683	5,1854	5,6956	5,1855	5,7197	5,1855	5,7411	5,1856	5,7604	5,1856
DN 32/110	5,4836	5,0831	5,5208	5,0833	5,5521	5,0835	5,5792	5,0836	5,6031	5,0837	5,6244	5,0837	5,6436	5,0838
DN 40/110	4,7684	4,3679	4,8056	4,3681	4,8369	4,3683	4,8640	4,3684	4,8879	4,3685	4,9092	4,3685	4,9284	4,3686
DN 50/125	4,2735	3,8825	4,3105	3,8828	4,3416	3,8830	4,3686	3,8831	4,3923	3,8832	4,4135	3,8832	4,4327	3,8833
DN 65/140	3,6324	3,2502	3,6690	3,2505	3,7000	3,2507	3,7268	3,2508	3,7504	3,2509	3,7715	3,2510	3,7906	3,2510
DN 80/160	3,5236	3,1523	3,5598	3,1527	3,5905	3,1529	3,6171	3,1531	3,6406	3,1532	3,6616	3,1532	3,6806	3,1533
DN 100/200	3,3696	3,0180	3,4051	3,0185	3,4353	3,0187	3,4615	3,0189	3,4847	3,0190	3,5055	3,0191	3,5243	3,0192
DN 125/225	2,9088	2,5682	2,9439	2,5687	2,9738	2,5690	2,9997	2,5692	3,0227	2,5693	3,0434	2,5694	3,0620	2,5695
DN 150/250	2,4375	2,1493	2,4718	2,1501	2,5012	2,1506	2,5268	2,1510	2,5496	2,1512	2,5700	2,1514	2,5885	2,1515
DN 200/315	2,2447	1,9735	2,2779	1,9745	2,3064	1,9751	2,3314	1,9755	2,3537	1,9758	2,3737	1,9760	2,3920	1,9761
DN 250/400	2,3316	2,0791	2,3635	2,0803	2,3910	2,0810	2,4153	2,0815	2,4369	2,0818	2,4565	2,0821	2,4743	2,0823
DN 300/450	2,0298	1,7868	2,0609	1,7880	2,0879	1,7888	2,1117	1,7893	2,1331	1,7897	2,1524	1,7900	2,1700	1,7902
DN 350/500	2,0888	1,8523	2,1172	1,8536	2,1436	1,8545	2,1670	1,8551	2,1880	1,8555	2,2070	1,8558	2,2244	1,8560
DN 400/560	1,9679	1,7427	1,9974	1,7441	2,0233	1,7450	2,0462	1,7456	2,0668	1,7461	2,0855	1,7464	2,1026	1,7467
DN 450/630	1,9544	1,7484	1,9828	1,7500	2,0079	1,7511	2,0302	1,7519	2,0503	1,7525	2,0686	1,7529	2,0854	1,7533
DN 500/710	2,0209	1,8235	2,0483	1,8253	2,0726	1,8265	2,0943	1,8274	2,1139	1,8280	2,1318	1,8285	2,1483	1,8288
DN 600/800	1,6620	1,4732	1,6884	1,4751	1,7118	1,4764	1,7329	1,4773	1,7520	1,4780	1,7695	1,4785	1,7856	1,4790
DN 700/900	1,4578	1,2774	1,4831	1,2793	1,5057	1,2807	1,5261	1,2817	1,5447	1,2825	1,5617	1,2831	1,5775	1,2835
DN 800/1000	1,2920	1,1189	1,3164	1,1209	1,3382	1,1224	1,3580	1,1235	1,3760	1,1243	1,3926	1,1250	1,4080	1,1255
DN 900/1100	1,1654	0,9986	1,1888	1,0008	1,2099	1,0024	1,2291	1,0035	1,2466	1,0044	1,2628	1,0053	1,2778	1,0056
DN 1000/1200	1,0548	0,8937	1,0773	0,8959	1,0977	0,8975	1,1163	0,8988	1,1334	0,8997	1,1482	0,9004	1,1639	0,9010

11.3. Występowanie naturalnych punktów stałych

O ile lokalizacja rzeczywistych punktów stałych jest narzucona przez projektanta, o tyle lokalizację naturalnych punktów stałych należy określić w zależności od ukształtowania terenu, przebiegu sieci oraz jej przykrycia.

11.3.1. Stałe przykrycie rurociągu (teren płaski-krótkie odcinki)

W przypadku kiedy sieć cieplna ułożona jest z minimalnym spadkiem, w terenie płaskim, można przyjąć, że naturalny punkt stały znajduje się w połowie odcinka między dwoma wolnymi końcami (kolanami lub kompensatorami osiowymi).

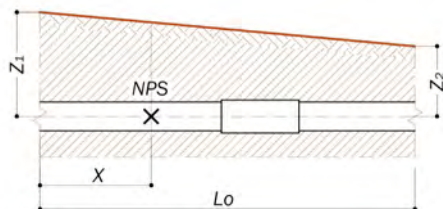


Rysunek26: Naturalny punkt stały (NPS) zlokalizowany w połowie odcinka

11.3.2. Przykrycie zmieniające się równomiernie

Jednym z częściej popełnianych błędów na wstępnym etapie projektowania jest założenie, że wszystkie naturalne punkty stałe znajdują się pośrodku odcinka sieci.

Jednak w przypadku rozpatrywania odcinka sieci między dwoma swobodnymi końcami przy zróżnicowanym zagłębieniu osi sieci cieplnej należy użyć bardziej skomplikowanych metod. Do tego celu przydatny będzie wzór na określenie lokalizacji naturalnego punktu stałego, dla przedstawionego schematu.



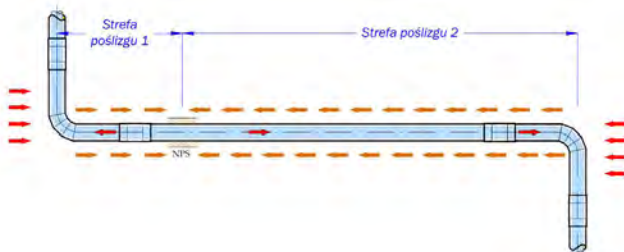
Rysunek 27: Schemat obliczeniowy do określenia lokalizacji naturalnego punktu stałego przy równomiernym nachyleniu terenu.

$$X = \frac{2 \cdot Z_1 - \sqrt{2 \cdot (Z_1^2 + Z_2^2)}}{2 \cdot (Z_1 - Z_2)} \cdot L_0 \quad \text{dla } Z_1 \neq Z_2 \quad (89)$$

11.3.3. Zróżnicowane przykrycie rurociągu

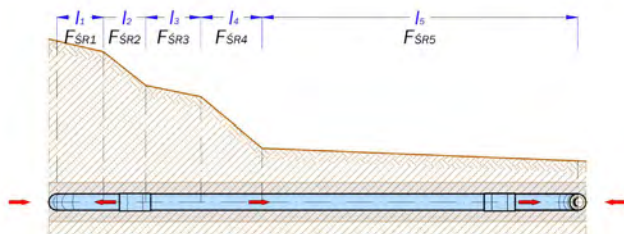
W przypadku poszukiwania naturalnego punktu stałego dla sieci ciepłej ułożonej w terenie o bardzo zróżnicowanej rzeźbie i zróżnicowanym przykryciu lokalizację naturalnego punktu stałego należy wykonać metodą kolejnych przybliżeń.

Bardzo często okazuje się, że naturalny punkt stały znajduje się w skrajnej lokalizacji w stosunku do układu sieci.



Rysunek 28: Skrajna lokalizacja naturalnego punktu stałego NPS

Przykładowo dla schematu przedstawionego na rysunku:



Rysunek 29: Lokalizacja naturalnego punktu stałego w terenie o bardzo zróżnicowanej rzeźbie i zróżnicowanym przykryciu sieci ciepłej

Z wcześniejszych informacji wynika, że naturalny punkt stały zlokalizowany będzie w miejscu zrównania sił osiowych działających z przeciwnymi zwrotami.

Pomocnym w wyznaczeniu lokalizacji punktu stałego jest podział odcinka sieci pomiędzy dwoma wolnymi końcami na części, które można opisać jednolitym spadkiem terenu w stosunku do ułożenia sieci ciepłej (np., 1, 2, 3, 4 i 5).

Przybliżona wartość tej siły wyniesie:

$$N_{NPS} = \frac{F_{SR1} \cdot l_1 + F_{SR2} \cdot l_2 + F_{SR3} \cdot l_3 + F_{SR4} \cdot l_4 + F_{SR5} \cdot l_5}{2} \quad (90)$$

Następnie należy metodą kolejnych kroków, wykonać obliczenia jednocześnie dokonując porównania obliczonej siły N z wartością siły N_{NPS} w celu odnalezienia fragmentu, w którego obrębie następuje wyrównanie sił:

Krok 1 – obliczamy siłę N i porównujemy:

$$N_1 = F_{SR1} \cdot l_1 > N_{NPS} ? \quad (91)$$

jeśli nie to krok drugi:

$$N_2 = F_{SR1} \cdot l_1 + F_{SR2} \cdot l_2 + \dots > N_{NPS} ? \quad (92)$$

jeśli nie to krok trzeci i tak dalej aż do:

$$N_i = F_{SR1} \cdot l_1 + \dots + F_{SRi} \cdot l_i > N_{NPS} \quad (93)$$

W sytuacji, kiedy $N_i > N_{NPS}$ ostatni dodany człon wzoru dotyczy poszukiwanego odcinka, w którego obrębie znajduje się poszukiwany punkt. Lokalizację tego punktu można wyznaczyć:

$$L_i = l_1 + \dots + l_{(i-1)} + \frac{N_{NPS} - N_{(i-1)}}{\left(\frac{N_i - N_{(i-1)}}{l_i} \right)} \quad (94)$$

11.4. Wykopy

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

Tabela 20: Zalecane minimalne wymiary wykopów

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Zalecana szerokość wykopu na poziomie ulożenia rur			Zalecana szerokość wykopu na poziomie ulożenia rur, w miejscu wykonywania połączenia		
	M	N	Szerokość łoża piaskowego	M	N	Szerokość łoża piaskowego
	[mm]	[mm]	[m]	[mm]	[mm]	[m]
DN 20/90	150	150	0,63	150	500	1,33
DN 25/90	150	150	0,63	150	500	1,33
DN 32/110	150	150	0,67	150	900	1,37
DN 40/110	150	150	0,67	150	500	1,37
DN 50/125	150	150	0,70	150	500	1,40
DN 65/140	150	150	0,73	150	500	1,43
DN 80/160	150	150	0,77	150	500	1,47
DN 100/200	150	150	0,85	150	500	1,55
DN 125/225	150	150	0,90	150	500	1,60
DN 150/250	250	250	1,25	250	500	1,75
DN 200/315	250	250	1,38	250	500	1,88
DN 250/400	250	250	1,55	250	500	2,05
DN 300/450	250	250	1,65	250	500	2,15
DN 350/500	250	250	1,75	250	500	2,25
DN 400/560	250	250	1,87	250	500	2,37
DN 450/630	300	300	2,16	300	500	2,56
DN 500/710	300	300	2,32	300	500	2,72
DN 600/800	300	300	2,50	300	500	2,90
DN 700/900	400	500	3,20	400	500	3,20
DN 800/1000	400	500	3,40	400	500	3,40
DN 900/1100	400	500	3,60	400	500	3,60
DN 1000/1200	400	500	3,80	400	500	3,80

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

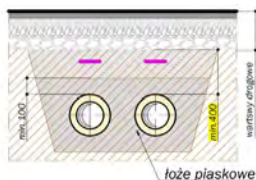
W sieciach prowadzonych z dużym spadkiem lub położonych na zboczach należy uwzględnić możliwość drenażowego działania profilu wykopu.

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

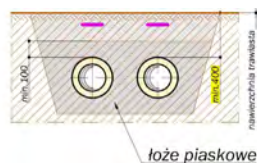
- minimalna długość: 1,5 m;
- minimalna odległość pomiędzy rurą przewodową a dnem wykopu 0,4 m;
- minimalna odległość pomiędzy ścianką rury przewodowej a ścianą wykopu 0,5 m.

11.4.1. Minimalna głębokość układania

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



Rysunek 30: Minimalne przykrycie pod drogą



Rysunek 31: Minimalne przykrycie

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

W przypadku przekraczania rurociągami preizolowanymi nawierzchni utwardzonych (drog, placów manewrowych, parkingów itp.) wielkość tą stanowi zagłębienie wierzchu osłony rurociągu w stosunku do spodu podbudowy nawierzchni utwardzonej. Zabezpiecza to rurociągi przed oddziaływaniem grubych frakcji podbudów mogących uszkodzić osłonę polietylenową.

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 zabezpieczające itp.).

11.4.2. Maksymalna głębokość układania

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

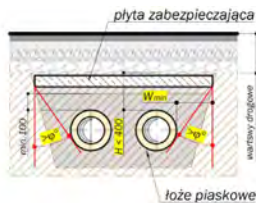
Tabela 21: Maksymalne przykrycie rurociągów

Maksymalne przykrycie rurociągów preizolowanych produkowanych w FINPOL											
rury przewodowe			Elementy preizolowane SERIA 1 – Izolacja standard			Elementy preizolowane SERIA 2 – Izolacja +			Elementy preizolowane SERIA 3 – Izolacja ++		
dn	d _o [mm]	t [mm]	D _c [mm]	Odległość między kolanami w [m]		D _c + [mm]	Odległość między kolanami w [m]		D _c ++ [mm]	Odległość między kolanami w [m]	
				L ≤ 20 γ _m = 2	20 < L γ _m = 3		L ≤ 20 γ _m = 2	20 < L γ _m = 3		L ≤ 20 γ _m = 2	20 < L γ _m = 3
20	26,9	2,6	90	2,1	1,4	110	1,7	1,2	125	1,5	1,0
25	33,7	2,6	90	2,7	1,8	110	2,2	1,5	125	1,9	1,3
32	42,4	2,6	110	2,8	1,8	125	2,4	1,6	140	2,2	1,4
40	48,3	2,9	110	3,2	2,1	125	2,8	1,8	140	2,5	1,6
50	60,3	2,9	125	3,5	2,3	140	3,1	2,0	160	2,7	1,8
65	76,1	2,9	140	3,9	2,6	160	3,4	2,3	180	3,0	2,0
80	88,9	3,2	160	4,0	2,6	180	3,5	2,3	200	3,2	2,1
100	114,3	3,6	200	4,1	2,7	225	3,6	2,4	250	3,3	2,1
125	139,7	3,6	225	4,4	2,9	250	4,0	2,6	280	3,5	2,3
150	168,3	4,0	250	4,8	3,2	280	4,3	2,8	315	3,8	2,5
200	219,1	4,5	315	4,9	3,3	355	4,4	2,9	400	3,9	2,5
250	273,0	5,0	400	4,8	3,2	450	4,3	2,8	500	3,8	2,5
300	323,9	5,6	450	5,1	3,3	500	4,6	3,0	560	4,0	2,7
350	355,6	5,6	500	5,0	3,3	560	4,5	2,9	630	3,9	2,6
400	406,4	6,3	560	5,1	3,3	630	4,5	2,9	710	4,0	2,6
450	457,0	6,3	630	5,1	3,3	710	4,5	2,9	800	3,9	2,6
500	508,0	6,3	710	5,0	3,3	800	4,4	2,9	900	3,9	2,5
600	610,0	7,1	800	5,3	3,4	900	4,7	3,0	1000	4,2	2,7
700	711,0	8,0	900	5,4	3,5	1000	4,9	3,2	1100	4,4	2,8
800	813,0	8,8	1000	5,6	3,6	1100	5,0	3,3	1200	4,6	2,9
900	914,0	10,0	1100	5,7	3,7	1200	5,2	3,3	1400	4,4	2,8
1000	1016,0	11,0	1200	5,7	3,7	1400	4,9	3,1	1400	4,9	3,1

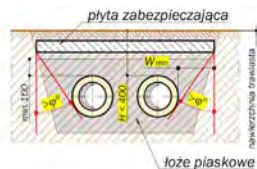
Obliczenia stanów granicznych pianki **PUR** są zgodne z zapisami norm **PN-EN 13941-1** i **PN-EN 253** oraz uwzględniają wymaganą zmienność współczynników bezpieczeństwa. Zastosowano również zgodnie z zaleceniami **PN-EN 13941-1** współczynnik bezpieczeństwa dotyczący ciężaru właściwego zasypki.

11.4.3. Płyty zabezpieczające

W przypadku konieczności płytkiego ułożenia sieci ciepłej, z przykryciem mniejszym niż **0,4 m** należy w celu ochrony łoża piaskowego, zastosować **płyty zabezpieczające**. Płyty te chronią również rurociągi preizolowane przed oddziaływaniem grubych frakcji podbudowy nawierzchni utwardzonych lub przed oddziaływaniem pojazdów poruszających się po terenie nieutwardzonym.



Rysunek 32: Plyta zabezpieczająca pod drogą



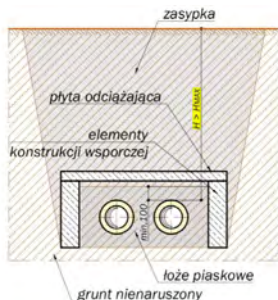
Rysunek 33: Plyta zabezpieczająca

Plyta zabezpieczająca powinna być ułożona powyżej łoża piaskowego rurociągów, a jej wymiar poprzeczny powinien być uzależniony od kąta tarcia wewnętrznego gruntu.

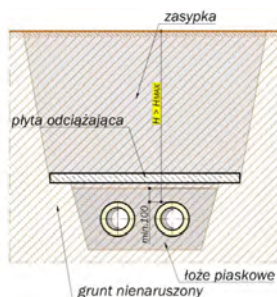
W przypadku braku możliwości takiego zabezpieczenia należy stosować inne rozwiązania ze zwiększeniem zagłębienia sieci cieplnej.

11.4.4. Plyty odciążające

W przypadku konieczności głębokiego ułożenia sieci cieplnej, z przykryciem przekraczającym dopuszczalne przykrycie maksymalne, należy zastosować **plyty odciążające**.



Rysunek 35: Plyta odciążająca oparta na gruncie



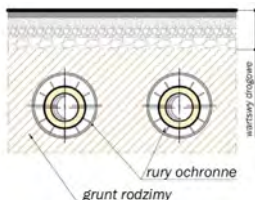
Rysunek 34: Plyta odciążająca na ściankach

Plyty odciążające, od płyt zabezpieczających różnią się przede wszystkim tym, że muszą być oparte na gruncie nienaruszonym, a jeżeli grunt nie jest gruntem nośnym, muszą zostać oparte na dodatkowych elementach konstrukcyjnych.

Dodatkowo plyta odciążająca i jej podparcie muszą być zaprojektowane tak, aby przenosiły wszystkie obciążenia znajdujące się powyżej rurociągu. Potrzebne jest to na wypadek wyplukiwania łoża piaskowego i tworzenia się pustki pod płytami.

11.4.5. Rury ochronne

W przypadku przekraczania rurociągami preizolowanymi nawierzchni utwardzonych często, zwłaszcza w przypadku dróg, zarządca wymaga przeprowadzenia prac bez naruszania nawierzchni lub układania rurociągów sieci ciepłej w rurach ochronnych.



Rysunek 36: Rurociągi preizolowane w rurach ochronnych pod drogą

Rozwiązanie takie wymaga zastosowania odpowiednio dobranej rury ochronnej, zazwyczaj będącej jednocześnie rurą przewiertową, o średnicy większej od maksymalnej średnicy wsuwanego w nią zespołu rurociągów preizolowanych i zastosowanych płóz dystansowych. Należy zwrócić uwagę, aby średnica wewnętrzna rury ochronnej była na tyle mała, aby uniemożliwiła ruchy poprzeczne znajdujących się w niej rurociągów.

Zaleca się, aby różnica pomiędzy średnicą wewnętrzną rury ochronnej a średnicą zewnętrzną osłony rury preizolowanej, wynosiła około 100 mm i była dostosowana do długości rury ochronnej.



Zaleca się, aby rurociągi preizolowane układane wewnątrz rur ochronnych

- nie podlegały poprzecznym odkształceniom termicznym,
- były pozbawione wysokich naprężeń osiowych, oraz
- by istniała możliwość dokonania ich wymiany.

Wykonywanie przejść w rurach ochronnych, wykonywanych zarówno w otwartych wykopach, jak i metodą przewiertu dopuszcza się wyłącznie na wyraźne żądanie zarządców dróg, służb kolejowych, lub w warunkach uniemożliwiających wykonanie rozkopu.

W przypadku gdy naziemne lub podziemne zagospodarowanie terenu uniemożliwia w okresie eksploatacji wymianę tak zamontowanego rurociągu preizolowanego – rur ochronnych nie powinno się stosować.

Dobre prozły, zamontowane w odpowiednim rozstawie dostosowanym do przenoszonego ciężaru, winny umożliwiać ruchy osiowe rur preizolowanych, oraz swobodny ich montaż na budowie.

Wskazane jest, aby prozły były wyposażone w kółka czy rolki.

Końce rur ochronnych należy wyposażyć w zachowującą elastyczność manszety bądź łączniki redukcyjne uniemożliwiające penetrację piasku z podłoża i zasypki, do przestrzeni między rurami ochronnymi i osłonowymi.

Opaski na manszetach czy łącznikach powinny być wykonane ze stali nierdzewnej.

11.5. Roboty ziemne w pobliżu sieci ciepłej preizolowanej

11.5.1. Informacje ogólne

Sieci ciepłe wykonane z rur i elementów preizolowanych projektowane są do pracy w specyficznym i ściśle przygotowanym otoczeniu. Każda zmiana mająca wpływ na otoczenie rur zmienia przewidziany układ wytrzymałościowy, tworząc ryzyko powstania awarii poprzez:

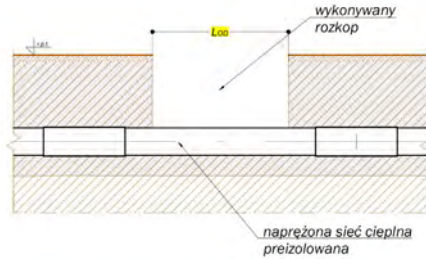
- wyboczenie prostych odcinków rur,
- przeciążenie przekrojów rury przewodowej,
- przeciążenie punktów odgałęzień,
- zniszczenie izolacji termicznej,
- zmianę warunków pracy elementów kompensacyjnych,

i szereg innych skutków, powodujących również straty finansowe związane z przerwami w dostawie ciepła, czy destrukcyjnym działaniem czynnika na elementy zlokalizowane w pobliżu uszkodzonego rurociągu.

Operator sieci ciepłej biorąc udział w uzgadnianiu lokalizacji sąsiadującego z siecią uzbrojenia podziemnego, lub naziemnego, w każdym indywidualnym przypadku powinien określić szczegóły możliwości prowadzenia robót w bezpośredniej bliskości sieci, gdyż warunki te można określić tylko na podstawie posiadanych przez niego projektów i inwentaryzacji.

11.5.2. Bezpieczne odkrycie rurociągów

Najistotniejszym ograniczeniem jest zdefiniowanie bezpiecznej długości, na jakiej mogą zostać odkopane pracujące rurociągi sieci ciepłej. Potrzeba takich prac występuje podczas normalnej eksploatacji sieci ciepłej, na przykład przy wykonywaniu odgałęzienia na gorąco lub usuwania drobnej awarii, ale również w czasie realizacji robót ziemnych związanych z układaniem lub remontowaniem sąsiadującego z siecią ciepłą uzbrojenia podziemnego.



Rysunek 38: Odkrycie fragmentu sieci ciepłej

Długość ta zależy, od sił osiowych występujących w rurociągach sieci ciepłej. Można ją określić, wykorzystując wzór:

$$L_{OD} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\gamma_a \cdot \gamma_M \cdot N}} \quad (95)$$

gdzie:

γ_a – współczynnik bezpieczeństwa równy 1,35 (wg PN-EN 13941-1)

γ_M – współczynnik bezpieczeństwa równy 1,10 (wg PN-EN 13941-1)

Wzór ten można również odnieść do naprężeń występujących w przekroju rury przewodowej, pracującej sieci ciepłej.

$$L_{OD} = \frac{B}{\sqrt{\sigma_x}} \quad (96)$$

W poniższej tabeli przedstawione zostały bezpieczne odległości **LOD** dla występujących w sieci preizolowanej maksymalnych dopuszczalnych naprężeń osiowych oraz wartość pomocnicza **B** służąca do obliczania tej długości dla innych poziomów naprężeń.

Tabela 22: Odkrywanie rurociągów sieci ciepłej

Bezpieczne odkrywanie rurociągów RADPOL						
Rury stalowe					Wartość pomocnicza do wzoru	Długość maksymalna bezpiecznego odkrycia rurociągów
DN	d_o [mm]	t [mm]	A_s [mm ²]	I_y [mm ⁴]	B [·]	L_{op} [mm ²]
20	26,9	2,6	198,5	14 818	10,1	0,7
25	33,7	2,6	254,0	30 927	12,9	0,9
32	42,4	2,6	325,1	64 645	16,5	1,2
40	48,3	2,9	413,6	107 002	18,9	1,4
50	60,3	2,9	522,9	215 924	23,8	1,7
65	76,1	2,9	666,9	447 376	30,4	2,2
80	88,9	3,2	861,6	792 059	35,6	2,6
100	114,3	3,6	1252,0	1 919 837	45,9	3,4
125	139,7	3,6	1539,3	3 566 486	56,4	4,1
150	168,3	4,0	2064,7	6 970 917	68,1	5,0
200	219,1	4,5	3033,8	17 472 396	89,0	6,5
250	273,0	5,0	4209,7	37 808 149	111,1	8,1
300	323,9	5,6	5599,8	70 940 172	132,0	9,6
350	355,6	5,6	6157,5	94 311 187	145,1	10,6
400	406,4	6,3	7918,8	158 494 339	165,9	12,1
450	457,0	6,3	8920,3	226 541 597	186,9	13,7
500	508,0	6,3	9929,7	312 464 883	208,0	15,2
600	610,0	7,1	13447,9	611 102 853	249,9	18,3
700	711,0	8,0	17668,3	1 091 621 511	291,4	21,3
800	813,0	8,8	22232,9	1 797 573 939	333,4	24,4
900	914,0	10,0	28400,0	2 901 471 554	374,8	27,4
1000	1016,0	11,0	34730,3	4 385 335 060	416,6	30,4

11.5.3. Rekultywacja terenu

Częstym zjawiskiem jest przeprowadzanie, przez właścicieli czy zarządców nieruchomości, rekultywacji terenu, której skutkiem wymiernym dla pracy sieci jest zwiększenie lub zmniejszenie naziomu.

(a). zwiększenie naziomu

Rekultywacja powodująca zwiększenie naziomu nad siecią ciepłą może prowadzić do:

- przekroczenia dopuszczalnych naprężeń osiowych w obrębie ścianek rur przewodowych,
- przekroczenia dopuszczalnych naprężeń ścinających w izolacji poliuretanowej, które spowodują odspojenie pianki PUR od osłony HDPE lub rury stalowej. Sytuacja taka prowadzi do zniszczenia układu zespolonego i doprowadza do niekontrolowanej pracy rurociągów.

(b). zmniejszenie naziomu

Rekultywacja powodująca zmniejszenie naziomu nad siecią ciepłą może z kolei prowadzić do:

- zmniejszenia siły tarcia,
- niebezpieczeństwa wybożenia rurociągów,
- zwiększenia wydłużenia rurociągów,
- przeciążenia miejsc odgałęzień,
- zwiększenia obciążeń elementów kompensacyjnych,

- nieprawidłową współpracę rurociągów z otoczeniem poprzez zbyt duże ściśnięcie poduszek kompensacyjnych w miejscu ich zastosowania.

11.5.4. Wykopy prowadzone równoległe do sieci ciepłej

Jeżeli przestrzegane są zasady dotyczące długości bezpiecznego odkrywania rurociągów, w przypadku wykopów równoległych nie są wymagane dodatkowe obostrzenia.

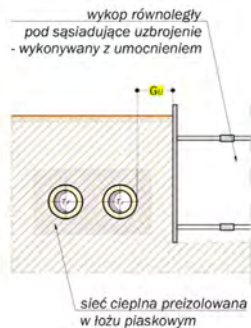
Jeśli jednak długość sąsiadującego wykopu jest większa, od długości L_{od} , należy przestrzegać poniższych zasad, zwracając dodatkowo uwagę, czy w przypadku zmiany kierunku sieci ciepłej (ukosowanie, rury gięte, kolana), wykopy znajdują się po zewnętrznej, czy po wewnętrznej stronie zmiany kierunku.

(a). wykopy umacniane

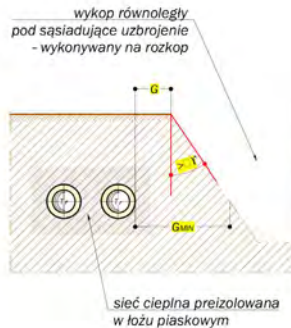
Umocnienie wykopu od strony sieci ciepłej musi być pełne.

Podczas montażu obudowy nie wolno przekraczać bezpiecznej odległości odkrywania rurociągów, a to oznacza, że w przypadku dłuższych odcinków należy wykonywać je częściami.

Należy zachować minimalną odległość pomiędzy rurociągiem sieci ciepłej a obudową wykopu. Odległość ta G_u nie powinna być mniejsza od **0,3 m**.



Rysunek 39: Odległość umocnienia ściany wykopu od pracującej sieci ciepłej



Rysunek 40: Odległość skarpki wykopu równoległego

(b). wykopy nieumacniane – wykonywane na rozkop

W przypadku wykopów nieumocnionych minimalna odległość G krawędzi wykopu od skrajni sieci ciepłej powinna wynosić co najmniej:

- **0,7 m** dla rurociągów preizolowanych o średnicy $\leq DN 150/250$
- **1,0 m** dla rurociągów preizolowanych o średnicy $\leq DN 300/450$

W przypadku kiedy wykop wykonywany jest od strony rurociągu powrotnego, od-

ległość **G** można zmniejszyć o połowę.

Odległość skrajni sieci od skarpy wykopu na poziomie osi rur musi spełniać warunki **G_{MIN}**.

Dla średnic większych (\geq DN 350/500) każdorazowo należy przeprowadzić obliczenia sprawdzające.

(c). składowanie ziemi z wykopu

Składowanie ziemi z wykopu, na terenie, pod którym ułożona została sieć cieplna preizolowana, prowadzi zazwyczaj do przekroczenia dopuszczalnych naprężeń ścinających, powstałych w izolacji poliuretanowej powodując odspojenie pianki **PUR** od osłony **HDPE** lub rury stalowej, niszcząc układ zespolony i doprowadzając do niekontrolowanej pracy rurociągów.

11.6. Układanie rurociągów w terenie zagospodarowanym

11.6.1. Optymalna głębokość układania

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

11.6.2. Układanie równoległe

Sieć cieplną należy projektować, zachowując zalecane minimalne odległości między skrajnią sieci cieplnej 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 podziemne-

go, 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.

11.6.3. 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 **1.5 m**.

Rura krzyżująca musi również być zabezpieczona rurą osłonową.

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

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 Rozporządzenie 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.

11.6.4. Lokalizacja sieci preizolowanej w pobliżu drzew

W przypadku układania sieci ciepłej z wykorzystaniem maksymalnych dopuszczalnych naprężeń należy ograniczyć ich prowadzenie wzdłuż szpalerów drzew, które kołysząc się na wietrze, mogą wpływać na zmianę warunków gruntowych w bezpośrednim sąsiedztwie rurociągów.

11.6.5. 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.

11.7. Zmiana kierunku

11.7.1. 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°**.

W przypadku występowania łuków o kącie odchylenia trasy sieci od **5° ÷ 75°** powinny one być traktowane jako niekompensacyjne.

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.

Tabela 23:
Wydłużenia dopuszczalne

Kąt odchylenia osi sieci	$(W_1 + W_2)_{\text{dop}}$ 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



Rysunek 41: Przesunięcie wierzchołka rurociągu i wydłużenia przeliczeniowe

Wartości W_1 i W_2 można obliczyć na podstawie wzorów:

$$W_1 = \frac{\delta_1}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{\delta_2}{\sin \alpha} \quad (97)$$

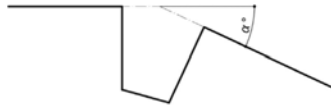
$$W_2 = \frac{\delta_2}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{\delta_1}{\sin \alpha} \quad (98)$$

$$\delta_w = \sqrt{W_1^2 + W_2^2} \quad (99)$$

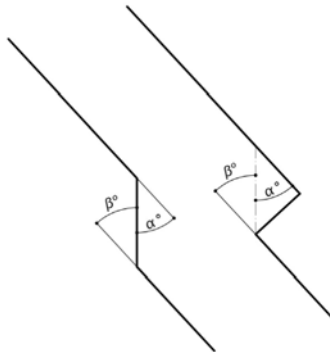
Wartości maksymalnych dopuszczalnych odległości pomiędzy łukami sąsiadującymi dla kątów pośrednich należy wyznaczyć przez interpolację.

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.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie układu zastępczego. Przykładowe rozwiązania przedstawiono na rysunkach poniżej.



Rysunek 42: Układ zastępczy z wykorzystaniem U – kształtu



Rysunek 43: Układ zastępczy z wykorzystaniem Z – kształtu

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

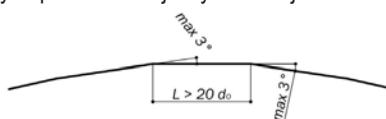
Wszystkie łuki należy obłożyć poduszkami kompensacyjnymi.

11.7.2. Ukosowanie

Z uwagi na trudność wykonania nie zaleca się projektowania niewielkich odchyżeń 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 jednak taka operacja jest konieczna, to maksymalny kąt ukosowania nie może przekroczyć 3% dla każdej średnicy zespołu rurowego.

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



Rysunek 44: Wymagania dotyczące ukosowania

11.7.3. Rury gięte

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



Rysunek 45: Parametry charakterystyczne rury giętej elastycznie

W przypadku małych średnic rur przewodowych gięcie na budowie można wykonać jako gięcie elastyczne bez użycia narzędzi pomocniczych oraz gięcie mechaniczne wykonywane przy zastosowaniu prostych giętarek do rur preizolowanych.

Tabela 24: Rury gięte na budowie

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury gięte elastycznie i mechanicznie na budowie - parametry techniczne dla 12,0 m rury						
	Rury stalowe			Gięcie elastyczne		Gięcie mechaniczne	
	dn	d _o	t	R _{EL} minimalny	α _{EL} maksymalny	R _{ME} minimalny	α _{ME} maksymalny
	[mm]	[mm]	[m]	[°]	[m]	[°]	
DN 20/90	20	26,9	2,6	18,0	38,0 °	-	-
DN 25/90	25	33,7	2,6	23,0	29,0 °	-	-
DN 32/110	32	42,4	2,6	28,0	24,0 °	9,0	76,0 °
DN 40/110	40	48,3	2,9	32,0	21,0 °	11,0	62,0 °
DN 50/125	50	60,3	2,9	41,0	16,0 °	13,0	52,0 °
DN 65/140	65	76,1	2,9	51,0	13,0 °	17,0	40,0 °
DN 80/160	80	88,9	3,2	60,0	11,0 °	20,0	34,0 °

Do obliczenia minimalnego promienia elastycznego gięcia rury należy posłużyć

się wzorem:

$$R_{EL} = \frac{E \cdot d_o}{1,3 \cdot R_c} \quad (100)$$

a dla gięcia mechanicznego

$$R_{ME} = \frac{E \cdot d_o}{4,0 \cdot R_c} \quad (101)$$

Maksymalny kąt gięcia obliczono na podstawie:

$$\alpha = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot R_{MIN}} \quad (102)$$

Projektując zastosowanie rur giętych, należy rozpocząć od określenia wymaganego kąta zmiany kierunku trasy – α i na tej podstawie określić wymagany promień gięcia R

$$R = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot \alpha} \geq R_{MIN} \quad (103)$$

dobierając odpowiednią długość odcinka giętego L , aby nie został przekroczony minimalny promień gięcia dla danej średnicy i przyjętej metody gięcia.

Ponadto produkowane są rury gięte fabrycznie, których parametry techniczne przedstawiono w poniższej tabeli. Przedstawione w tabeli minimalne promienie gięcia fabrycznego obliczono na podstawie wzoru:

$$R_{FA} = \frac{4 \cdot A_s \cdot \sigma_{DOP}}{\pi \cdot d_a \cdot \sigma_{PUR}} \quad (104)$$

Różnica w gięciu między rurami giętymi elastycznie a rurami giętymi fabrycznie jest taka, że rury gięte elastycznie w wykopie odkształcają się na całej długości (od spawu do spawu), natomiast rury gięte fabrycznie ze względów montażowych posiadają z obu stron odcinki proste o długości około **1,0 m**. To oznacza, że rura o długości **l=12,0 m** gięta fabrycznie posiada krzywiznę o długości łuku około **10,0 m**.

Tabela 25: Rury gięte elastycznie i fabrycznie

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury gięte elastycznie i fabrycznie – parametry techniczne dla 12,0 m rury						
	Rury stalowe			Gięcia elastyczne		Gięcia fabryczne	
	dn	d _o [mm]	t [mm]	R _{EL} minimalny [m]	α _{EL} maksymalny [°]	R _{FA} minimalny [m]	α _{FA} maksymalny [°]
DN 20/90	20	26,9	2,6	18,0	38,0 °	12,0	47,0 °
DN 25/90	25	33,7	2,6	23,0	29,0 °	12,0	47,0 °
DN 32/110	32	42,4	2,6	28,0	24,0 °	12,0	47,0 °
DN 40/110	40	48,3	2,9	32,0	21,0 °	14,0	40,0 °
DN 50/125	50	60,3	2,9	41,0	16,0 °	14,0	40,0 °
DN 65/140	65	76,1	2,9	51,0	13,0 °	14,0	40,0 °
DN 80/160	80	88,9	3,2	60,0	11,0 °	15,0	38,0 °
DN 100/200	100	114,3	3,6	77,0	8,0 °	17,0	33,0 °
DN 125/225	125	139,7	3,6	94,0	7,0 °	18,0	31,0 °
DN 150/250	150	168,3	4,0	113,0	6,0 °	20,0	28,0 °
DN 200/315	200	219,1	4,5	147,0	4,0 °	22,0	26,0 °
DN 250/400	250	273,0	5,0	183,0	3,0 °	25,0	22,0 °
DN 300/450	300	323,9	5,6	218,0	3,0 °	27,0	21,0 °

11.8. 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 z boczem (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.

11.9. Redukcje średnic

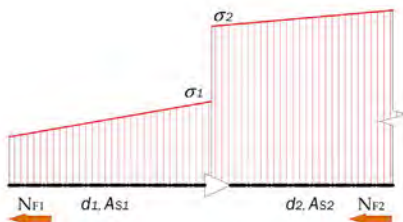
Zwężki należy projektować za odgałęzieniami oraz za przewidywanymi w przyszłości planowanymi miejscami odgałęzień od sieci.

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.



Rysunek 46: Lokalizacja zwężki w zależności od przebiegu średnic rur przewodowych

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.



Rysunek 47: Skokowy wzrost naprężeń na zwężce

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 $\leq 150 \text{ MPa}$, dopuszcza się zastosowanie redukcji o dwie dymensje;
- odległość między dwoma zwężkami w miejscu, gdzie na rurociągu o mniejszej średnicy wystąpią naprężenia $\leq 150 \text{ MPa}$, nie może być mniejsza niż 6,0 m;
- w przypadku redukcji w miejscu, gdzie na rurociągu o mniejszej średnicy wystąpią naprężenia $> 150 \text{ MPa}$ dopuszcza się zastosowanie redukcji o jedną średnicę. Większą zmianę średnicy należy uzyskać, stosując kilka zwęzek jednostopniowych.

W przypadku konieczności stosowania większych redukcji w jednym miejscu należy je zabezpieczać, stosując rzeczywiste punkty stałe.

W przypadku rurociągów małych średnic, o średnicy zewnętrznej osłony polietylenowej $D_c < 315 \text{ mm}$ dopuszcza się projektowanie redukcji stalowych w obrębie połączenia rur i elementów preizolowanych o różnych średnicach rur przewodowych.

Przy równoczesnej zmianie średnicy osłon, do izolacji połączenia takich elementów preizolowanych należy użyć termokurczliwych muf redukcyjnych.

Zasady stosowania redukcji w mufach są zgodne z zapisami związanymi ze zwężkami preizolowanymi.

Nie zaleca się stosowania zwęzek innych niż symetryczne.

11.10. Odgałęzienia

Ponieważ odgałęzienia są elementami systemu narażonymi na wysokie wartości obciążeń, należy dokonać dogłębnej analizy w celu określenia, który model odgałęzienia zostanie wybrany.

11.10.1. Boczne

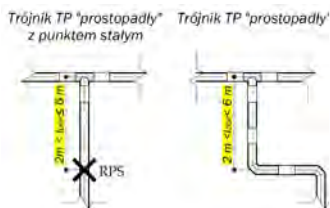
Odgałęzienie boczne $T-45^\circ$ jest najprostszym i najbardziej naturalnym sposobem wykonania odejścia.

Odległość od miejsca odgałęzienia do zlokalizowania wolnego końca nie powinna być mniejsza niż **2,0 m** i większa niż **6,0 m** w zależności od stosunku średnicy przelotu do średnicy odgałęzienia. Stosowanie większych długości należy sprawdzić obliczeniowo.

Ze względu na brak kompensacji na elemencie kolanka 45° , niezależnie od temperatury roboczej, w przypadku większych odległości, po maksymalnie **6 m** musi zostać wykonany punkt stały. Stosowanie punktu stałego należy zweryfikować obliczeniowo.

Odgałęzienie boczne sieci powinno być wykonane w sposób umożliwiający zmniejszenie jego oddziaływania na punkt włączenia w rurociąg główny, a dobre długości odcinków powinny spełniać wymagania kompensacji dla przemieszczeń rurociągu głównego i odgałęzienia.

Nie dopuszcza się stosowania odgałęzień bocznych o długościach prostych odcinków przekraczających **12 m**, licząc od punktu włączenia w rurociąg główny do pierwszego łuku.



Rysunek 48: Odgałęzienie boczne

11.10.2. Równoległe

Większość odgałęzień „do góry” można wykonać, zastępując trójnik odgałęzienia bocznego, trójnikiem równoległym, zwłaszcza jeśli wymagane są odgałęzienia większej długości. Przy takim odgałęzieniu tworzy się automatycznie kompensacja „L” - kształtowa, która chroni trójnik.

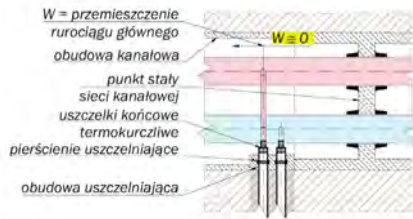
Odcinek równoległy powinien być dobrany jako element kompensacyjny, z tym że **L-kształt** nie powinien być krótszy niż **2,0 m** i jednocześnie nie powinien być dłuższy niż **6 m**. Takie ramiona kompensacji, zwłaszcza w przypadku mniejszych średnic, umożliwiają poprowadzenie prostopadłych odcinków do rurociągu głównego o znacznych długościach. Długość odcinka równoległego powinna być równa długości ramienia kompensacyjnego L_k powiększonego o **1,0 m**.

Długość odcinka równoległego zależy od długości odcinka prostopadłego do rurociągu głównego, jednak w większości przypadków i krótkich odgałęzieniach, odcinek równoległy nie musi być dłuższy niż **1,50 m** (trójnik+kolano). Wymagane jest obłożenie matami kompensacyjnymi rurociągu odgałęzienia na odcinku pionowym oraz poziomego odcinka będącego jego przedłużeniem (zgodnie z zasadami zachowania kompensacji). Nie należy projektować trójników równoległych odgałęzionych „do dołu”.



Rysunek 49: Odgałęzienie równoległe

11.10.3. Odgałęzienia od sieci kanałowej



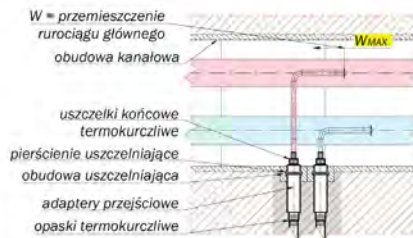
Rysunek 50: Odgałęzienie od sieci kanałowej w miejscu lokalizacji punktu stałego – $W=0$

Sposób odgałęzienia sieci preizolowanej od sieci wykonanej w technologii kanałowej uzależniony jest od odległości miejsca włączenia od punktu stałego sieci kanałowej.

Wykonanie odgałęzienia poprzez bezpośrednie wstawanie, można dokonać zarówno w komorze, jak i w obrębie kanału. W takim przypadku grubość ścianki rurociągu odgałęzienia nie może być mniejsza niż **80%** grubości ścianki rury głównej.

W przypadku włączania w bezpośredniej bliskości punktu stałego, gdzie wydłużenie rurociągu sieci kanałowej jest bliski zeru, odgałęzienie należy projektować zgodnie z zasadami odgałęzienia bocznego.

Oddalając się od punktu stałego, przy wzroście wydłużenia wskazane jest zastosowanie adapterów przejściowych i odgałęzienia równoległego.



Rysunek 51: Odgałęzienie od sieci kanałowej z zastosowaniem adapteru – $W>0$

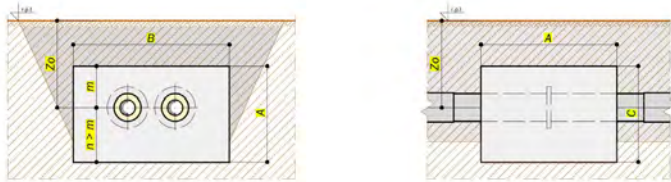
Przejścia przez ściany kanału czy komory należy wykonywać zgodnie z ogólnymi zasadami przechodzenia rurociągów preizolowanych przez przegrody budowlane.

11.10.4. Nisze kanałowe

W przypadku projektowania odgałęzienia rurociągów preizolowanych od sieci kanałowej, w miejscu o znacznym przemieszczeniu osiowym rurociągów głównych, przekraczającym możliwości stosowania adapterów, należy projektować odgałęzienia w niszach kanałowych lub, o ile obliczenia sprawdzające na to pozwolą, przerwać kanał i wstawić trójnik preizolowany.

11.11. Rzeczywiste punkty stałe

W projektowaniu rurociągów preizolowanych, z uwagi na ich wielkość i trudność w ich lokalizacji w uzbrojonym terenie należy unikać stosowania rzeczywistych punktów stałych **RPS**, a w przypadku konieczności ich zastosowania wskazane jest, aby projekt został opracowany indywidualnie z dostosowaniem do istniejącej sytuacji w terenie.

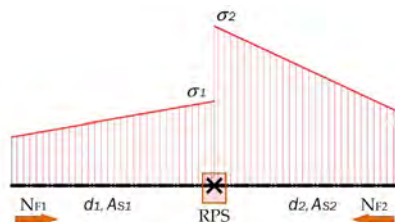


Rysunek 52: Rzeczywisty punkt stały w gruncie

Czasami jednak występuje konieczność zastosowania rzeczywistych punktów stałych, które w technologii bezkanałowej, występują zazwyczaj w postaci bloków żelbetowych o znacznych rozmiarach. Służą one do zabezpieczenia:

- kompensatorów mieszczonych przed zmianami spowodowanymi zjawiskiem „płynięcia”;
- zastosowanej znacznej redukcji rury przewodowej;
- miejsca odgałęzienia wykonywanego bez połączenia elastycznego;
- rurociągów sieci kanałowych przed oddziaływaniem rurociągów sieci bezkanałowych zmieniających rozkłady sił w istniejących układach;
- układów kolan o niedostatecznej zdolności kompensacyjnej w stosunku do potrzeb układanych rurociągów;
- ponadto do wyeliminowania kolan kompensacyjnych i unieruchamianiu rurociągów na załamaniach.

Projektowany rzeczywisty punkt stały powinien zapewnić unieruchomienie rurociągów w zaprojektowanym miejscu tak, aby siły od rurociągów działające na niego z jednej strony nie przenosiły się na rurociągi po jego drugiej stronie.



Rysunek 53: Obciążenia rzeczywistego punktu stałego

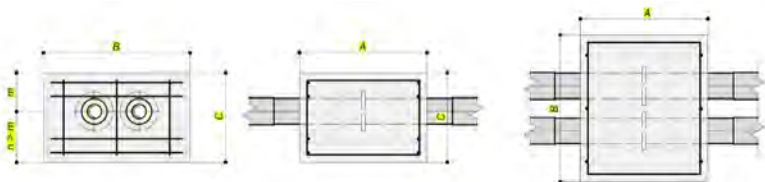
Dla potrzeb niewielkich sieci poniżej w tabeli przedstawiono wymiary bloków betonowych punktów stałych dla rurociągów o średnicach $dn \leq 300$ mm.

Tabela 26: Typowe wielkości rzeczywistych punktów stałych

SERIA 1 Izolacja STANDARD	Rury stalowe			Siła $F_{całk}$ [kN]	Wymiary punktu stałego			Zbrojenie Φ [mm]
	dn	d_o [mm]	t [mm]		A [m]	B [m]	C [m]	
DN 20/90	20	26,9	2,6	120,0	0,5	0,7	0,5	8,0
DN 25/90	25	33,7	2,6	120,0	0,5	0,7	0,5	8,0
DN 32/110	32	42,4	2,6	120,0	0,5	0,7	0,5	8,0
DN 40/110	40	48,3	2,9	140,0	0,5	0,8	0,6	8,0
DN 50/125	50	60,3	2,9	200,0	0,7	1,0	0,6	12,0
DN 65/140	65	76,1	2,9	260,0	0,9	1,0	0,7	12,0
DN 80/160	80	88,9	3,2	340,0	1,0	1,2	0,8	12,0
DN 100/200	100	114,3	3,6	470,0	1,1	1,5	0,9	12,0
DN 125/225	125	139,7	3,6	580,0	1,1	1,6	1,1	12,0
DN 150/250	150	168,3	4,0	790,0	1,2	1,9	1,2	20,0
DN 200/315	200	219,1	4,5	1200,0	1,2	3,1	1,4	20,0
DN 250/400	250	273,0	5,0	1600,0	1,2	4,1	1,4	20,0
DN 300/450	300	323,9	5,6	2100,0	1,2	4,7	1,4	20,0

Wszystkie bloki betonowe zostały obliczone przy uwzględnieniu następujących parametrów:

- ciśnienie wewnętrzne w rurociągu zasilającym i powrotnym – **1,6 MPa**
- przykrycie rurociągów – **0,8 m**
- naprężenia ściskające gruntu – **150 kN/m²**
- współczynnik tarcia pomiędzy gruntem i betonem – **0,8**
- względne przemieszczenie bloku betonowego – **2 %**
- siła powierzchniowa na blok betonowy – **25 MN/m²**



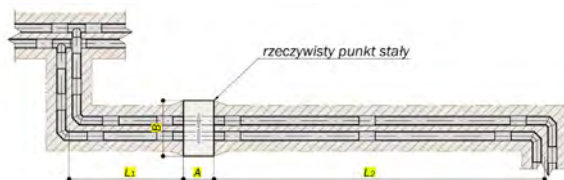
Rysunek 54: Wielkość rzeczywistego punktu stałego wraz ze zbrojeniem – rysunek do tabeli

Minimalna grubość warstwy betonu pokrywającej zbrojenie od powierzchni zewnętrznej wynosi **50 mm**.

Beton musi być właściwie związany, zanim blok betonowy zostanie poddany działaniu sił.

Gdy w projekcie występuje inne przykrycie i inne długości rurociągów niż długości maksymalne wynikające z naprężeń dopuszczalnych, zaleca się dokonać przeliczenia wymiarów bloku betonowego.

Określenie wymiarów bloku betonowego dla innej niż obliczeniowa długości rurociągu można wykonać następująco:



Rysunek 55: Schemat lokalizacji rzeczywistego punktu stałego RPS

dla

$$L_1 < L_2 \quad (105)$$

współczynnik zmniejszający wynosi:

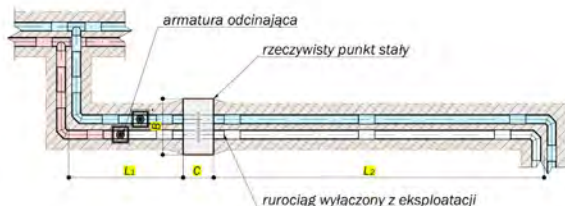
$$y_\mu = \frac{L_2 - L_1}{L_{MAX}} \quad (106)$$

Stosując ten współczynnik, możemy zmienić wysokość (=C lub szerokość (=B :

$$B' = y_\mu \cdot B \quad (107)$$

$$C' = y_\mu \cdot C \quad (108)$$

Należy dodatkowo zwrócić uwagę, że projektując w okolicy punktu stałego armaturę odcinającą, może ona, podczas wyłączenia z eksploatacji odcinka rurociągu (zwłaszcza w przypadku rurociągu zasilającego o wysokim ciśnieniu) wpłynąć na rozkład sił działających na punkt stały. Ma to miejsce zwłaszcza wtedy gdy mamy do czynienia z rurociągami większych średnic a punkt stały zabezpiecza kompensację i przylegają do niego krótkie odcinki L_1 i L_2 – patrz rysunek poniżej.

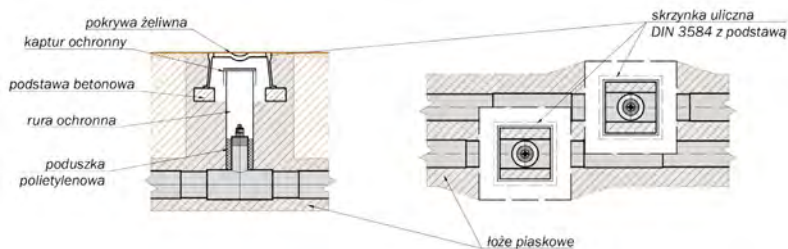


Rysunek 56: Rzeczywisty punkt stały nieodciążony

11.12. Armatura odcinająca

Armaturę zaporową (odcinającą) instalowaną na sieciach ciepłych należy projektować w miejscach uzasadnionych względami eksploatacyjnymi, lecz zawsze poza strefami kompensacyjnymi.

Trzpienie armatury preizolowanej należy umieszczać w specjalnie wykonanych obudowach z trzpieniami w rurach osłonowych wyposażonych w kołpaki zabezpieczające oraz poduszki kompensacyjne uwzględniające możliwość przemieszczania się rurociągów.



Rysunek 57: Montaż armatury odcinającej w miejscu nienarażonym na przemieszczenia

Preizolowane zawory kulowe mogą być instalowane w dowolnym miejscu rurociągu, który został zaprojektowany z ograniczeniem naprężeń.

Armaturę należy lokalizować poza obszarem dróg o dużych obciążeniach komunikacyjnych.

Jeżeli lokalizacja taka jest nieunikniona, należy obudowy trzpieni montować na odpowiednio dobranych żelbetowych płytach odciążających.

W przypadku montowania armatury na odgałęzieniach od rurociągu głównego, w miejscu odgałęzienia elastycznego, element odcinający powinien być zlokalizowany jak najbliżej naturalnego punktu stałego.

Dokumentacja projektowa dotycząca armatury preizolowanej powinna zawierać:

- rozwiązania konstrukcyjne studzienek umożliwiających dostęp do armatury w celu jej obsługi (otwierania/zamykania),
- informacje o sposobie obsługi: za pomocą klucza, przekładni stałej lub przenośnej, rodzaju i stopniu przełożenia przekładni,
- umiejscowienie armatury w odniesieniu do stref kompensacji.

Ze względów eksploatacyjnych zaleca się, aby armatura odcinająca poza obrębem rurociągu preizolowanego (w panelu odpowietrzającym/ odwadniającym „górnym”) oraz trzpień armatury odcinającej preizolowanej zamontowane w studzience, były zabezpieczone kołpakiem ochronnym.

Kołpak nie powinien być mocowany, lecz jedynie luźno założony na rurę zabezpieczającą trzpień zaworu lub na rurę zabezpieczającą zawór odcinający odpowietrzenia/

odwodnienia. Powinien być wykonany z tworzywa sztucznego i odpowiednio dociążony, w celu zagwarantowania pełnej ochrony armatury w przypadku zalania studzienki wodą zewnętrzną – opadową lub gruntową, z przymocowanym uchwytem do podnoszenia. Jako kołpak ochronny można użyć elementu **HDPE** mufy końcowej.

Obudowę studzienną należy wypełnić warstwą piasku (do wysokości około 20 do 30 cm od spodu obudowy) i dopełnić żwirem do poziomu kaptura zabezpieczającego. Do obudów należy projektować włazy dostosowane do nawierzchni występującej w miejscu montażu zaworu.

Dla potrzeb ułatwienia zlokalizowania tak zamontowanej armatury w terenie należy przewidzieć umieszczenie stosownej tabliczki z pomiarami, umieszczonej na najbliższym trwałym obiekcie (budynku, ogrodzeniu itp.), lub na słupku.

Zawory o średnicy do **DN 125 mm**, jako preizolowane należy projektować jako otwierane kluczem „T”, natomiast zawory o większej średnicy należy projektować z przekładniami ślimakowymi lub jako przystosowane do przekładni przenośnych – planetarnych.

W przypadku armatury o mniejszej średnicy nominalnej trzpienie można obudowywać w wspólnej obudowie łącznie z króćcami odpowietrzającymi czy odwadniającymi.

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

Ze względu na naprężenia rozciągające w rurociągach preizolowanych występujące podczas ochładzania należy stosować w komorach armaturę z końcówkami do spawania.

11.13. Odpowietrzenia

Odpowietrzenie ma na celu umożliwienie usunięcia powietrza z przewodów sieci ciepłej podczas wykonywania prób wodnych ciśnieniowych, eksploatacji sieci oraz napowietrzenie przewodów podczas ich odwadniania.

Kształtując geometrycznie układanie sieci (profile), należy dążyć do maksymalnego wykorzystania możliwości ich odpowietrzenia w pomieszczeniach węzłów ciepłych lub w komorach z armaturą zaporowa.

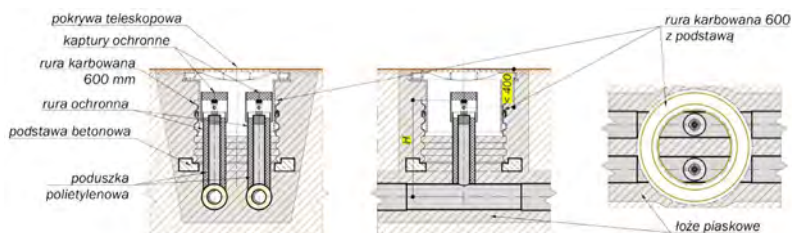
W sytuacji braku takich możliwości trójniki z zaworami kulowymi do odpowietrzeń mogą być instalowane w dowolnym miejscu rurociągu. Należy je projektować w lekkich obudowach np. **Ø 425 mm** wykonanych z rur karbowanych systemów kanalizacyjnych, z włazami dostosowanymi do nawierzchni istniejącej w miejscu montażu obudowy.

W przypadku niewielkich średnic odpowietrzenia rurociągu zasilającego i powrotnego można umieszczać we wspólnej obudowie studziennej.

Dla umożliwienia wykonywania czynności manipulacyjnych z poziomu terenu pionowa odległość od wierzchu wjazdu do dźwigni zaworów odpowietrzeń nie może przekraczać:

- 400 mm — w przypadku zabudowania ich we wspólnej studni czy obudowie studziennej;
- 300 mm — w przypadku zabudowania ich w oddzielne studnie bądź obudowy studzienne.

Odpowietrzenia wyposażone są w zawory serwisowe. Korpusy zaworów wykonane są ze stali nierdzewnej i posiadają gwint wewnętrzny zabezpieczony korkiem. W gwincie korka wykonany jest otwór umożliwiający w łatwy i bezpieczny sposób odpowietrzenie sieci.



Rysunek 58: Montaż odpowietrzeń preizolowanych we wspólnej obudowie studziennej

Należy uwzględnić możliwość wystąpienia ruchu króćca odpowietrzenia wewnątrz obudowy studziennej wywołanego przemieszczaniem się rurociągu głównego i bezwzględnie zabezpieczyć odgałęzienie odpowietrzenia:

- polietylenowymi poduszkami kompensacyjnymi o grubości dostosowanej do występującego przemieszczenia **co najmniej 40 mm** — naokoło, na całej wysokości osłony polietylenowej króćca);
- kołpakiem (kapturem) zabezpieczającym zawór odpowietrzający.

W wyjątkowych przypadkach element preizolowany "trójnik odpowietrzenia" może zostać na etapie realizacji zadania zastąpiony specjalnie wykonanym króćcem odpowietrzającym.

Wskazane jest projektowanie stosowania zaworów serwisowych z podwyższoną zawartością chromu, molibdenu i tytanu.

Nie dopuszcza się stosowania, jako obudów armatury, skrzynek ulicznych.

11.14. Odwodnienia

Rurociągi sieci ciepłowniczej należy układać ze spadkiem umożliwiającym ich odwodnienie.

Projekt powinien zawierać rozwiązanie sposobu odprowadzenia wody sieciowej zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Doświadczenie eksploatacyjne wykazuje, że nie w każdym najniższym punkcie rurociągu potrzebne jest zainstalowanie odwodnienia. W przypadku rurociągów preizolowanych o niewielkich średnicach **do DN 125**), odwodnienia należy stosować jedynie wówczas, gdy przewidywana ilość usuwanej wody (pojemność odwadnianego rurociągu) jest większa niż **2 m³**.

Usunięcie wody odbywać się może zarówno w sposób grawitacyjny z odprowadzeniem wody sieciowej do studni (tzw. odwodnienie „do studni”) – jak i poprzez „wydmuchanie” wody sieciowej sprężonym powietrzem.

11.14.1. Do góry

Kształtki odwodnień wyposażone są w zawory o średnicy:

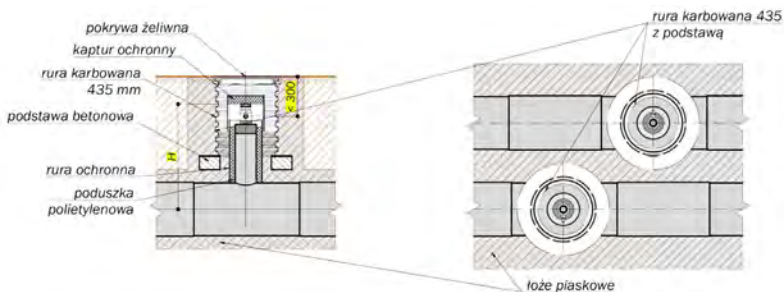
- dn 20, 25, 32 i 40 – 25 mm
- dn 50, 65, 80 i 100 – 32 mm
- dn 125, 150 i 200 – 50 mm

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

Odwodnienia rurociągów o większych średnicach należy projektować indywidualnie.

Podobnie jak w przypadku odpowietrzeń należy je projektować w lekkich obudowach np. **Ø 425 mm** wykonanych z rur karbowanych systemów kanalizacyjnych, z włazami dostosowanymi do nawierzchni istniejącej w miejscu montażu obudowy.

W przypadku niewielkich średnic odwodnienia rurociągu zasilającego i powrotnego można umieszczać we wspólnej obudowie studziennej.



Rysunek 59: Montaż odwodnień pionowych w oddzielnych obudowach

Nie dopuszcza się stosowania, jako obudów armatury, skrzynek ulicznych.

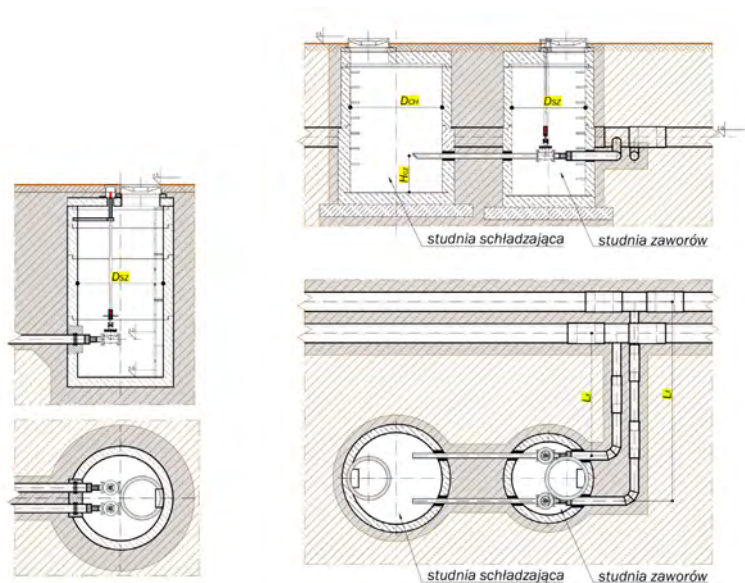
Przy projektowaniu odwodnień „do góry” należy:

- upewnić się, czy użytkownik sieci jest przygotowany do odwadniania sieci w ten właśnie sposób,
- na końcówce gwintowanej zaworu przewidzieć element uniemożliwiający wypływ wody pionowo w górę.
- projektować zastosowanie zaworów serwisowych z podwyższoną zawartością chromu, molibdenu i tytanu.

11.14.2. Grawitacyjne – do dołu

Tradycyjnie stosowane odwodnienie grawitacyjne „do dołu” powinny zostać wykonane w jednej z dwóch wersji:

- do studni zaworów – gdzie można podłączyć węże do odprowadzenia wody – odwodnienie to należy wspomóc podłączeniem sprężarki do króćców odpowietrzających,
- do zestawu studni odwadniających – studni zaworów i studni schładzającej. Upuszczany z rurociągu czynnik grzewczy, ze studni zaworów poprzez rury stalowe, powinien być wyprowadzony do drugiej studni — studni schładzającej.



Rysunek 60:
Studnia zaworów

Rysunek 61:
Odwodnienie ze studnią zaworów i studnią schładzającą

Głębokość studni schładzającej powinna być tak dobrana, aby pionowa odległość od spodu zewnętrznej powierzchni osłony rurociągu do dna studni nie była mniejsza niż 500 mm.

Studnia schładzająca musi być wykonana jako studnia „szczelna”.

Należy dobrać właściwą objętość czynną studni schładzającej, której średnica musi być dobrana do możliwości terenowych i gruntowych.

Minimalna objętość czynna studni schładzającej powinna wynosić **1,5 m³**.

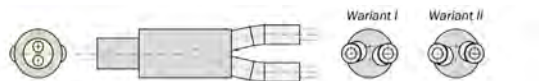
Podłączenie odwodnienia „do studni” powinno mieć długość zapewniającą kompensację przemieszczenia przewodu odwadnianego w miejscu włączenia odwodnienia.

11.15. Połączenia z elementami systemu RURY PODWÓJNE (TWIN PIPE)

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

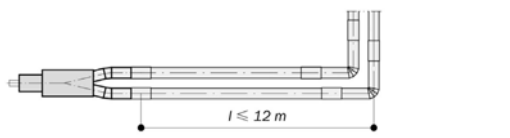
Połączenie wymaga zastosowania specjalistycznej kształtki.

Obecnie dostępne są kształtki „**typ Y**”.



Rysunek 62: Kształtka przejściowa TWIN PIPE - rury podwójne na rury pojedyncze – 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 63: Warunek łączenia rurociągów TWIN PIPE z rurociągami wg PN-EN 253

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



Rysunek 64: Kształtka przejściowa TWIN PIPE - rury podwójne na rury pojedyncze – typ F

11.16. Izolacja połączeń elementów preizolowanych

Dobór odpowiedniego rodzaju złącza izolacyjnego powinien uwzględniać jego odporność na warunki montażu, warunki gruntowe, poziom wody gruntowej, wielkość sił działających na płaszcz osłonowy, średnicę zewnętrzną płaszczka, doświadczenia własne wykonawcy i inwestora.

Montaż złączy nie należy wykonywać podczas wilgotnej pogody i deszczu. W szczególnych przypadkach dopuszcza się wykonanie montażu złączy z zastosowaniem zabezpieczenia w postaci namiotów montażowych oraz obowiązkowego osuszenia obszarów złącza.

Można stosować:

- mufy nasuwkowe – termokurczliwe sieciowane radiacyjnie,
- mufy redukcyjne – termokurczliwe sieciowane radiacyjnie,
- mufy kolanowe – termokurczliwe sieciowane radiacyjnie,
- mufy otwarte – elektrogrzewane.

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

W zakresie średnic osłon polietylenowych do **Dc = 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.

Wszystkie złącza po zainstalowaniu osłony przed zaizolowaniem płynną pianką PUR, powinny być poddane próbie szczelności.

Długość mufy powinna być uzależniona od długości bosych końców elementów preizolowanych. Bosych końców rur po oczyszczeniu a przed zaizolowaniem płynną pianką PUR, nie wolno malować.

Bezwzględnie nie dopuszcza się skracania muf termokurczliwych.

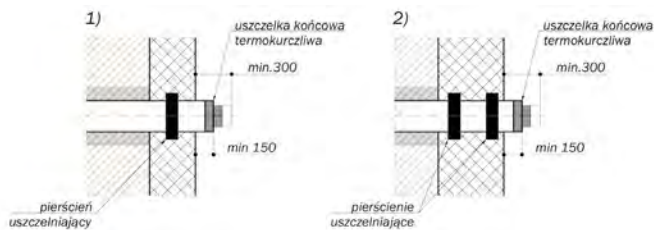
11.17. Przejścia przez przegrody budowlane

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**).

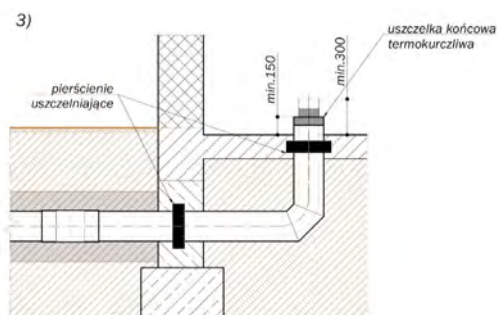
W zależności od geometrii sieci i przewidywanych kierunków przemieszczeń rurociągów należy stosować:

- w miejscach, gdzie nie wystąpią przemieszczenia osiowe i poprzeczne – pojedyncze pierścienie gumowe o średnicy dostosowanej do zewnętrznej średnicy rury płaszczowej,
- w miejscach, przewidywanych przemieszczeń osiowych – podwójne uszczelnienie,
- w przypadku przemieszczeń poprzecznych – adaptery przejściowe.



Rysunek 65: Przejścia rurociągów przez ścianę budynku z wykorzystaniem pierścieni uszczelniających

Przez ścianę budynku można również wejść przy zastosowaniu kolana.



Rysunek 66: Uszczelnienie przejść rurociągów przez ścianę i posadzkę

Dodatkowe uszczelnienie nie jest wymagane w przypadku przejść przez ściany komór.

W przypadku występowania wód gruntowych uszczelnienie należy dostosować do zaistniałych warunków.

Na końcówkach rur preizolowanych w obiektach kubaturowych należy przewidzieć montaż końcówek termokurczliwych.

Polietylenowa osłona elementów preizolowanych powinna być wprowadzona na **minimum 15 cm** do wewnątrz, poza obrys ściany czy przegrody obiektu.

11.17.1. Pierścienie uszczelniające

Pierścień uszczelniający jako podstawowe uszczelnienie przejścia przez przegrody budowlane powinien być wykonany z materiałów o zwiększonej odporności na warunki zewnętrzne związane z miejscem jego montażu oraz zachowywać elastyczność przez minimalny wymagany okres żywotności sieci cieplnej preizolowanej.

Dodatkowymi uszczelnieniami zewnętrznymi przy przejściach przez ściany budynków powinny być uszczelnienia **typu WGC**.

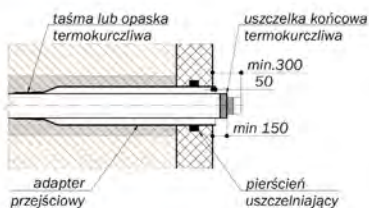
11.17.2. Uszczelki końcowe termokurczliwe - rękawy kończące

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.

11.17.3. Adaptery przejściowe

W przypadku przekraczania przegrody budowlanej, ściany betonowej obudowy kanałowej, w miejscu, w którym rurociąg preizolowany będzie podlegał ruchom poprzecznym, dopuszcza się stosowanie adapterów uszczelniających.

Uszczelnienie między adapterem a przegrodą budowlaną należy wykonać analogicznie do wykonania uszczelnienia rury preizolowanej w ścianie.



Rysunek 67: Przejście przez ścianę z wykorzystaniem adaptera

11.18. Podgrzew wstępny

Podgrzew wstępny (preheating) to technika mająca na celu wywołanie w ściankach rur przewodowych niezasypanych rurociągów preizolowanych, częściowych odkształceń termicznych tak, aby po ich zasypaniu i uruchomieniu sieci ciepłej, resztkowe odkształcenia nie spowodowały przekroczenia naprężeń dopuszczalnych.

Jeśli podgrzany rurociąg zasypiemy, zachowując wszelkie reżimy przyjętej technologii, to rurociąg taki po obniżeniu temperatury będzie dążył do „skurczenia się”, gdyż wykonana zasyпка, poprzez płaszcz osłonowy i izolację termiczną (system zespolony) będzie temu przeciwdziałać, co wywoła w ściance rurociągu naprężenia osiowe – rozciągające.

Przystępując do podgrzania rurociągu (praca sieci) do momentu osiągnięcia temperatury, w jakiej rurociąg był zasypany, czyli temperatury podgrzewu, wartość naprężeń osiowych w ściance rury stalowej będzie maleć. Przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych, kiedy temperatura czynnika będzie nadal rosła, w ściance rury pojawiają się naprężenia ściskające. Projektując podgrzew wstępny, należy pamiętać, że:

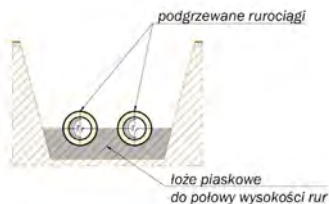
- maksymalna temperatura robocza **153° C**
- temperatura podgrzewu wstępnego zasilania i powrotu – to minimalnie **50° C** i maksymalnie **83° C**,
- temperatura podgrzewu powinna być równa połowie różnicy temperatur roboczej i zasyпки,
- maksymalnie ciśnienie obliczeniowe rurociągów – **PN 25**.

Wymagane jest, aby wykonanie łoża piaskowego oraz zasypywanie wykopów następowało przy stałej oraz identycznej temperaturze podgrzewu wstępnego dla rurociągów zasilających i powrotnych.

Redukcja średnicy o wiele dymensji są w strefie hamowania niedopuszczalne, natomiast redukcja o jedną dymensję jest możliwa ze względu na dość szybkie wyrównanie szczytowego wzrostu naprężeń.

Aby zagwarantować bezproblemowy przebieg podgrzewu wstępnego, w projekcie należy przygotować założenia dokładnego planu działania – koncepcję i szczegółowy harmonogram prac. Muszą być wyznaczone i ustalone:

- metoda wykonania podgrzewu wstępnego,
- podział sieci na poszczególne odcinki oraz określenie ich długości,
- kierunki spadków odcinków rurociągów – **przynajmniej 3 ‰**,
- możliwość przyłączenia wody i prądu dla każdego odcinka,
- miejsce ustawienia agregatu lub miejsca jego podłączenia dla każdego odcinka,
- usytuowanie przyzmi piasku, urządzeń pomiarowych i materiałów pomocniczych przy każdym odcinku,
- kolejność i czas podgrzewu wstępnego poszczególnych odcinków,
- czy trasy odgałęziające należy zasypać, czy nie?,
- które przejścia przez ścianę nie mogą zostać zamocowane na stałe lub zabetonowane?



Rysunek 68: Przygotowanie rurociągów do podgrzewu wstępnego – obsypka piaskowa

Po zamontowaniu rurociągów a przed przystąpieniem do podgrzewu wstępnego należy dokonać częściowego (do połowy wysokości płaszcza osłonowego) zasypania rurociągów (jak na rysunku) oraz utworzenia pozornego punktu stałego przez całkowite zasypanie części rurociągów.



Rysunek 69: Przygotowanie rurociągów do podgrzewu wstępnego – pozorny punkt stały

Do zalet podgrzewu wstępnego należy zaliczyć:

- możliwość utrzymania niskiego poziomu naprężeń ściskających niż w innych technikach,
- unieruchomienie znacznego odcinka rurociągu,
- redukcja ilości połączeń spawanych,
- możliwość wykonywania odgałęzień w „dowolnym” miejscu,
- wysoka stateczność rurociągu,
- teoretycznie dostępny dla każdej średnicy,
- przedłużenie żywotności rurociągów,
- dostępny w większości realizowanych sieci,
- redukcja grubości poduszek kompensacyjnych,
- redukcja wydłużeń eksploatacyjnych (w przypadku podgrzewu elektrycznego),
- możliwość prowadzenia, w okresie poza sezonem grzewczym, robót ziemnych w pobliżu sieci bez ryzyka wybożenia rurociągów,
- możliwość wykonywania fragmentarycznie z podziałem rurociągów na sekcje w przypadku podgrzewu elektrycznego).

Istotną wadą podgrzewu wstępnego jest konieczność utrzymania odkrytego wykopu do zakończenia prac związanych z podgrzewem sekcji rurociągów i jej zasypania, natomiast do niedogodności w okresie eksploatacyjnym, należy uznać brak możliwości swobodnego rozcinania rurociągów bez stosowania technik zabezpieczających.

11.18.1. Podgrzew czynnikiem grzewczym

Metoda ta przydatna jest zawsze wtedy, gdy odcinek podgrzewany jest przyłączeniowo bezpośrednio do istniejącej sieci i przed ostatecznym uruchomieniem trasy nie jest konieczne opróżnienie rurociągów.

Dodatkowym warunkiem, jaki należy spełnić, jest możliwość regulacji temperatury czynnika do temperatury potrzebnej dla naprężania wstępnego, zarówno dla rurociągu zasilającego, jak i powrotnego.

11.18.2. Podgrzew parą

Pod względem użytecznego przesyłu ciepła, para wodna oddaje 15 razy więcej ciepła niż woda. Dlatego dużą korzyścią tego sposobu podgrzewu wstępnego jest niskie zużycie wody oraz znacząco krótszy czas nagrzewania rurociągu w stosunku do metody pierwszej – podgrzewu czynnikiem grzewczym.

W warunkach normalnych przy ciśnieniu atmosferycznym w temperaturze **100° C** powstaje para wodna o temperaturze **100° C**. Do naprężenia wstępnego konieczna jest jednak temperatura od **60° C** do **75° C**. Jeżeli zmniejszy się ciśnienie powietrza za pomocą pompy próżniowej do **0,4 bar**, woda wrze już w temperaturze **75°C** i tworzy się para wodna o tej samej temperaturze. Transportuje ona **756 W/kg** ciepła.

11.18.3. Podgrzew elektryczny

Dzięki tej metodzie istnieje możliwość wprowadzania naprężeń wstępnych w odcinkach o dowolnej długości w sposób dostosowany do postępu robót montażowych.

Można uniknąć wielu dodatkowych elementów jak np. bypass'a łączącego rurociąg zasilający z powrotnym ze względu na zwarcie elektryczne.

Wprowadzanie naprężeń prądem elektrycznym może być użyte tylko dla rurociągów o takich samych średnicach. Naprężanie wstępne rurociągów o różnych średnicach nie jest możliwe, gdyż mniejsze średnice mogą znacznie podnieść swoją temperaturę ponad zakres projektowany.

Wadą tej metody jest konieczność zapewnienia zasilenia **380 V** oraz posiadania specjalistycznych urządzeń. Podstawowe zalety to:

- jednakowa temperatura podgrzewu w całej grzanej sekcji,
- jest odpowiedni dla całego typoszeregu rur,
- możliwość wykonania etapowego,
- brak zużycia wody sieciowej,
- brak korozji,
- regulacja czasu nagrzewania,
- „bezobsługowe” urządzenia,
- zastosowanie przy ujemnej temperaturze zewnętrznej,
- redukcja wydłużeń eksploatacyjnych.

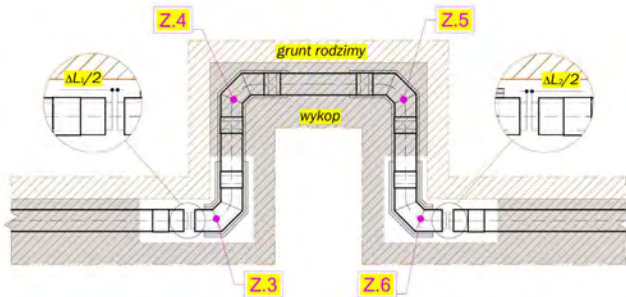
11.19. Naciąg wstępny

W przypadku braku możliwości dokonania podgrzewu wstępnego, w sytuacji, kiedy pojawia się konieczność zmniejszenia wysięgów elementów kompensacyjnych lub częściowego ograniczenia grubości poduszek kompensacyjnych możemy wykorzystać, jedną z dwóch technik naciągów wstępnych:

- naciąg mechaniczny – kiedy na zimnym rurociągu wprowadzamy naprężenia w kolanach elementów kompensacyjnych,
- naciąg termiczny – kiedy możemy dokonać uruchomienia zasypanego rurociągu, pozostawiając możliwość swobodnego odkształcania wybranej, niezasypanej, kompensacji.

11.19.1. Naciąg mechaniczny

Znany i bardzo powszechnie stosowany w technologii budowy sieci ciepłych w obudowach kanałowych i sieci napowietrznych. Umożliwił wprowadzenie, w sposób mechaniczny, naprężeń w elementach kompensacji naturalnej. Dzięki temu kompensacje mogą mieć zmniejszone wysięgi, dobierane jak dla mniejszych wydłużeń termicznych.



Rysunek 70: Naciąg wstępny – mechaniczny

Technika ta polega na pozostawieniu, podczas układania rurociągów preizolowanych, pomiędzy kolanami kompensacji a przylegającymi prostymi odcinkami rurociągów, z jednej lub z obu stron kompensatora, szczelin między końcami rur przewodowych tych elementów. Szczeliny powinny zostać przewidziane na etapie projektowania i w projekcie powinna być określona ich wielkość. (nie większa niż połowa wydłużeń termicznych odcinków prostych).

$$L_{NM} < \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{2} \quad (109)$$

Po zmontowaniu, zamufowaniu, wykonaniu łoża piaskowego i zasypaniu całego rurociągu, oprócz miejsc sąsiadujących ze szczelinami i ramion kompensatora, należy przystąpić do wykonania naciągu. Zadanie polega na wykonaniu rozciągnięcia kompensatora tak, by możliwe było wykonanie prawidłowej spoiny w pozostawionym uprzednio miejscu. Do naciągu najlepiej użyć tak zwanych „śrub rzymskich” przyspawanych do rurociągu bądź podnośników hydraulicznych, w zależności od wielkości rurociągów. W przypadku użycia podnośników należy chronić osłonę kolana preizolowanego.

Następnie należy przystąpić do mufowania oraz zasypania rurociągów w miejscach wykonania naciągu.

W tak wykonanym kompensatorze zostają wprowadzone naprężenia rozciągające na bezpiecznym poziomie. Po podgrzaniu i osiągnięciu temperatury T_{SR} obliczonej z poniższego wzoru:

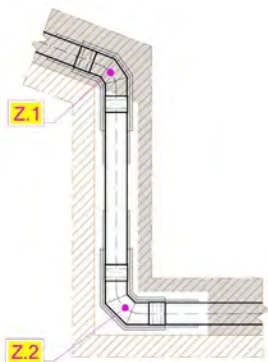
$$T_{SR} \approx \frac{T - T_{INST}}{2} \quad (110)$$

element kompensacyjny pracuje z naprężeniami bliskimi zeru, a po osiągnięciu temperatury roboczej T pracuje w bezpiecznym zakresie, mimo przejścia całkowitego wydłużenia termicznego przylegających do kompensatora odcinków prostych.

W projekcie powykonawczym należy opisać szczegółowo miejsce zastosowania tej techniki i wielkości zastosowanego naciągu mechanicznego.

11.19.2. Naciąg termiczny

Naciąg termiczny jest przydatny w sytuacji, kiedy wydłużenia termiczne powodują konieczność użycia poduszek kompensacyjnych w ilości stwarzającej zagrożenie dla osłony polietylenowej z powodu przekroczenia temperatury na jej powierzchni.



Rysunek 71: Naciąg wstępny – termiczny

Technika ta polega na pozostawieniu podczas kompleksowego wykonania rurociągów niezasypanego ramienia kompensacji, dla którego zaprojektowane zostało zmniejszenie grubości poduszek kompensacyjnych.

Wykop utrzymujemy niezasypany do momentu osiągnięcia średniej temperatury czynnika grzewczego.

Po wykonaniu łoża piaskowego i zasypaniu, poduszki kompensacyjne ułożone na elemencie kompensacyjnym są w stanie „spoczynku”- to znaczy, że nie przejmowały przemieszczeń rurociągów, natomiast element kompensacji jest już częściowo obciążony. Po osiągnięciu temperatury roboczej element kompensacyjny zostaje obciążony do projektowanego maksimum, natomiast poduszki przejmują tylko część wydłużeń. Podobna sytuacja powstaje przy schłodzeniu rurociągu.

Wskazane jest, aby stosowanie tej techniki ograniczyć do odcinków o długości L_0 bliskiej odległości L_{MAX} , i nie zmniejszać ilości poduszek o więcej niż jedną warstwę a w projekcie budowlanym i projekcie powykonawczym należy opisać zastosowanie tej techniki.

11.20. Zastosowanie kompensatorów mieszkowych

Sieci ciepłe preizolowane najkorzystniej pracują i są najtrwalsze, gdy wykonują jak najmniej ruchów i zostaną pozbawione maksymalnie możliwej liczby elementów ruchomych poprzez ograniczenie liczby kompensacji czy dodatkowo ograniczenie wydłużeń termicznych dzięki podgrzewowi.

Kiedy jednak warunki terenowe zmuszają do układania sieci cieplnej prostoliniowo, długość takiego odcinka przekracza dopuszczalne długości montażowe, a dodatkowo nie dysponujemy możliwością wykonania podgrzewu wstępnego, możliwe jest zastosowanie na odcinku pomiędzy dwoma kolanami kompensacyjnymi kompensatora mieszkowego lub kilku kompensatorów mieszkowych. Mogą one być zastosowane w różnych wariantach.

11.20.1. Kompensatory mieszkowe – preizolowane

Kompensatory mieszkowe preizolowane są jedynymi elementami preizolowanymi z umieszczonymi pod płaszczem i izolacją ruchomymi częściami oferowanymi w systemach rur preizolowanych. Wygoda ich stosowania często przewyższa ich wady, do których należy między innymi przerwanie ciągłości systemu zespolonego i izolacji **PUR**.

Na długi prostym odcinku liczącym kilkaset metrów długości może zachodzić znaczne zróżnicowanie warunków podczas pracy sieci. Spowodowane może to być głównie:

- lokalnym występowaniem wód gruntowych,
- okresowym występowaniem lokalnych wód powierzchniowych,
- zmiennymi warunkami geotechnicznymi,
- układaniem rurociągów preizolowanych w istniejących kanałach po sieciach ciepłych,
- stosowaniem rur ochronnych,
- jakością wykonania łoża piaskowego i zasypki,
czy też pojawieniem się wszystkich powyższych przyczyn jednocześnie.

Może to spowodować zmienność pracy elementów kompensacyjnych i nieprzewidziane przemieszczanie obciążeń. Sytuacja nie stanowi zagrożenia, dla elementów kompensacji wykorzystujących kolana z uwagi na częste zmiany kierunku rurociągów w miejscach kompensacji, natomiast może stanowić zagrożenie w przypadku stosowania kompensatorów osiowych (mieszkowych preizolowanych)

Kiedy zostanie zastosowany pojedynczy kompensator mieszkowy, odcinek sieci między kolanami jest na tyle krótki, że istotna zmienność warunków nie powinna wystąpić. Dlatego pojedynczy kompensator preizolowany, w zakresie średnic do **DN 300/450** można wstawić pomiędzy dwa kolana kompensacyjne. Dla większych średnic należy przeprowadzić obliczenia sprawdzające.



Rysunek 72: Zastosowanie pojedynczego kompensatora mieszkowego – preizolowanego

W przypadku długich odcinków, gdzie może być potrzeba zastosowania kilku czy kilkunastu kompensatorów mieszkowych preizolowanych istotna zmienność warunków pojawiająca się na dużych przestrzeniach może powodować okresowo zmianę obciążeń kompensatorów i ich przemieszczanie się, dlatego należy rozważyć, po zapoznaniu się z występującymi warunkami geotechnicznymi, zastosowanie punktów stałych między skrajnymi kompensatorami osiowymi a kolanami kompensacyjnymi. W warunkach niekorzystnych dla dużych średnic należy przeprowadzić obliczenia sprawdzające ewentualną konieczność stosowania rzeczywistych punktów stałych, między poszczególnymi kompensatorami w ciągu.



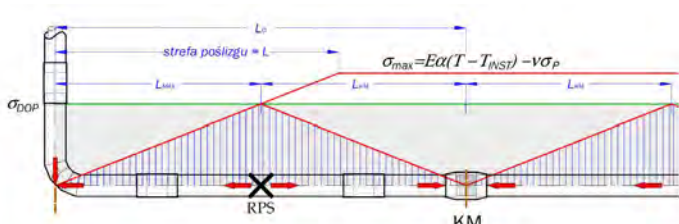
Rysunek 73: Stosowanie rzeczywistych punktów stałych między skrajnymi kompensatorami a kolanami kompensacyjnymi

Kiedy analiza występujących warunków wykaże, że pojawienie się istotnych zmienności warunków jest możliwe i zostanie podjęta decyzja o zastosowaniu rzeczywistych punktów stałych, punkty te należy montować w miejscu zrównoważenia sił od strony kolana kompensacyjnego i sił od strony kompensatora mieszkowego. Schemat przedstawiony został na rysunku następnym.

Rzeczywisty punkt stały zlokalizowany w takim miejscu będzie posiadał najmniejsze gabaryty.

Siła, dla której zostanie dobrany punkt stały, powinna zależeć od ewentualnego miejsca usytuowania armatury odcinającej oraz rzeczywistego ciśnienia roboczego. Dla punktu stałego zlokalizowanego jak na rysunku zalecana siła powinna być równa, co najmniej:

$$N_{RPS} \geq L_{MAX} \cdot F \quad (111)$$

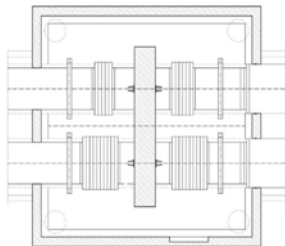


Rysunek 74: Lokalizacja rzeczywistego punktu stałego pomiędzy kompensatorem mieszkowym preizolowanym a kolanem kompensacyjnym

Kompensatory mieszkowe preizolowane należy stosować po uzgodnieniu z gestorem sieci ciepłej.

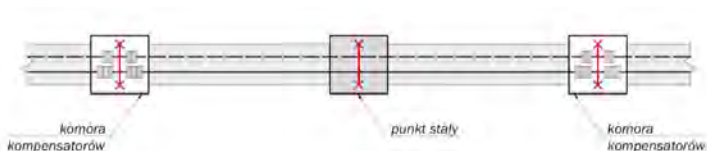
11.20.2. Kompensatory mieszkowe – w komorach

Lokalizacja kompensatorów mieszkowych w komorze pozwala na zastosowanie kompensatorów o większych zdolnościach kompensacyjnych oraz lokalizowanie w obrębie jednego punktu stałego pary takich kompensatorów – przykład na rysunku.



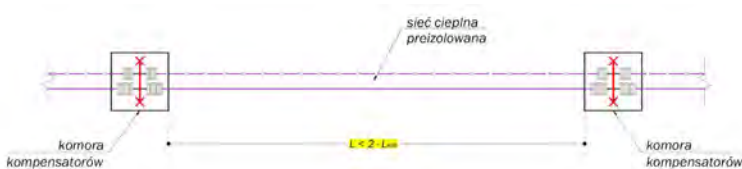
Rysunek 75: Przykład komory kompensatorów

Układy takie często stosowane były w sieciach ciepłych wykonywanych w obudowach betonowych, gdy odcinki sieci przesyłowych miały znaczną długość. Zazwyczaj między dwoma komorami z kompensatorami mieszkowymi montowane były punkty stałe bezpośrednio w kanale bądź w komorze armatury lub komorze rozgałęzienia sieci.



Rysunek 76: Zastosowanie kompensatorów mieszkowych w komorach, w sieciach tradycyjnych w obudowach kanałowych

Układy takie można przenieść na grunt sieci ciepłych preizolowanych. Są również łatwe w przystosowaniu ich do współpracy z sieciami ciepłymi preizolowanymi. Analogiczny układ można utworzyć na bazie sieci preizolowanej:



Rysunek 77: Zastosowanie kompensatorów mieszkowych w komorach, w sieciach ciepłych preizolowanych

11.21. Kompensatory mieszkowe – jednorazowe SUC

Kolejną techniką ułatwiającą układanie długich odcinków prostych, jest technika stosowania kompensatorów jednorazowych **SUC**, do ograniczania naprężeń w rurociągach.

Różnica między podgrzewem wstępnym a kompensatorami jednorazowymi **SUC** polega na tym, że podgrzew wstępny wykonywany jest w odkrytym wykopie, natomiast zastosowanie kompensatorów jednorazowych umożliwia natychmiastowe zasypywanie rurociągów poza miejscami montażu kompensatorów.

Miejsca montażu kompensatorów pozostają niezasypane do czasu osiągnięcia przez system grzewczy temperatury zamknięcia kompensatorów. Wówczas kompensatory zostają zaspawane, zaizolowane i zasypane.

W projekcie dla każdego kompensatora należy podać nastawy i parametry zamknięcia.

Zasady doboru kompensatorów i tabele montażowe przedstawione zostały w rozdziale **8.4.2. Kompensatory jednorazowe – SUC**.

11.22. Komory

Rozwiązanie co do stosowania komór narzuca gestor czy właściciel sieci natomiast projektant musi zadbać o funkcjonalność, zachowanie właściwych odstępów (pomagają normy stare i nowe) zabezpieczenie rurociągów wewnątrz komory przed siłami z zewnątrz.

Projektowanie nowych komór i studni na trasie rurociągów preizolowanych w celu usytuowania armatury odcinającej (jak również spustowej i odpowietrzającej) oraz aparatury kontrolno-pomiarowej, należy ograniczyć do miejsc wyraźnie wskazanych przez gestora — w punktach węzłowych sieci.

Nowe komory powinny być zlokalizowane w miejscu o niewielkich przemieszczeniach osiowych rurociągów głównych.

Z uwagi między innymi na możliwość skutecznego wykonania uszczelnienia przejścia rurociągów przez ściany płaskie, zaleca się stosowanie komór o przekroju prostokątnym.

W przypadku przebudowy sieci kanałowych na preizolowane należy rozważyć celowość pozostawienia istniejących komór, zwłaszcza gdy istnieje konieczność dostosowania ich wymiarów i konstrukcji do aktualnie obowiązujących przepisów prawa, w tym przepisów BHP.

Obecne wymagania dotyczą:

- minimalnej wysokości komory w świetle co najmniej **1,8 m**,
- odległości między elementami i urządzeniami w komorze zgodne z **BN-77/8973-11**,
- wolnej przestrzeni w świetle każdego wjazdu,
- co najmniej dwóch wjazdów o średnicy minimalnej **600 mm**,
- drabinek ze stali nierdzewnej.

11.23. Połączenia z sieciami kanałowymi

W przypadku połączenia sieci ciepłej preizolowanej z siecią ciepłą w obudowie kanałowej należy stosować rozwiązania typowe dla systemów preizolowanych.

W przypadku łączenia nowego odcinka sieci ciepłej preizolowanej z istniejącą siecią wykonaną w technologii kanałowej projektant winien sprawdzić i określić wzajemne oddziaływania tych odcinków sieci w miejscu ich styku.

Połączenie powinno zapewniać szczelność przejścia rur preizolowanych przez ściankę kanału czy komory oraz zabezpieczenie rurociągów kanałowych przed przekazaniem sił od rurociągów preizolowanych.

Rozwiązanie konstrukcji obudowy odgałęzienia preizolowanego od sieci wykonanej w obudowie kanałowej winno być załączone do projektu.

Nie dopuszcza się wykonania odgałęzień na załamaniach sieci kanałowej, w miejscach kompensacji bądź w istniejących komorach wykonanych na załamaniach sieci kanałowych.

Zaleca się łączenie sieci w miejscu ich minimalnego przemieszczania.

11.24. Połączenia z sieciami napowietrznymi

Analogicznie jak w przypadku połączenia z rurociągami układanymi w obudowach kanałowych, połączone ze sobą sieci, preizolowana i napowietrzna, wymagają zabezpieczenia przed wzajemnym oddziaływaniem.

Najsukuteczniejszym zabezpieczeniem jest zastosowanie naturalnych układów kompensacyjnych.

Dodatkowo należy zabezpieczyć rurociąg preizolowany w osłonie **HDPE** wychodzący z ziemi.

Izolacja połączenia tych sieci powinna być wykonana tuż nad powierzchnią terenu z zastosowaniem mufy termokurczliwej. W przypadku dużych średnic mufa może być wykonana z blachy stalowej ze stali nierdzewnej bądź z aluminium.

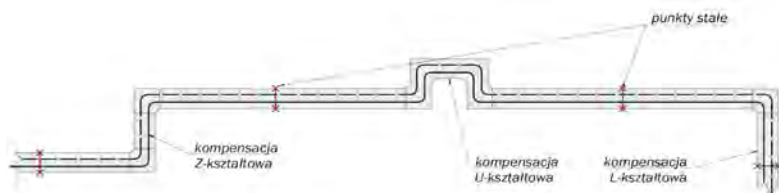
Wymagane jest obłożenie pionowego odcinka rurociągów sieci preizolowanej wychodzącej nad poziom terenu matami kompensacyjnymi zgodnie z zasadami, przy czym minimalna grubość obłożenia powinna wynosić **40 mm**.

11.25. Przykładowe rozwiązania modernizacji sieci kanałowych

Obecnie najwięcej robót związanych jest z wymianą starych sieci ciepłych w obudowach kanałowych na sieci ciepłe wykonane w technologii rur preizolowanych do układania bezpośrednio w gruncie.

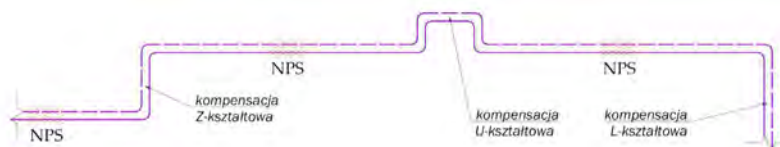
W takich realizacjach bardzo ważne jest, aby właściwie podejmować decyzje co do zakresu prac modernizacyjnych.

11.25.1. Przykład nr 1



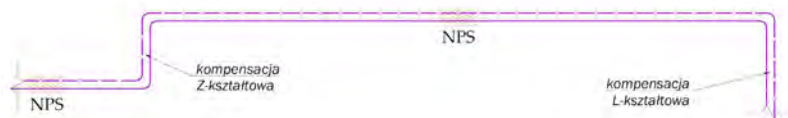
Rysunek 79: Przykładowa trasa kanalowej sieci ciepłej przeznaczonej do modernizacji

Najprostszym i często stosowanym rozwiązaniem jest ułożenie rurociągów preizolowanych dokładnie po trasie starej sieci często w pozostającym po niej kanale.



Rysunek 80: Ułożenie sieci ciepłej preizolowanej po trasie starej sieci ciepłej kanalowej

O ile z punktu widzenia uzgodnień lokalizacyjnych rozwiązanie takie można uznać za korzystne, o tyle układanie w starym kanale jest jednym z częściej popełnianych błędów. Często niewielkie zmiany pozwalają dokonać optymalizacji geometrii sieci, poprawiając warunki jej pracy.



Rysunek 81: Najprostsza optymalizacja trasy sieci ciepłej

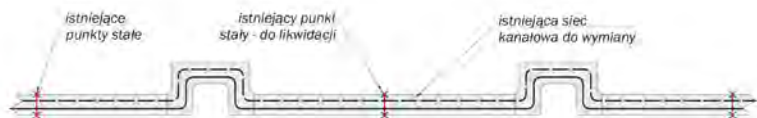
Niekorzystne dla pracy sieci preizolowanej jest umieszczenie rurociągów bezpośrednio w gruncie, wykorzystując przestrzeń starego kanału betonowego. Zagrożenia z tego płynące to:

- zbyt mały wymiar kanału nr 1 – zwłaszcza w przypadku dużych średnic brak jest miejsca dla zachowania wymaganych odległości między rurociągami, a także między rurociągami a ścianami kanału,
- zbyt mały wymiar kanału nr 2 – brak możliwości zagęszczenia łóża piaskowego,
- zbyt mały wymiar kanału nr 3 – brak miejsca na odpowiednią ilość poduszek kompensacyjnych,

- drenażowa funkcja kanału betonowego– odkryty i zasypany ziemią kanał często zamienia się w kanał odwodniający teren, przez co rury pracują w niekorzystnych warunkach gruntowych,
- błąd montażowy nr 1 – pozostawienie w kanale elementów betonowych i stalowych służących poprzednio do przenoszenia obciążeń rurociągów sieci kanałowych,
- błąd montażowy nr 2 – przepuszczanie przez nieodkryty fragment kanału rurociągów preizolowanych bez żadnego zabezpieczenia,

11.25.2. Przykład nr 2

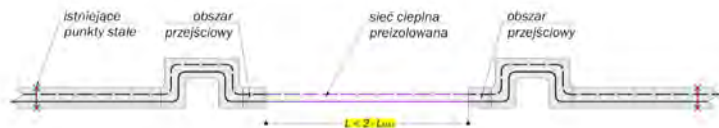
W prosty sposób można dokonać modernizacji sieci kanałowej między dwoma kompensacjami naturalnymi.



Rysunek 82: Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 2

Zasady projektowania sieci ciepłych kanałowych pozwalają w takim przypadku na zastąpienie odcinka rurociągu pomiędzy dwoma kompensacjami naturalnymi (w tym przypadku kompensatory U-kształtowe) i likwidację punktu stałego.

Sprawdzania zdolności kompensacyjnych przylegających do sieci ciepłej kompensacji naturalnych należy dokonać w zgodności z normą **PN-EN 13480**. Z uwagi na inny zakres występujących naprężeń dopuszczalnych nie powinno się korzystać z wykresów czy tabel doboru kompensacji dla sieci ciepłych preizolowanych.



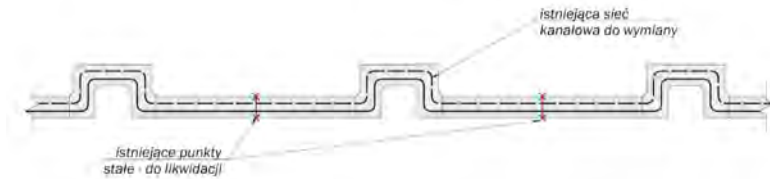
Rysunek 83: Sieć ciepła do przykładu nr 2 po przebudowie

Należy pamiętać, że przy kompensacjach, zwłaszcza **Z – kształtowych** i **U – kształtowych**, w celu zmniejszenia ich wysięgów wykonywane były naciągi wstępne o wielkości $50\% \Delta L$.

Przed kompensacjami powinien być pozostawiony prosty odcinek sieci kanałowej (obszar przejściowy) umożliwiający swobodne odkształcanie się kompensacji oraz umożliwiający wykonanie skutecznego uszczelnienia przejścia rurociągów preizolowanych przez ścianę zamykającą kanał.

11.25.3. Przykład nr 3

Podobna sytuacja występuje w przypadku ciągu trzech kompensatorów.



Rysunek 84: Układy sieci cieplnej kanałowej dla przykładu nr 3

Na podobnej zasadzie jak w przykładzie nr 1 można dokonać optymalizacji trasy sieci, eliminując jeden z kompensatorów (patrz rysunek).



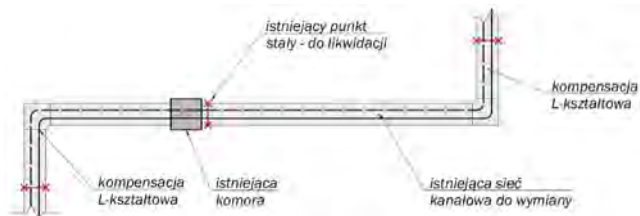
Rysunek 85: Sieć cieplna do przykładu nr 3 po przebudowie

W takiej sytuacji należy się liczyć ze znacznymi wydłużeniami odcinka sieci preizolowanej i szczególnymi wymaganiami co do zastosowanego uszczelniania przejścia przez ścianę. Z uwagi na występowanie sił osiowych o dużej wartości istotny jest również sposób wykonania ścianek zamykających kanał.

Podobnie jak w przykładzie poprzednim należy skontrolować zdolności kompensacyjne przylegających kompensacji naturalnych oraz pozostawić obszary przejściowe.

11.25.4. Przykład nr 4

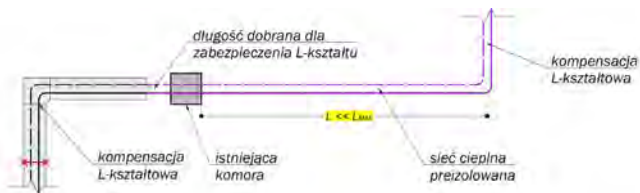
W przypadku likwidacji punktu stałego zlokalizowanego pomiędzy dwoma kompensacjami naturalnymi, jak to przedstawiono na rysunku, należy zwrócić uwagę na nowy rozkład wydłużeń termicznych, jaki pojawi się po przebudowie.



Rysunek 86: Układy sieci cieplnej kanałowej dla przykładu nr 4

Jak przedstawione zostało wcześniej, wymaga się, aby nowa sieć cieplna preizolowana nie zmieniła obciążenia pozostającej kompensacji wykonanej w technologii kanałowej, a oprócz wydłużeń rurociągów ułożonych w kanale pojawiają się nowe wydłużenia od wolnego końca rurociągów preizolowanych.

Ponadto pojawiają się przemieszczenia elementów zamontowanych na sieci kanałowej w komorze, które nie występowały wcześniej z uwagi na zlokalizowany obok punkt stały.

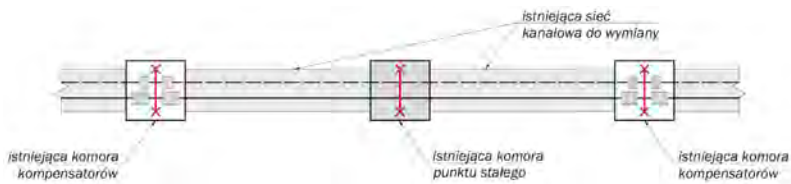


Rysunek 87: Sieć cieplna do przykładu nr 4 po przebudowie

W takim przypadku należy dokonać przebudowy sieci cieplnej poza komorą, aby ograniczyć sumę wydłużeń działających na kompensację oraz ograniczyć przemieszczenia w komorze. Dodatkowo wskazane jest wykonanie naciągu wstępnego – mechanicznego na ramieniu samokompensacji przylegającym do rurociągów preizolowanych.

11.25.5. Przykład nr 5

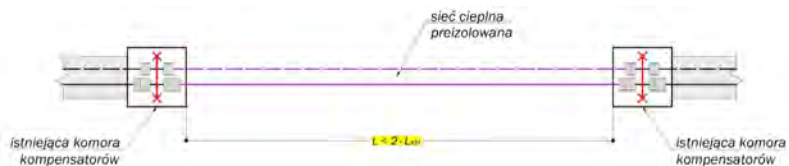
W układach z istniejącymi komorami kompensatorów mieszkowych, przebudowując fragment sieci między komorami, można wyeliminować punkt stały pośredni bez konieczności przebudowy sieci kanałowej poza komorami.



Rysunek 88: Układy sieci cieplnej kanałowej dla przykładu nr 5

Ważne jest, aby modernizacja przebiegała na całym odcinku między dwoma komorami.

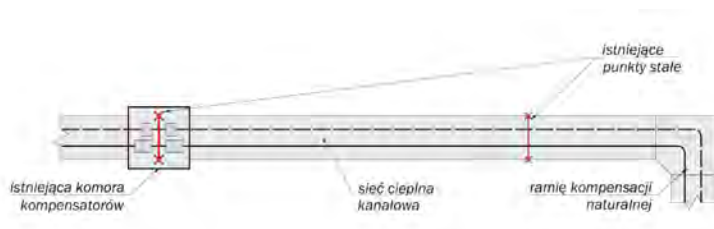
Na etapie projektowania należy dodatkowo sprawdzić zdolność kompensacyjną kompensatorów mieszkowych oraz ustalić ich ustawienia wstępne wymagane przed montażem rurociągów preizolowanych.



Rysunek 89: Sieć cieplna do przykładu nr 5 po przebudowie

11.25.6. Przykład nr 6

Skrajne komory kompensatorów sąsiadują również z kompensacjami naturalnymi.



Rysunek 90: Układy sieci cieplnej kanałowej dla przykładu nr 6

Układy te rozdzielone są punktami stałymi.

W trakcie przebudowy tego fragmentu sieci cieplnej kanałowej należy rozważyć konieczność zastosowania rzeczywistego punktu stałego. Jeżeli długość odcinka od komory do kolana kompensacyjnego spełnia warunek:

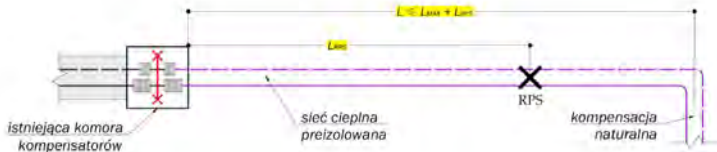
$$L \leq L_{MAX} + L_{KM} \quad (112)$$

a kompensator mieszkowy, po wykonaniu ustawień wstępnych, będzie miał wystarczającą zdolność kompensacyjną, to dla takiego ułożenia nie ma potrzeby stosowania rzeczywistego punktu stałego.

Jeśli kompensator mieszkowy nie będzie miał wystarczającej zdolności kompensacyjnej, należy zastosować rzeczywisty punkt stały.



Rysunek 91: Sieć cieplna do przykładu nr 6 po przebudowie bez zastosowania rzeczywistego punktu stałego

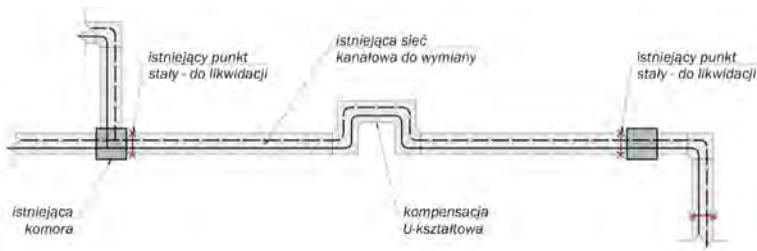


Rysunek 92: Sieć ciepła do przykładu nr 6 po przebudowie z zastosowaniem rzeczywistego punktu stałego

Odległość **LRPS** powinna być uzależniona od zdolności kompensacyjnej kompensatora mieszkowego oraz występujących sił tarcia.

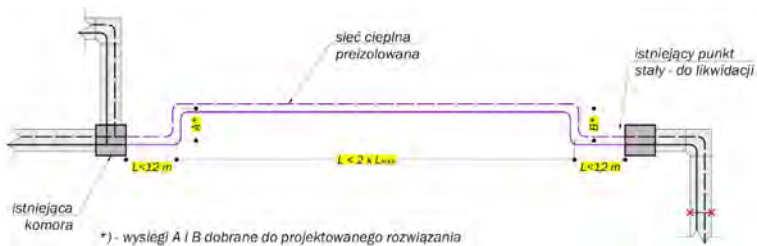
11.25.7 Przykład nr 7

Kiedy w grę wchodzi przebudowa odcinka sieci między dwiema istniejącymi komorami, pomiędzy którymi znajduje się kompensacja naturalna (w tym przypadku U-kształtowa), wymagane jest stosowanie rozwiązań zabezpieczających układy sieci w komorach.



Rysunek 93: Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 7

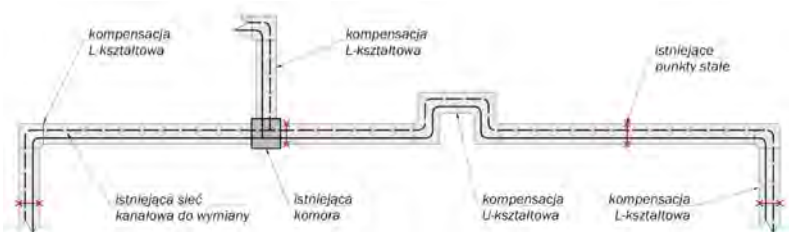
Można tego dokonać, wykonując przed komorami układy zabezpieczające, w odległości do 12 m od komory. (patrz rysunek na stronie następnej).



Rysunek 94: Sieć ciepła do przykładu nr 7 po przebudowie

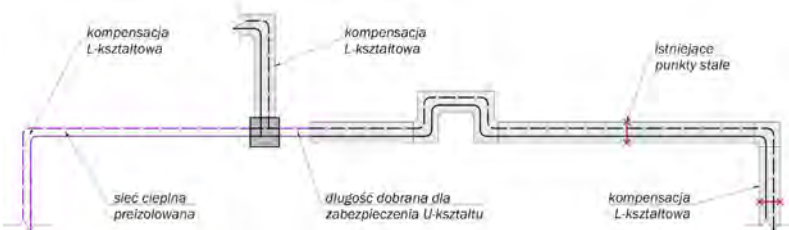
11.25.8. Przykład nr 8

Przy kompleksowej modernizacji sieci ciepłej kanałowej, która to modernizacja musi zostać podzielona na etapy, należy przestrzegać pewnych reguł, które służą zabezpieczeniu pozostających fragmentów sieci ciepłej kanałowej nieprzebudowanych oraz zapewnią właściwą pracę sieci ciepłej preizolowanej.



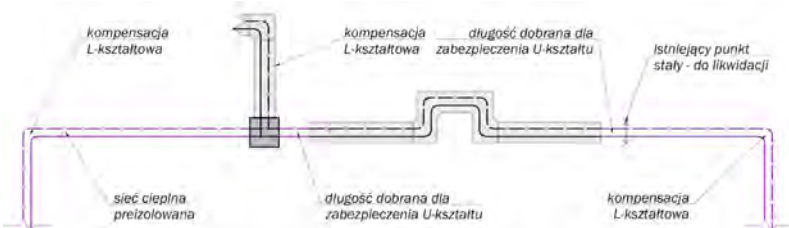
Rysunek 95: Układy sieci ciepłej kanałowej dla przykładu nr 8

- Należy pamiętać o zabezpieczeniu rurociągów i ich układów w komorach.



Rysunek 96: Zabezpieczenie układów rurociągów i armatury w komorach

- Należy pamiętać o zabezpieczeniu pozostających układów kompensacji.

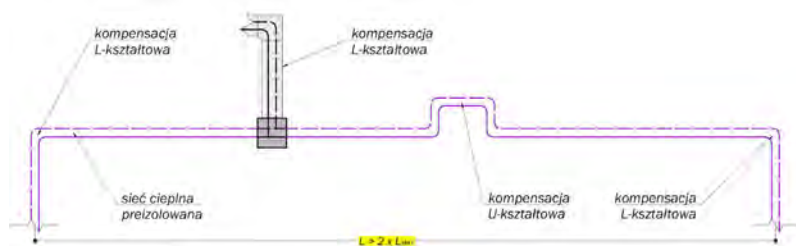


Rysunek 97: Zabezpieczenie pozostających kompensacji

W przypadku gdy odległość między skrajnymi kompensacjami naturalnymi spełniającej warunek

$$L \geq 2 \cdot L_{MAX} \quad (113)$$

należy projektować pośredni układ kompensacyjny najlepiej w miejscu które pomogłoby uzyskać naturalny punkt stały w rejonie pozostawianej komory.



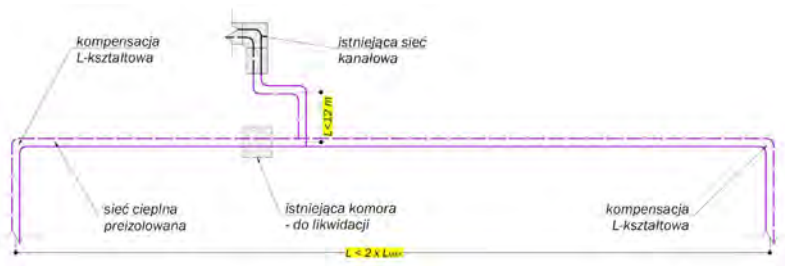
Rysunek 98: Zastosowanie dodatkowego układu kompensacji

W przypadku gdy odległość między skrajnymi kompensacjami naturalnymi spełniającej warunek

$$L < 2 \cdot L_{MAX} \quad (114)$$

nie występuje potrzeba stosowania dodatkowej kompensacji.

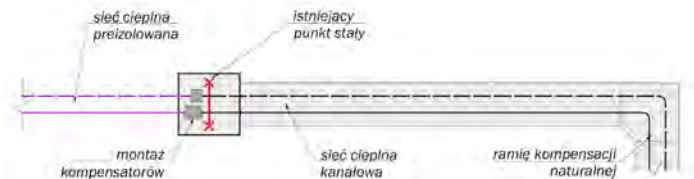
- Wykonanie odgałęzienia może zostać wykonane przy użyciu „wciniki na gorąco”, zabezpieczając punkt włączenia przez wykonanie w odległości do 12 m od rury głównej kompensacji na sieci preizolowanej będącej odgałęzieniem.



- Po wykonaniu odgałęzienia można dokonać likwidacji komory.

W przypadku realizacji przebudowy sieci cieplnej kanałowej na sieć cieplną preizolowaną z wymaganym etapowaniem robót nie należy projektować technik wykorzystujących wprowadzanie wstępnych naprężeń.

11.25.9. Przykład 9



Rysunek 99: Rzeczywisty punkt stały pomiędzy siecią ciepłą preizolowaną z kompensatorami mieszkowymi a kompensacją naturalną na sieci ciepłej kanałowej

Przykład ten obrazuje sytuację, w której rurociąg preizolowany musi zostać ułożony w linii prostej, natomiast brak jest możliwości przebudowania całego układu z kompensacją naturalną zastosowaną na sieci ciepłej kanałowej.

Zastosowane kompensatory zabezpieczają punkt stały przed oddziaływaniem sił wywołanych tarciem, jednak stwarzają konieczność poważnego wzmocnienia tego punktu.

Należy pamiętać, że w układzie tym, z jednej strony ciśnienie wewnątrz rurociągu działające na kolano zastosowane w kompensacji naturalnej próbuje wyrwać rurociąg z tego punktu, z drugiej zaś to samo ciśnienie wywołuje w kompensatorze osiowym siłę napierającą na punkt stały. Siły te działają z tym samym zwrotem, sumując się w punkcie stałym. Zjawisko to dla jednego rurociągu przedstawia wzór:

$$N_p = (A_{IN} + A_M) \cdot P + \Delta L \cdot C_A \quad (115)$$

W przypadku odsunięcia kompensatora osiowego od punktu stałego dodatkowym obciążeniem są siły wywołane tarciem rurociągów preizolowanych zamontowanych pomiędzy kompensatorem a punktem stałym.

Obrazuje to wzór

$$N_a = (A_{IN} + A_M) \cdot P + 2 \cdot l \cdot F + \Delta L_F \cdot C_A + \Delta L_R \cdot C_A \quad (116)$$

gdzie l jest odległością mieszka kompensatora od punktu stałego. Jak wynika z obliczeń, układ ten jest niekorzystny, gdyż powoduje dodatkowe zwiększenie siły działającej na punkt stały.

Dla złagodzenia skutków stosowania kompensatorów osiowych po stronie sieci ciepłej preizolowanej można podjąć próbę, o ile jest to możliwe, zastąpienia fragmentu sieci kanałowej siecią z rur preizolowanych.



Rysunek 100: Zastosowanie dodatkowego odcinka sieci cieplnej preizolowanej

Dobierając długość odcinka dodatkowego L , należy mieć na uwadze sytuację, w której następuje gwałtowny spadek ciśnienia w rurociągach (np. w przypadku awarii) i na punkt stały działają tylko siły wywołane tarciem.

12. Kompensacja wydłużeń termicznych

Wybór metody kompensowania wydłużeń rurociągów zależy od uwarunkowań lokalnych, dopuszczonych technik, oraz analizy zalet i wad możliwych do zastosowania w danych warunkach technik.

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

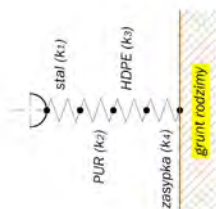
Rurociągi mogą być również układane z zastosowaniem podgrzewu wstępnego – więcej szczegółów po kontakcie z Zespołem Projektowania i Doradztwa Technicznego **RADPOL PIPES**

Powszechnie stosowane układy kompensacyjne przedstawiono na kolejnych rysunkach.

12.1. Poduszki kompensacyjne

Istotnym elementem służącym zabezpieczeniu elementów preizolowanych poruszających się poprzecznie w gruncie są poduszki kompensacyjne. W miejscu zmiany kierunku trasy rurociągu preizolowanego skutki odkształceń rurociągu można przedstawić w postaci czterech sprężyn:

- rury stalowej (k_1 ,
- izolacji ze sztywnej pianki poliuretanowej PUR (k_2 ,
- osłony HDPE (k_3 ,
- i zasypki (k_4 .



Rysunek 101: Obciążenie rurociągów w gruncie

Odształcająca się rura stalowa „naciska” na pozostałe „sprężyny”, które reagują na nacisk z uwagi na posiadaną sztywność, z czego osłona **HDPE** z uwagi na wykorzystywany materiał jest bardzo podatna na odkształcenia.

W zestawieniu tym najsłabszym elementem jest pianka **PUR**, dlatego wymagane jest zastosowanie dodatkowego materiału, dodatkowej sprężyny, która będzie bardziej podatna na odkształcenia (k_5 .

W celu określenia wymaganej grubości poduszek kompensacyjnych można dla potrzeb wstępnego projektowania dokonać obliczeń przybliżonych, sprawdzających, czy naprężenia ściskające w piance PUR określone z poniższego wzoru, będą spełniały wymagania wytrzymałościowe.

$$\sigma_{PUR} = \frac{k \cdot \delta_w}{2 \cdot d_o} < 0,15 \frac{N}{mm^2} \quad (117)$$

gdzie

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_4} \quad (118)$$

Sztywność pianki poliuretanowej PUR:

$$k_2 = \frac{E_{PUR} \cdot d_o}{t_{PUR}} \quad (119)$$

a grubość izolacji PUR obliczamy ze wzoru:

$$t_{PUR} = \frac{D_C - d_o - 2 \cdot t_{HDPE}}{2} \quad (120)$$

Sztywność poduszek kompensacyjnych:

$$k_5 = \frac{E_{PK} \cdot D_C}{t_{PK}} \quad (121)$$

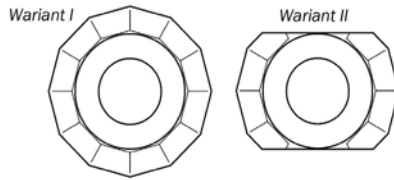
a zasypki:

$$k_4 = E_{GRUNT} \quad (122)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} E_2 \approx E_{PUR} &= 10 \frac{N}{mm_2} \\ E_4 \approx E_{GRUNT} &= 20 \frac{N}{mm_2} \quad \text{stałe dla średnic} \leq dn 80 \\ E_4 \approx E_{GRUNT} &= 35 \frac{N}{mm_2} \quad \text{stałe dla średnic} \leq dn 250 \\ E_4 \approx E_{GRUNT} &= 50 \frac{N}{mm_2} \quad \text{stałe dla średnic} \leq dn 600 \\ E_5 \approx E_{PK} &= 0,1 \frac{N}{mm_2} \end{aligned} \quad (123)$$

Poduszki obok rurociągów można układać na dwa sposoby.



Rysunek 103: Sposoby obkładania rurociągów poduszkami kompensacyjnymi

W przypadku rurociągów o małych średnicach zaleca się, aby poduszki kompensacyjne były układane po obu stronach rurociągu w takiej samej ilości.

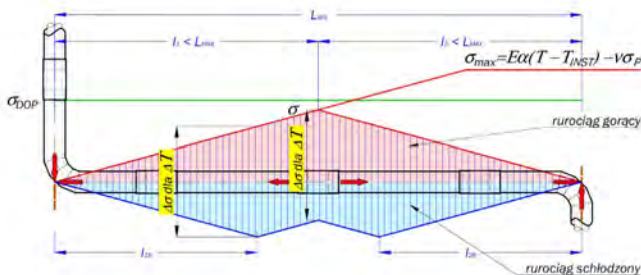
Jednak w przypadku większych średnic układanie poduszek można uzależnić od rozkładu naprężeń i wydłużeń w rozpatrywanych odcinkach rurociągów pomiędzy kolanami kompensacyjnymi.

Zaleca się, aby projektowane ugięcie poduszek kompensacyjnych nie przekroczyło 2/3 grubości strefy kompensacyjnej. Dokładniej obrazuje to poniższa tabel.

Tabela 27: Dopuszczalne przemieszczenie rurociągów w strefie kompensacyjnej

Ilość warstw poduszek [szt.]	Grubość strefy kompensacyjnej [mm]	Dopuszczalne przemieszczenie [mm]
1,0	40,0	26,0
2,0	80,0	53,0
3,0	120,0	80,0
4,0	160,0	106,0

12.2. Schładzanie rurociągów



Osiągnięte w ogrzewanych rurociągach naprężenia podczas schłodzenia do temperatury montażu ulegają zmianie, którą możemy obliczyć ze wzoru:

$$\Delta \sigma = | E_T \cdot \alpha_T \cdot (T_{INST} - T) | \quad (124)$$

natomiast odległości od kolana kompensacyjnego do miejsc osiągnięcia maksymalnej wartości naprężeń rozciągających podczas chłodzenia można obliczyć ze wzorów

$$L_{1B} = \frac{\Delta\sigma}{2} \cdot \frac{A_s}{F_1} \quad (125)$$

$$L_{2B} = \frac{\Delta\sigma}{2} \cdot \frac{A_s}{F_2} \quad (126)$$

Graniczną minimalną długość **LWK** między dwoma kolanami kompensacyjnymi, dla której występuje zróżnicowanie wielkości wydłużenia podczas grzania i chłodzenia rurociągów można określić jako sumę

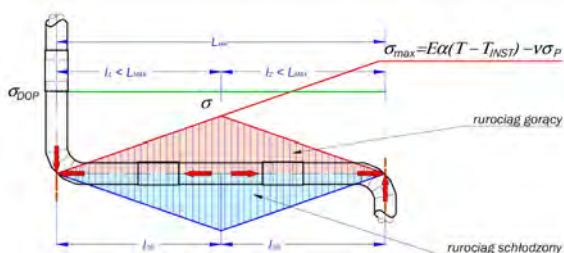
$$L_{GR} = L_{1B} + L_{2B} \quad (127)$$

„Skrócenie” odcinków rurociągu można obliczyć ze wzorów

$$\Delta L_{1B} = L_{1B} \cdot \alpha \cdot \Delta T - \frac{F_1 \cdot L_{1B}^2}{2 \cdot A_s \cdot E} \quad (128)$$

$$\Delta L_{2B} = L_{2B} \cdot \alpha \cdot \Delta T - \frac{F_2 \cdot L_{2B}^2}{2 \cdot A_s \cdot E} \quad (129)$$

Biorąc pod uwagę powyższe, można dokonać zróżnicowania ułożenia poduszek kompensacyjnych po stronie zewnętrznej i po stronie wewnętrznej kolana kompensacyjnego, jednak nie jest to zalecane w przypadku zastosowania kompensatorów mieszkowych, kiedy kolano kompensacyjne nie jest oddzielone od kompensatora rzeczywistym punktem stałym.



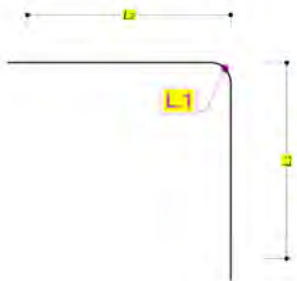
Rysunek 105: Rozkład naprężeń w krótkim odcinku rurociągu podczas ogrzewania i chłodzenia

W przypadku odcinków krótszych rozkład naprężeń, wydłużania i skracania, jest bardziej symetryczny i równy co do wielkości, stąd układanie poduszek powinno być jednakowe po obu stronach rurociągów.

12.3. Kompensacja wydłużeń układem typu „L”

12.3.1. Budowa

Kompensacja wydłużeń rurociągów typu „L” jest najprostszym układem samo-kompensacji stosowanym w sieciach ciepłych.



Rysunek 106: Kompensacja typu „L”

Składa się z jednego kolana i przylegających do niego dwóch prostych odcinków rurociągów sieci ciepłej.

Charakterystycznymi wielkościami mającymi wpływ na występujące w rurze przewodowej naprężenia są:

- długości odcinków przylegających a co za tym idzie wielkość ich wydłużenia ΔL_1 i ΔL_2 ,
- promień gięcia kolana,
- kąt zmiany kierunku (zalecane od $\alpha > 75^\circ$ oraz
- otoczenie, w jakim umieszczona jest część układu, której zadaniem jest przecięcie wydłużeń rurociągów.

12.3.2. Działanie

Poniżej przedstawione zostały wydruki z programu **RC0 Tadeusza Paszkiewicza** pozwalające lepiej poznać zjawiska zachodzące w miejscu wystąpienia kompensacji typu „L”.

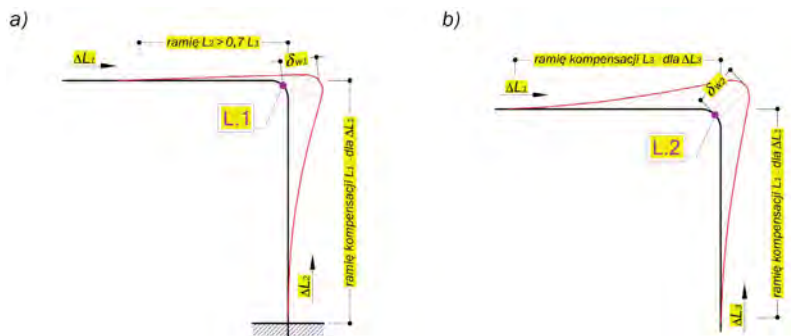
Rysunek w części oznaczonej **a)** przedstawia kompensację typu „L”, która z jednej strony przejmuje wydłużenie ΔL_1 , odcinka o długości L_{MAX} , natomiast drugi przylegający do kolana odcinek, jest zamocowany w ścianie betonowej. Jego długość jest równa minimalnej długości ramienia kompensującego **oznaczonego** L_1 , wymaganego do kompensacji wydłużenia ΔL_1 . Kompensacja przejmuje od tego odcinka wydłużenie o wielkości ΔL_2 .

W omawianym przypadku wielkości te równają się

- ΔL_1 . 100 mm
- ΔL_2 10 mm

Jak widać na rysunku, odkształcenie kompensacji rurociągu ogranicza się przede wszystkim, do odkształcenia odcinka, który stanowi ramię kompensacji dla odcinka L_{MAX} . Przemieszczenie wierzchołka kolana δ_{w1} jest zbliżone do wydłużenia odcinka i wynosi:

- δ_{w1} 100,5 mm



Rysunek 107: Współdziałanie kompensacji typu „L” z otoczeniem w miejscu strefy kompensacyjnej.
a) układ z minimalnym ramieniem kompensacji L_1 , b) układ z obustronnym przejmowaniem wydłużeń

Na rysunku w części oznaczonej **b)** pokazane jest odkształcenie rurociągów w strefie kompensacyjnej typ „L” w sytuacji, kiedy przejmuje ona podobne wydłużenia od obu przylegających odcinków rurociągów.

Z uwagi na wzrost temperatury osłony polietylenowej i ograniczenia co do grubości stref kompensacyjnych układ kompensacji typu „L” powinien być tak zaprojektowany, aby maksymalne przemieszczenie wierzchołka δ_w obliczone (dla kompensacji o kącie $\alpha = 90^\circ$ według wzoru:

$$\delta_w = \sqrt{\Delta L_1^2 + \Delta L_2^2} \quad (130)$$

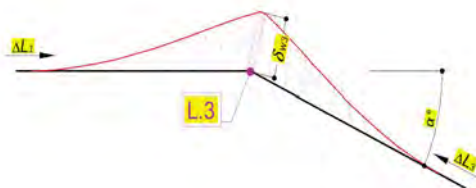
nie przekraczało dopuszczalnego przemieszczenia dla maksymalnej możliwej grubości strefy kompensacyjnej (Tabela 27).

Przedstawiony układ został tak zaprojektowany aby przemieszczenie wierzchołka kompensacji δ_{w2} było podobnej wartości, jak poprzednio δ_{w1} (obecnie w przykładzie 99 mm). Wymagało to znacznego zmniejszenia wartości wydłużeń ΔL_1 , i ΔL_2 (w przykładzie $\Delta L_1 = \Delta L_3 = 70$ mm) a uzyskało to, skracając do 70% długości występujących odcinków w stosunku do odcinka L_{MAX} .

Można wobec tego wyciągnąć wniosek, że w wielu przypadkach, zwłaszcza dla większych średnic rurociągów, kompensacja typu „L” nie powinna przejmować wydłużeń od długich odcinków prostych.

12.3.3. Przeciwwskazania

Kolejny wydruk z programu **RC0** obrazuje odkształcanie się rurociągów w okolicy kolana uznawanego za niekompensacyjne, do którego przylegają odcinki rurociągów o wydłużeniach jak w przykładzie poprzednim ΔL_1 , ΔL_3 70 mm). Dokonano zmiany kąta rozwarcia kolana (inaczej kąta odchylenia trasy sieci) na $\alpha = 25^\circ$. Jak widać, spowodowało to znaczny wzrost przemieszczenia δ_{w3} wierzchołka (w omawianym przykładzie 142 mm) w porównaniu z kompensacją o kącie $\alpha = 90^\circ$. Dodatkowo działania te powodują znaczny wzrost naprężeń w ścianie rury przewodowej nawet do wartości kilkukrotnie większej niż w przypadku kompensacji o kącie $\alpha = 90^\circ$



Rysunek 108: Zmiana kierunku nie będąca kompensacją typu „L”

Zmiany te występują w zakresach kąta α od 5° do 75° , zaś ekstremalne wartości naprężeń pojawiają się dla kątów α w granicach $25^\circ - 35^\circ$, stąd ogólny wniosek, aby projektując geometrię trasy sieci ciepłej unikać stosowania kolan o kątach 5° do 75° , zwłaszcza do zastosowań kompensujących wydłużenia. Ich użycie należy ograniczyć co najwyżej, do krótkich odcinków stosowanych w układach zastępczych.

12.3.4. Zasady doboru wielkości kompensacji „L”

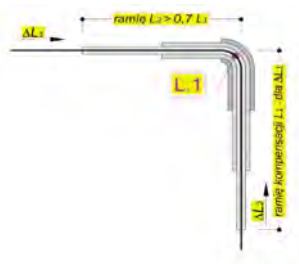
Doboru wielkości (długości) ramienia kompensacji naturalnej typu „L” dla odcinka o wydłużeniu ΔL należy dokonywać na podstawie załączonej tabeli.

Tabela została utworzona do prostego doboru wysięgu ramion „co pół metra”:

- dla długości odcinka L obliczamy wielkości wydłużenia ΔL ,
- dla tej wielkości wyszukujemy w kolumnach dla określonej średnicy najbliższą górną granicę zdolności kompensacyjnej ramienia,
- w nagłówku kolumny odczytujemy wymaganą długość ramienia kompensacyjnego L_1 ,
- analogicznie postępujemy dla drugiego przylegającego odcinka w celu wyznaczenia ramienia kompensacji L_2 .

12.3.5. Stosowanie poduszek kompensacyjnych

O ile dobierając długość ramienia kompensacyjnego, kierujemy się zakresem jego zdolności kompensacyjnych, o tyle w przypadku doboru poduszek kompensacyjnych i ich rozkładu możemy kierować się dokładną wielkością przemieszczenia wierzchołka kolana δ_w .



Rysunek 109: Stosowanie poduszek w kompensacji typu „L”

Jak widać było na wydrukach z programu **RC0**, krzywa odkształceń mocno zbliżona jest do linii prostej, dlatego dobierając poduszki, przy zachowaniu ich zdolności przejścia wydłużeń na poziomie **2/3** ich grubości, dla kompensacji typu „L”, możemy długość ramienia podzielić na ilość obliczonych warstw poduszek, w wyniku czego otrzymamy długość każdej części.

W przypadku występowania większej ilości warstw, pierwsze dwie części od strony wierzchołka należy zaokrąglić do **0,5** m w górę.

Należy obkładać rurociąg po obu stronach.

Ważnym jest aby kolano zostało obłożone najgrubszą strefą kompensacji na całej długości.

Tabela 28: Zdolności kompensacyjne układów „L – kształtowych”

SERIA 1 treścią STANDARD	Rury stalowe		Klasa liczba cykli	Zdolność przejmowania wydużeń (w mm) przez naturalne układy kompensacji typu „L” o podanych wystęgach.														
	d _n	t _n (mm)		t	L= 1,5 m	L= 2,0 m	L= 2,5 m	L= 3,0 m	L= 3,5 m	L= 4,0 m	L= 4,5 m	L= 5,0 m	L= 5,5 m	L= 6,0 m	L= 6,5 m	L= 7,0 m	L= 7,5 m	L= 8,0 m
DN 20/30	20	2,6/9	2,6	B 1000	do 25													
DN 25/90	25	3,3/7	2,6	B 1000	do 15	do 40												
DN 32/110	32	4,2/4	2,6	B 1000	do 10	do 30	do 50											
DN 40/110	40	4,8/3	2,9	B 1000	do 10	do 20	do 55											
DN 50/126	50	6,0/3	2,9	B 1000	do 5	do 25	do 50	do 70										
DN 65/140	65	7,6/1	2,9	B 1000	do 5	do 10	do 25	do 50	do 75									
DN 80/160	80	8,8/9	3,2	B 1000	do 5	do 15	do 30	do 50	do 80									
DN 100/200	100	11,4/3	3,6	C 1000	do 5	do 15	do 25	do 45	do 70	do 95								
DN 125/225	125	13,9/7	3,6	C 1000	do 5	do 10	do 30	do 55	do 80									
DN 150/250	150	16,8/3	4,0	C 1000		do 10	do 20	do 30	do 65	do 85	do 110							
DN 200/315	200	21,9/1	4,5	C 1000		do 15	do 20	do 30	do 40	do 50	do 60	do 80	do 105					
DN 250/400	250	27,3/0	5,0	C 1000		do 15	do 25	do 35	do 45	do 55	do 90	do 105	do 125					
DN 300/450	300	32,3/9	5,6	C 1000		do 10	do 20	do 30	do 40	do 50	do 60	do 80	do 100	do 130				
DN 350/500	300	35,6/6	5,6	C 1000		do 10	do 20	do 30	do 40	do 50	do 75	do 95	do 115	do 130				
DN 400/560	400	40,6/4	6,3	C 1000		do 10	do 20	do 30	do 40	do 50	do 65	do 80	do 95	do 115	do 140			
DN 450/630	450	45,7/0	6,3	C 1000		do 10	do 15	do 25	do 35	do 45	do 55	do 65	do 80	do 95	do 135			
DN 500/710	500	50,8/0	6,3	C 1000	do 5	do 10	do 15	do 20	do 35	do 55	do 70	do 90	do 115	do 140				
DN 600/800	600	61,0/0	7,1	C 1000	do 5	do 10	do 15	do 20	do 30	do 40	do 50	do 65	do 80	do 100	do 120	do 160		

12.4. Kompensacja wydłużeń układem typu „Z”

12.4.1. Budowa

W odróżnieniu od kompensacji naturalnej typu „L” kompensacja naturalna typu „Z” zbudowana jest z dwóch kolan, do których przylegają odcinki rurociągów, których wydłużenie zostanie przejęte przez układ kompensacyjny, oraz odcinka łączącego obydwie kolana. Długość tego odcinka decydującego o możliwościach kompensacyjnych układu.



Rysunek 110: Kompensacja typu „Z”

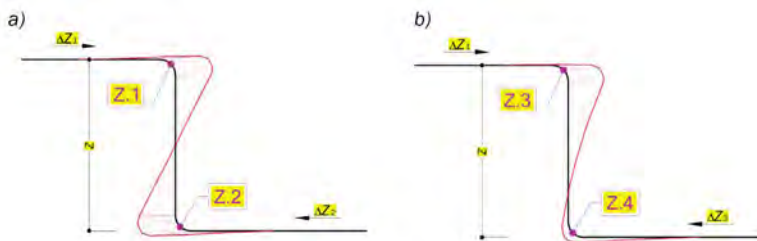
Istotne dla funkcjonowania i zdolności kompensacyjnej układu są również:

- długości odcinków przylegających, a co za tym idzie wielkość ich wydłużenia ΔZ_1 i ΔZ_2 ,
- promień gięcia kolan,
- kąt zmiany kierunku (zalecane jest stosowanie kompensacji typu „Z” z kolanami o kątach gięcia $\alpha = 90^\circ$ oraz
- otoczenie, w jakim umieszczona jest część układu, której zadaniem jest przejęcie wydłużeń rurociągów.

Charakterystycznym parametrem jest wysięg „Z” układu kompensacyjnego – patrz rysunek.

12.4.2. Działanie

Przedstawione poniżej wydruki z programu **RC0** pokazują sposób, w jaki kompensacja naturalna typu „Z” podlega odkształceniom w dwóch istotnych przypadkach.



Rysunek 111: Współdziałanie kompensacji typu „Z” z otoczeniem w miejscu wyst. pow. odkształceń. a) układ z symetrycznym rozkładem przyjmowanych wydłużeń, b) układ z niesymetrycznym rozkładem wydłużeń

W części, oznaczonej jako **a**) na rysunku, zobrazowane jest odkształcenie układu o wysięgu równym **Z** przejmującego z obu stron, symetrycznie, takie same wydłużenia $\Delta Z_1 = \Delta Z_2$ w przykładzie 120 mm każde od odcinków o długości L_{MAX} .

Jak widać, odkształcenie następujące w wyniku przejmowanych wydłużeń spowodowane jest przemieszczeniem się wierzchołków kolan kompensacji. Wierzchołki te przemieszczają się niemal wzdłuż osi przylegających do nich odcinków, a w związku z tym, przemieszczenia te, dla potrzeb doboru kompensacji, są równe wydłużeniom odcinków.

Ponadto na rysunku widzimy, że odcinki, których wydłużenia przejmuje kompensacja, podlegają odkształceniom poprzecznym do ich osi. Odkształcenia te zależą od średnicy rurociągów i wysięgu **Z** kompensacji. Układ pracuje symetrycznie, a punkt obrotu (punkt zerowy) znajduje się w środku ciężkości kompensacji.

W części, oznaczonej na rysunku jako **b**), zobrazowane jest z kolei odkształcenie układu o identycznym wysięgu równym **Z** przejmującego z obu stron, niesymetrycznie, wydłużenia $\Delta Z_1 \neq \Delta Z_2$ (w przykładzie ΔZ_1 115, zaś ΔZ_2 27 mm). Efekt ten uzyskano, zmniejszając długość jednego z odcinków, do wielkości równej około 11% długości drugiego odcinka.

Na rysunku widzimy nierównomierność pracy poszczególnych części kompensacji oraz zmianę lokalizacji „punktu zerowego”. Widzimy również, że odkształcenie części krótszego odcinka w okolicy miejsca łączenia się z kolanem, jest niemalże takie samo jak w przypadku pracy układu symetrycznego.

Oznacza to, że decydujący wpływ na wielkość kompensacji ma maksymalne jednostronne wydłużenie przejmowane przez układ kompensacyjny „**Z**”. Potwierdziły to inne obliczenia. Dodatkowo obliczenia wykazały, że kiedy wysięg kompensacji **Z**, zwiększy się do poziomu **> 95%** sumy długości stref kompensacyjnych L_1 dla ΔZ_1 i L_2 dla ΔZ_2 , należy zacząć rozpatrywać takie kompensacje jako dwa niezależne układy kompensacji naturalnej typu „**L**”.

12.4.3. Zasady doboru wielkości kompensacji „**Z**”

Kompensację naturalną typu „**Z**” można dobrać na podstawie tabeli zamieszczonej na końcu rozdziału dla dwóch przypadków:

- dla układu symetrycznego – poprzez sumowanie wydłużenia odcinków

$$\Delta Z = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 \quad (131)$$

i znalezienie w tabeli, analogicznie jak przy doborze kompensacji typu „**L**”, najbliższej górnej granicy, by odczytać w nagłówku kolumny wymagany wysięg **Z** kompensacji.

- dla układów niesymetrycznych – poprzez określenie maksymalnego wydłużenia odcinka przylegającego do kompensacji i na tej podstawie, analogicznie jak powyżej, znaleźć wymagany minimalny wysięg **Z** kompensacji. Wartości służące do doboru wysięgu dla układów niesymetrycznych wpisane są w tabeli kolorem czerwonym.

Dla średnic mniejszych, dla których maksymalny wysięg kompensacji wynosi **2,0 m** układy symetryczne i niesymetryczne, dobieramy tak samo.

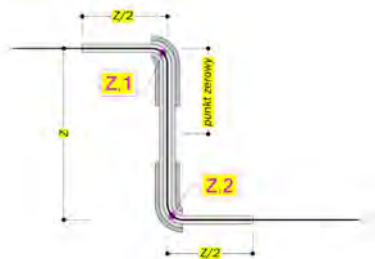
12.4.4. Stosowanie poduszek kompensacyjnych

Odmienne niż w układach kompensacji typu „L”, w kompensacji naturalnej typu „Z” doboru poduszek i grubości stref kompensacyjnych dokonujemy na podstawie wydłużeń poszczególnych odcinków przylegających do kolan kompensacji.

Pierwszą warstwą poduszek należy obłożyć, niezależnie od przejmowanych wydłużeń, cały wysięg „Z” kompensacji oraz przylegające do niej odcinki rurociągów na długości równej co najmniej:

0,5 wysięgu Z.

w każdą stronę (patrz rysunek).



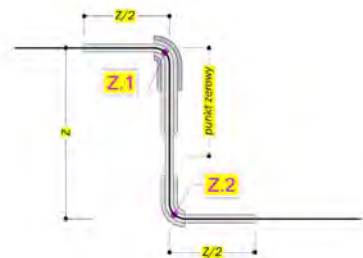
Rysunek 112: Stosowanie poduszek w kompensacji typu „Z” z symetrycznym rozkładem wydłużeń

W przypadku stosowania większej ilości warstw i układów symetrycznych należy je rozdzielić równomiernie na poprzecznym ramieniu kompensacji, pamiętając o tym, aby kolana zostały obłożone najgrubszą strefą kompensacji na całej długości.

W przypadku układów niesymetrycznych należy określić miejsce usytuowania „punktu zerowego” od kolana, które przejmuje większe wydłużenie. Można tego dokonać na podstawie wzoru:

$$Pkt .0 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_1 + \Delta Z_2} \cdot Z \quad (132)$$

Po zlokalizowaniu „punktu zerowego” należy rozłożyć równomiernie poduszki w obie strony, również pamiętając o tym, aby kolana zostały obłożone wyliczoną warstwą poduszek kompensacyjnych na całej długości (patrz rysunek).



Rysunek 113: Stosowanie poduszek w kompensacji typu „Z” z niesymetrycznym rozkładem wydłużeń

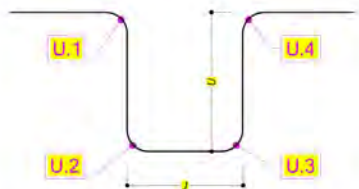
Tabela 29: Zdolności kompensacyjne układów „Z-kształtowych”

SERIA I Izolacja STANDARD	Rury stalowe			Klasa I liczba cykli	Zdolność przejmowania wydłużeń (w mm) przez naturalne układy kompensacji typu "Z" o podanych wysięgach, przy założeniu symetrycznego rozkładu wydłużeń $\Delta Z_1 = \Delta Z_2$ Dla większych średnic i rozkładów niesymetrycznych, obrotu kompensacji dokonywać na podstawie maksymalnego jedностороннего wydłużenia, którego wartość graniczną oznaczone zostały kolorem czerwonym.											
	dn	d _n [mm]	t [mm]		Z= 2,0 m	Z= 2,5 m	Z= 3,0 m	Z= 3,5 m	Z= 4,0 m	Z= 4,5 m	Z= 5,0 m	Z= 5,5 m	Z= 6,0 m	Z= 6,5 m	Z= 7,0 m	
DN 20/90	20	26,9	2,6	A 1000	do 50											
DN 25/90	25	33,7	2,6	A 1000	do 70											
DN 32/110	32	42,4	2,6	A 1000	do 70											
DN 40/110	40	48,3	2,9	A 1000	do 90											
DN 50/125	50	60,3	2,9	A 1000	do 100											
DN 65/140	65	76,1	2,9	A 1000	do 110											
DN 80/160	80	88,9	3,2	A 1000	do 120											
DN 100/200	100	114,3	3,6	C 1000	do 32 do 15	do 45 do 22	do 60 do 30	do 75 do 37	do 95 do 47	do 110 do 55	do 140 do 70					
DN 125/225	125	139,7	3,6	C 1000	do 35 do 17	do 50 do 25	do 65 do 32	do 75 do 37	do 90 do 45	do 105 do 52	do 160 do 80					
DN 150/250	150	168,3	4,0	C 1000	do 35 do 17	do 40 do 20	do 55 do 27	do 70 do 35	do 80 do 40	do 95 do 47	do 110 do 55	do 130 do 65	do 150 do 75	do 180 do 95		
DN 200/315	200	219,1	4,5	C 1000	do 40 do 20	do 50 do 25	do 65 do 32	do 75 do 37	do 85 do 42	do 95 do 47	do 110 do 55	do 125 do 62	do 155 do 77	do 210 do 107		
DN 250/400	250	273,0	5,0	C 650	do 30 do 15	do 45 do 22	do 60 do 30	do 75 do 37	do 85 do 42	do 95 do 47	do 110 do 55	do 135 do 67	do 155 do 77	do 230 do 115		
DN 300/450	300	323,9	5,6	C 650	do 45 do 22	do 60 do 30	do 75 do 37	do 90 do 45	do 100 do 50	do 110 do 55	do 120 do 60	do 130 do 67	do 150 do 77	do 200 do 100	do 265 do 132	
DN 350/500	350	395,6	5,6	C 650	do 70 do 35	do 85 do 42	do 100 do 50	do 110 do 55	do 120 do 60	do 130 do 67	do 150 do 77	do 170 do 85	do 200 do 100	do 260 do 130		
DN 400/560	400	406,4	6,3	C 650	do 65 do 32	do 80 do 40	do 95 do 47	do 110 do 55	do 120 do 60	do 130 do 67	do 150 do 77	do 170 do 85	do 200 do 100	do 260 do 130	do 290 do 145	
DN 450/630	450	457,0	6,3	C 650	do 65 do 32	do 80 do 40	do 95 do 47	do 110 do 55	do 120 do 60	do 130 do 67	do 150 do 77	do 170 do 85	do 200 do 100	do 260 do 130	do 290 do 145	
DN 500/710	500	508,0	6,3	C 650	do 60 do 30	do 75 do 37	do 90 do 45	do 100 do 50	do 110 do 55	do 120 do 60	do 130 do 67	do 150 do 77	do 170 do 85	do 200 do 100	do 240 do 110	
DN 600/800	600	610,0	7,1	C 650	do 35	do 45	do 55	do 65	do 75	do 85	do 95	do 105	do 115	do 125	do 135	

12.5. Kompensacja wydłużeń układem typu „U”

12.5.1. Budowa

Kompensacja naturalna typu „U” zbudowana jest na bazie czterech kolan, przy czym do dwóch z nich przylegają odcinki rurociągów, których wydłużenie zostanie przejęte przez układ kompensacyjny. Kształt i wymiary fragmentu rurociągu między kolanami **U.1** i **U.4** (patrz rysunek) decydują o zdolności kompensacyjnej tego układu.



Rysunek 114: Kompensacja typu „U”

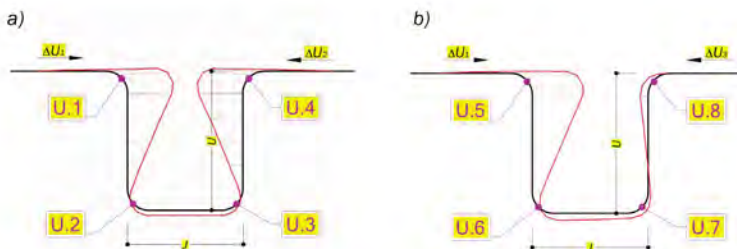
Podobnie jak w przypadku innych kompensacji naturalnych, istotne dla funkcjonowania i zdolności kompensacyjnej układu są również:

- długości odcinków przylegających do pierwszych kolan kompensacji, a co za tym idzie wielkość ich wydłużenia ΔU_1 i ΔU_2 ,
- promień gięcia kolan,
- kąt zmiany kierunku (zalecane jest stosowanie kompensacji typu „U” z kolanami **U.1** i **U.4** o kątach gięcia $\alpha = 90^\circ$ oraz
- otoczenie, w jakim umieszczona jest część układu, której zadaniem jest przejęcie wydłużeń rurociągów.

Charakterystyczne parametry to wysięg **U** układu kompensacyjnego (patrz rysunek) oraz jego rozstaw **J**, który w technologii **RADPOL** bazuje na typowych wymiarach kolan preizolowanych produkowanych przez zakład. Wymiary te podane zostały w tabeli na końcu rozdziału.

12.5.2. Działanie

Podobnie jak w przypadku kompensacji typu „Z” przedstawione poniżej wydruki z programu **RC0** pokazują sposób, w jaki kompensacja naturalna typu „U” podlega odkształceniom w gruncie.



Rysunek 115: Współdziałanie kompensacji typu „U” z otoczeniem w miejscu występowania odkształceń. a) układ z symetrycznym rozkładem przejmowanych wydłużeń, b) układ z niesymetrycznym rozkładem wydłużeń

W części, oznaczonej jako a) na rysunku zobrazowane jest odkształcenie układu o wysięgu równym U przejmującego z obu stron, symetrycznie, takie same wydłużenia $\Delta U_1 = \Delta U_2$ (w przykładzie 110 mm każde od odcinków o długości L_{MAX}).

Jak widać, odkształcenie następujące w wyniku przejmowanych wydłużeń spowodowane jest przemieszczeniem się wierzchołków kolan kompensacji U.1 i U.4. Wierzchołki te przemieszczają się niemal wzdłuż osi przylegających do nich odcinków, a w związku z tym, przemieszczenia te, dla potrzeb doboru kompensacji, są równe wydłużeniom odcinków ΔU_1 i ΔU_2 .

Ponadto na rysunku widzimy, że odcinki, których wydłużenia przejmuje kompensacja, podlegają odkształceniom poprzecznym do ich osi. Odkształcenia te zależą od średnicy rurociągów i wysięgu Z kompensacji. Cały układ kompensacji pracuje symetrycznie, łącznie z odcinkiem pomiędzy kolanami U.2 i U.3. Także on ulega przemieszczeniu.

W części, oznaczonej na rysunku jako b), zobrazowane jest z kolei odkształcenie układu o identycznym wysięgu równym U przejmującego z obu stron, niesymetrycznie, wydłużenia $\Delta U_1 \neq \Delta U_2$ (w przykładzie ΔU_1 120, zaś ΔU_2 21 mm). Efekt ten uzyskano, podobnie jak w przypadku kompensacji typu „Z” zmniejszając długość jednego z odcinków, do wielkości równej około 11% długości drugiego odcinka.

Na rysunku widzimy nierównomierność pracy poszczególnych części kompensacji, ale widzimy również ciągłą pracę i odkształcenie odcinka pomiędzy kolanami U.2 i U.3.

Oznacza to, podobnie jak w układach typu „Z”, że dobierając kompensację typu „U”, należy uwzględnić decydujący wpływ na wielkość kompensacji maksymalnego jednostronnego wydłużenia przejmowanego przez układ kompensacyjny „U”.

12.5.3. Zasady doboru wielkości kompensacji „U”

Kompensację naturalną typu „U” można dobrać na podstawie tabeli zamieszczonej na końcu rozdziału analogicznie jak dla kompensacji typu „Z”.

- dla układu symetrycznego – poprzez sumowanie wydłużenia odcinków

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 \quad (133)$$

i znalezienie w tabeli najbliższej górnej granicy, by odczytać w nagłówku kolumny wymagany wysięg **U** kompensacji.

- dla układów niesymetrycznych – poprzez określenie maksymalnego wydłużenia odcinka przylegającego do kompensacji i na tej podstawie, analogicznie jak powyżej, znaleźć wymagany minimalny wysięg „U” kompensacji. Wartości służące do doboru wysięgu dla układów niesymetrycznych wpisane są w tabeli kolorem czerwonym.

Dla średnic mniejszych, dla których maksymalny wysięg kompensacji wynosi **2,0 m** układy symetryczne i niesymetryczne, dobieramy tak samo.

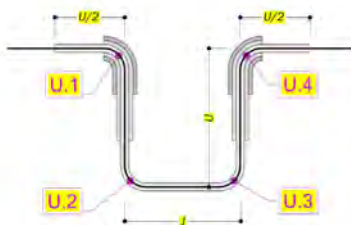
12.5.4. Stosowanie poduszek kompensacyjnych

W przypadku kompensacji typu „U” dobór poduszek i grubości stref kompensacyjnych następuje na podstawie wydłużeń poszczególnych odcinków przylegających do kolana kompensacji **U.1** i **U.4**.

Pierwszą warstwą poduszek należy obłożyć, niezależnie od przejmowanych wydłużeń, cały układ kompensacji od kolana **U.1** do kolana **U.4** oraz przylegające do niej odcinki rurociągów na długości równej co najmniej:

0,5 wysięgu **U**.

w każdą stronę (patrz rysunek)



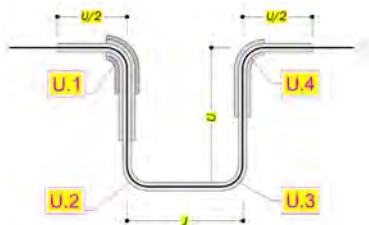
Rysunek 116: Stosowanie poduszek w kompensacji typu „U” z symetrycznym rozkładem wydłużeń

W przypadku stosowania większej ilości warstw i układów symetrycznych należy je rozdzielić równomiernie na ramionach kompensacji, pamiętając o tym, aby kolana **U.1** i **U.4** zostały obłożone wyliczoną warstwą poduszek kompensacyjnych na całej długości (patrz rysunek).

W przypadku układów pracujących przy niesymetrycznych wydłużeniach część kompensacji od strony większego wydłużenia obkładamy poduszkami, dobierając ich ilość do obliczonego wydłużenia.

W przypadku ramienia przejmującego mniejsze wydłużenia postępujemy podobnie, uwzględniając w doborze grubości poduszek mniejsze wydłużenie przylegającego odcinka (patrz rysunek).

Ramiona kompensatora obkładamy na całej ich długości.



Rysunek 117: Stosowanie poduszek w kompensacji typu „U” z niesymetrycznym rozkładem wydłużeń

Tabela 30: Zdolności kompensacyjne układów „U – kształtowych”

SERIA I Izolacja STANDARD	Rury stalowe			Rozstaw [mm]	Klasa i liczba cykli	Zdolność przejmowania wydłużeń (w mm) przez naturalne układy kompensacji typu „U” o podanych wystęgach, przy założeniu symetrycznego rozkładu wydłużeń $\Delta U_1 = \Delta U_2$ Dla większych średnic i rozkładów niemieszanych, doboru kompensacji dokonywać na podstawie maksymalnego jednostrojnego wydłużenia, którego wartości graniczne oznaczone zostały kolorem czerwonym.											
	dn [mm]	d ₁ [mm]	t [mm]			J [mm]	U= 2,0 m	U= 2,5 m	U= 3,0 m	U= 3,5 m	U= 4,0 m	U= 4,5 m	U= 5,0 m	U= 5,5 m	U= 6,0 m	U= 6,5 m	U= 7,0 m
DN 20/90	20	26,9	2,6	2,48	B 1000	do 50											
DN 25/90	25	33,7	2,6	2,48	B 1000	do 70											
DN 32/110	32	42,4	2,6	2,52	B 1000	do 70											
DN 40/110	40	48,3	2,9	2,52	B 1000	do 90											
DN 50/125	50	60,3	2,9	2,55	B 1000	do 100											
DN 65/140	65	76,1	2,9	2,58	B 1000	do 110											
DN 80/160	80	88,9	3,2	2,62	B 1000	do 120											
DN 100/200	100	114,3	3,6	2,70	C 1000	do 70	do 140										
						do 35	do 70										
DN 125/225	125	139,7	3,6	2,75	C 1000	do 80	do 105	do 155									
						do 40	do 50	do 77									
DN 150/250	150	168,3	4,0	3,00	C 1000	do 80	do 100	do 180									
						do 40	do 50	do 90									
DN 200/315	200	219,1	4,5	3,13	C 1000	do 70	do 100	do 135	do 210								
						do 35	do 50	do 67	do 105								
DN 250/400	250	273,0	5,0	3,30	C 1000	do 75	do 105	do 140	do 225								
						do 37	do 52	do 70	do 112								
DN 300/450	300	323,9	5,6	4,40	C 1000		do 100	do 130	do 165	do 265							
							do 50	do 65	do 82	do 137							
DN 350/500	350	355,6	5,6	4,50	C 1000		do 100	do 125	do 155	do 255							
							do 50	do 62	do 77	do 127							
DN 400/550	400	406,4	6,3	4,62	C 1000		do 115	do 145	do 175	do 290							
							do 57	do 72	do 87	do 145							
DN 450/630	450	457,0	6,3	4,86	C 1000		do 125	do 160	do 200	do 290							
							do 62	do 80	do 100	do 145							
DN 500/710	500	508,0	6,3	5,02	C 1000		do 130	do 165	do 200	do 280							
							do 65	do 82	do 100	do 140							
DN 600/800	600	610,0	7,1	5,20	C 1000		do 125	do 160	do 205	do 310							
							do 62	do 80	do 102	do 155							

13. Projektowanie systemów 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.

Niezależnie od zasady działania systemu, ważne jest, by przy jego pomocy możliwe było, jak najwcześniejsze wykrycie i zlokalizowanie pojawiającej się awarii.

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 umieszczone 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 stosowana również specjalnie przygotowana izolacja króćca odpowietrzenia, odwodnienia bądź trzpienia zaworu.

13.1. System rezystancyjny

Podstawową zaletą tego systemu jest techniczna możliwość rozpoznania niewiarygodnie małych ilości cieczy w izolacji i natychmiastowa ich lokalizacja z bardzo wysoką precyzją.

W ten sposób możliwa staje się prewencyjna obserwacja kontrolowanej sieci, wczesne uchwycenie i likwidacja zarzewia późniejszego problemu, który niezauważony w porę, mógłby uczynić duże spustoszenie w izolacji.

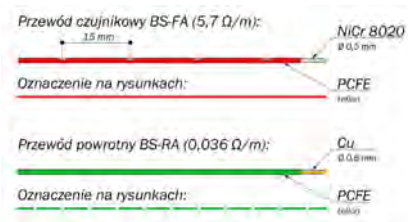
13.1.1. Budowa

Układ ten w podstawowej warstwie składa się z przewodu oporowego (w konkretnym przypadku tutaj, jest to stop chromo-nikieliny o oporności własnej $5,7 \Omega/m$).

Czerwony przewód aktywny – zwany przewodem czujnikowym o symbolu **BS-FA** spełnia funkcję nerwu systemu i na planie jest zawsze oznaczany linią koloru czerwonego, bądź na rysunkach czarno-białych linią ciągłą grubą.

Przewód ten w kombinacji z drugim przewodem – powrotnym, tworzy zamknięty obwód pomiarowy tzw. pętlę pomiarową rozciągniętą równolegle wzdłuż całego kontrolowanego odcinka i wykorzystywaną przez lokalizator jako układ odniesienia.

Przewód powrotny – **zielony** – nosi symbol **BS-RA** i na planie zawsze zaznaczany jest linią zieloną przerywaną, zieloną ciągłą lub na rysunkach czarno-białych cienką linią przerywaną.



Rysunek 18: Przewody systemu rezystancyjnego

13.1.2. Jednolite zasady produkcji elementów preizolowanych dla systemu BRANDES

W systemie rezystancyjnym **BRANDES** występuje ściśle określony zakres reguł, których przestrzeganie warunkuje prawidłowość interpretacji wskazań systemu w funkcji „Lokalizacja”.

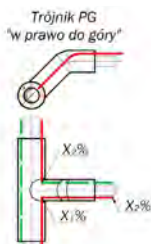
Wszystkie kształtki prefabrykowane są wykonywane według tego samego schematu i jakiegokolwiek odstępstwa od tego są niedopuszczalne!

W kolanach (łukach) prefabrykowanych przewody ułożone są jak w rurach prostych.

Bez względu na relację źródło-odbiór mocy itp. wszystkie trójniki preizolowane wykonywane są według typowej reguły „na prawo do góry”.

Oznacza to, że przewód **czerny** jest w trójniku przecinany i prowadzony odgałęzieniem na prawo do góry do końca rury, gdzie zostaje „zmostkowany” i przewodem powrotnym wpinany jest z powrotem do przewodu czernego. Przewód **zielony** przechodzi przez trójnik zawsze „na wylot”.

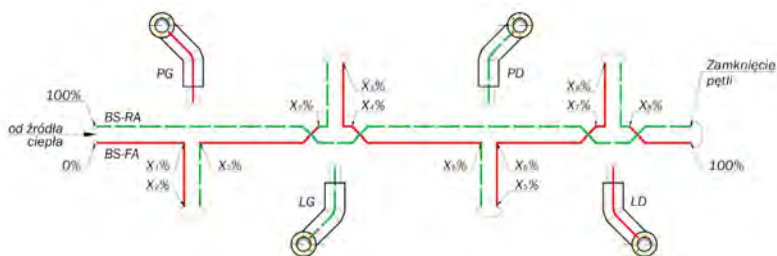
Potrzebne zmiany ułożenia trójnika osiąga się przez jego odpowiedni obrót wzdłuż osi symetrii rury głównej i/lub osi symetrii odgałęzienia.



Rysunek1 19: Przewody w trójnikach

Krzyżowanie przewodów w systemie BRANDES jest całkowicie dopuszczalne.

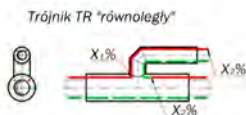
Dostosowanie kierunku przebiegu przewodów osiąga się odpowiednio — przez obrót wokół jednej z osi symetrii.



Rysunek 120: Stosowanie trójników odgałęziających się w różnych kierunkach

Zastosowanie odgałęzień równoległych bezwzględnie wymaga oznaczenia na projekcie oraz szczególnej uwagi ze strony nadzoru budowlanego.

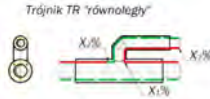
Okablowanie odgałęzień równoległych w technologii **RADPOL PIPES** wykonywane jest według zasady „**łuk zewnętrzny**”, co oznacza, że przewód czujnikowy jest przecinany w trójniku i biegnie łukiem zewnętrznym w stronę odrzutu.



Rysunek 121: Okablowanie trójnika równoległego w technologii RADPOL PIPES

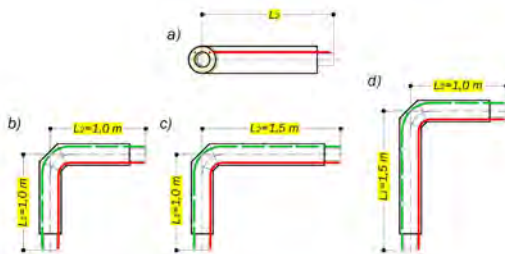
UWAGA!

Okablowanie odgałęzień równoległych w technologii **RADPOL PIPES** odbiega istotnie od zaleceń twórców oryginalnego systemu rezystancyjnego **BRANDES**. W oryginale okablowanie odgałęzień równoległych wykonywane jest zgodnie z zasadą „łuku wewnętrznego”, co oznacza, że przewód czujnikowy jest przecinany w trójniku i biegnie łukiem wewnętrznym w stronę odrzutu.



Rysunek 122: Oryginalny trójnik BRANDES

W technologii **RADPOL PIPES** dodatkowo utrzymywane są jednolite zasady wykonywania kolan preizolowanych. Sposób ich okablowania przedstawia poniższy rysunek.



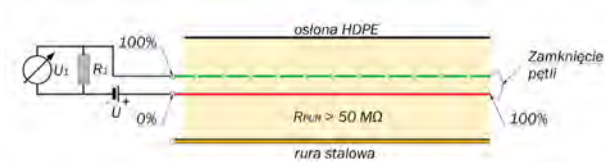
Rysunek 123: Okablowanie kolan w technologii RADPOL

- a) usytuowanie kabli 10:10, b) kolano symetryczne 1,0x1,0, c) kolano niesymetryczne 1,0x1,5, d) kolano niesymetryczne 1,5x1,0

13.1.3. Zasada działania

Urządzenia stale nadzorujące pracują w trzech trybach roboczych.

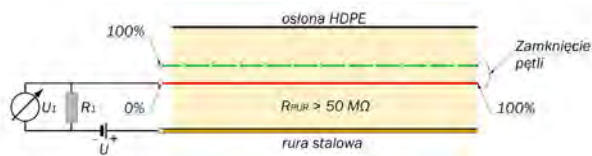
a) sprawdzanie stanu pętli pomiarowej – kontrola ciągłości



Rysunek 124: Kontrola ciągłości pętli pomiarowej

W tym trybie kontrolowany jest stan pętli i reakcja systemu następuje wskutek jej przerwania.

b). wykrywanie zmian w rezystancji izolacji – detekcja

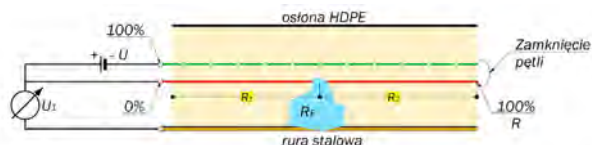


Rysunek 125: Detekcja

Między przewodem czujnikowym w izolacji cieplnej, umieszczonym równoległe do rury, a samą rurą przykładane jest określone napięcie U :

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_F} \quad (134)$$

c). wskazanie miejsca wystąpienia groźnej anomalii – lokalizacja



Rysunek 126: Lokalizacja

W celu zlokalizowania zawilgocenia lub zwarcia (uszkodzenie instalacji) do pętli czujnikowej przykładane jest napięcie lokalizujące (U).

Na początku pętli czujnikowej, między przewodem czujnikowym a rurą, mierzone jest napięcie częściowe U do miejsca przecieku. Zmierzone napięcie częściowe wyświetlane jest jednak nie w V , lecz w procentach napięcia całkowitego i stanowi tym samym wynik lokalizacji. Ponieważ przewód czujnikowy ma bardzo wysoki opór jednostkowy $5,7\Omega/m$, którego wartość dla przewodu powrotnego jest bliska zeru, otrzymujemy następującą zależność:

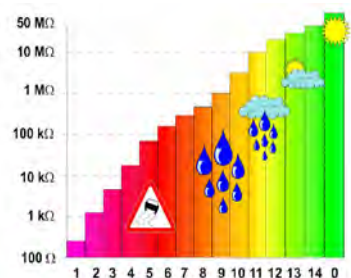
$$X\% = \frac{U_1}{U} \cdot 100\% = \frac{R_1}{R} \cdot 100\% = \frac{L_1}{L} \cdot 100\% \quad (135)$$

Intensywność zawilgocenia powstałego w wyniku uszkodzenia izolacji, dzięki odpowiedniej konstrukcji urządzenia pomiarowego, nie ma wpływu na dokładność lokalizacji.

Odległość od miejsca uszkodzenia, a tym samym jego położenie — ustalana jest w oparciu, o całkowitą długość odcinka rury z uwzględnieniem szeregowego połączenia „pętli czujnikowych/powrotnych”. Mierzona jest ona wzdłuż przewodu czujnikowego; miedziany przewód powrotny traktowany jest w obliczeniach jako „**długość zerowa**”.

13.1.4. Skala MH

Dla potrzeb określenia poziomu suchości izolacji firma **BRANDES** wprowadziła skalę **MH**, gdzie poszczególnym opornościom izolacji odpowiadają odpowiednie stopnie skali **MH**.



Rysunek 127: Skala MH

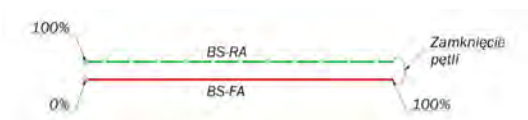
Dla zachowania dokładności pomiarów i lokalizacji, zalecenia firmy **BRANDES** określają wymagany stan izolacji w zależności od długości pętli pomiarowej:

- < 300 m – stan izolacji **0 MH**
- 300 do 500 m – stan izolacji **14 MH**
- 500 do 800 m – stan izolacji **13 MH**
- 800 do 1000 m – stan izolacji **12 MH**

przy czym **BS-MH 12** odpowiada oporności izolacji na poziomie >10 MΩ.

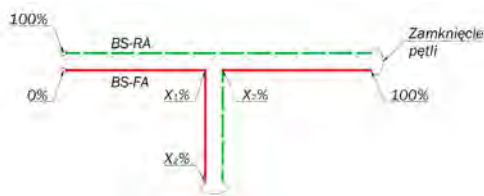
13.1.5. Tworzenie pętli pomiarowych

Pętlę pomiarową tworzą oba przewody w izolacji cieplnej ułożone równolegle wzdłuż, pomiędzy rurami: przewodową i osłonową.



Rysunek 128: Pętla pomiarowa bez odgałęzień

Pętla musi być zawsze ciągła, tj. zamknięta z jednego końca mostkiem w puszcze końcowej, zaś w przypadku rurociągów rozgałęzionych — na każdej parze końcowej rur.



Rysunek 129: Pętla pomiarowa z odgałęzieniem

Długość pętli pomiarowej odpowiada zawsze długości rury i wynosi zawsze 100%. Przy czym pod pojęciem tym rozumiemy z reguły tylko długość przewodu czerwonego.

Na planie musi być zaznaczony każdy punkt charakterystyczny trasy: trójnik, kolano, komora, punkt stały itd.

Na rysunkach powyżej pokazany został sposób pomiaru długości pętli i oznaczenia w punktach charakterystycznych w systemie rezystancyjnym.

Aparaty do kontroli ciągłej mogą być instalowane w pomieszczeniach typu centrala ciepła, dyspozytornia, mieszkanie dozorczy itp. W przypadku instalowania drukarki należy ją umieścić w pobliżu aparatu centralnego.

Projektowaną sieć ciepłowniczą należy podzielić na odcinki pomiarowe o maksymalnej długości równej **1000 m** (uwzględniając także odgałęzienia), to znaczy, że odcinek sieci ciepłej o długości **1000 m** oznacza **dwie niezależne pętle** pomiarowe zasilania i powrotu, każda o długości **1000 m**.

13.1.6. Część techniczna dotycząca wyposażenia rurociągu

Celem projektowania części technicznej dotyczącej wyposażenia rurociągu jest określenie, jakie elementy systemu i w jakiej ilości są niezbędne dla sprawnej kontroli sieci ciepłowniczej. Korzystając z tabeli, można określić części składowe systemu **BRANDES** dla preizolowanych rur stalowych (rura wewnętrzna, przez którą przepływa czynnik, wykonana z materiału przewodzącego prąd elektryczny) z płaszczem z tworzywa sztucznego.

Montaż poszczególnych elementów musi być wykonywany zgodnie z zaleceniami systemu **BRANDES** i obowiązującymi regulami techniki.

Tabela 31: Części składowe systemu rezystancyjnego BRANDES

System rezystancyjny - części składowe	
Nazwa	Ilość
Przewód czujnikowy BS-FA (czerwony)	dla dn ≤ 400 mm - 1 m na 1 m rury lub elementu preizolowanego dla dn ≥ 450 mm - 2 m na 1 m rury lub elementu preizolowanego
Przewód powrotny BS-BS-RA (zielony)	dla dn ≤ 400 mm - 1 m na 1 m rury lub elementu preizolowanego dla dn ≥ 450 mm - 2 m na 1 m rury lub elementu preizolowanego
Łącznik BS-RFA (lub ZPB)	w miejscu zaistalowania aparatu kontrolnego lub puszki pomiarowej dla dn ≤ 400 mm - 1 szt. na koniec przewodu rurowego dla dn ≥ 450 mm - 2 szt. na koniec przewodu rurowego
Puszka przyłączeniowa BS-AD (lub PPA)	dla dn ≤ 400 mm - 1 szt. na koniec pary rur dla dn ≥ 450 mm - 2 szt. na koniec pary rur
Puszka pomiarowa BS-MD (lub PPM)	dla dn ≤ 400 mm - 1 szt. na koniec pary rur dla dn ≥ 450 mm - 2 szt. na koniec pary rur
Tulejka zaciskowa BS-QU	dla dn ≤ 400 mm - 2 szt. na mufę dla dn ≥ 450 mm - 4 szt. na mufę
Tulejka termokurczliwa BS-SRA	dla dn ≤ 400 mm - 2 szt. na mufę dla dn ≥ 450 mm - 4 szt. na mufę
Przewód dwuzłotowy BS-SL2 (lub ME2019K2)	3 m na każde zamknięcie petli w puszcze pomiarowej
Przewód czterozłotowy BS-SL4 (lub ME2019TK4)	3 m na punkt pomiarowy
Protokół pomiarowy ze szkicem petli	co najmniej 1 szt. na petlę
Podkładka dystansowa BS-AH	dla dn ≤ 400 mm - 2 szt. na mufę dla dn ≥ 450 mm - 4 szt. na mufę

13.1.7. Projektowanie – część aparaturowa

Część ta obejmuje ustalenie aparatów kontrolujących poszczególne petle, zaprojektowanie ich okablowania wraz z przygotowaniem dokumentacji.

Część ta dzieli się następująco:

- narzędzia i aparaty do montażu

Tabela 32: Narzędzia i aparaty do montażu systemu

System rezystancyjny - narzędzia i urządzenia	
Nazwa	Narzędzie / Aparat
cięcie przewodów kontrolnych	Szczypcy do cięcia drutu z hartowanymi ostrzami
zdejmowanie izolacji	Szczypcy do odizolowywania BS-AZ
zaczyskanie tulejek BS-QU	Szczypcy zaciskowe BS-QZ
obkurczanie tulejek termokurczliwych BS-SRA	Nagrzewnica powietrzna np. DT 750
pomiary stanu izolacji i długości petli	Aparat do kontroli ręcznej BS-MH3 lub LH-20S
pomiary kontrolne oporności czynnej	Cyfrowy miernik uniwersalny

- aparaty do ręcznej kontroli i lokalizacji

Tabela 33: Wyposażenie do celów ręcznej kontroli i lokalizacji

System rezystancyjny - ręczna lokalizacja (do 500 m)	
Nazwa	Ilość
Ręczny aparat kontroli BS-MH2 (lub LH20S)	1 szt. dla zespołu monitorującego instalację alarmową
Puszka pomiarowa BS-MD (lub PPM) wraz z przewodem przyłączeniowym	1 szt. dla zespołu monitorującego instalację alarmową

- aparaty do kontroli ciągłej
- aparaty kontrolne i urządzenia z automatyczną lokalizacją

13.1.8. Podłączenie urządzeń

Dla rurociągów preizolowanych mogą być stosowane:

- aparaty kontrolne bez automatycznej lokalizacji
- aparaty kontrolne z automatyczną lokalizacją

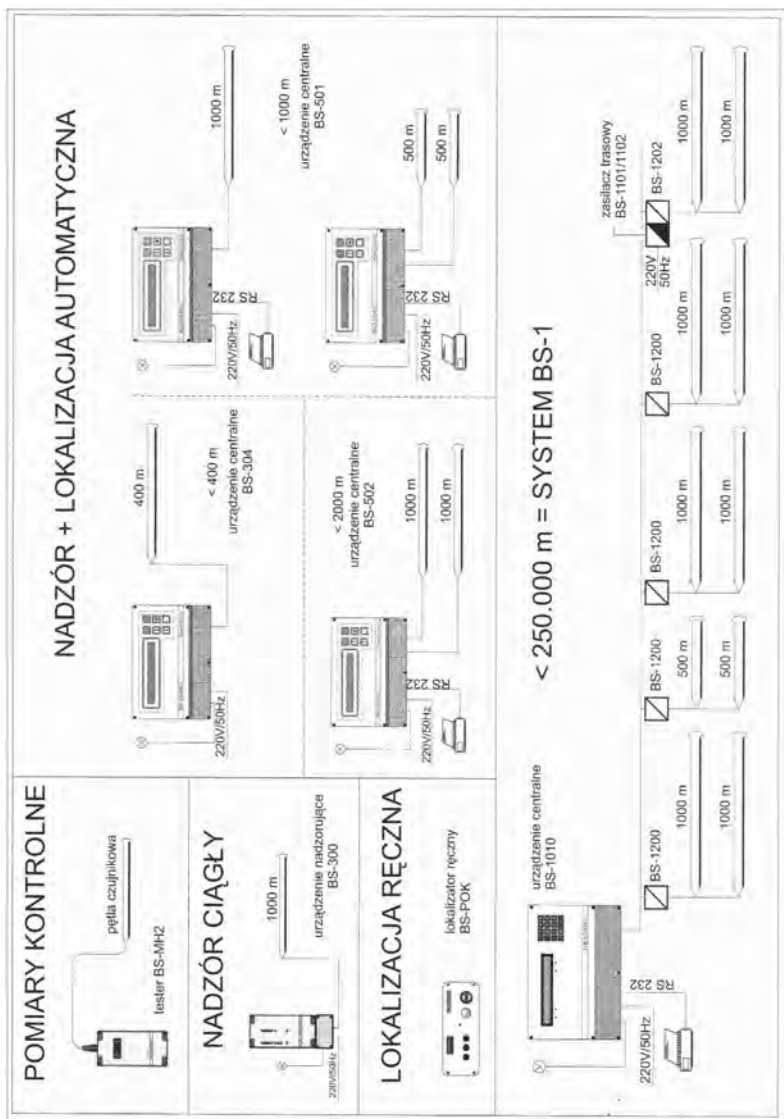
Aparaty kontrolne (liczniki trasowe) muszą być zainstalowane w suchych pomieszczeniach, dozwolony przedział temperatury otoczenia **0÷40°C**.

Wilgotne lub mokre pomieszczenia stwarzają zagrożenie dla bezawaryjnej pracy urządzeń elektronicznych.

Jako miejsce instalacji możemy wykorzystywać wszystkie znajdujące się na danej trasie węzły ciepne. Aparaty nie muszą być przyłączane na początku kontrolowanych odcinków (patrząc od strony ciepłowni). Każdy koniec przewodu rurowego stwarza możliwość podłączenia odpowiedniego aparatu.

Jeżeli zaistnieje konieczność instalowania aparatów na zewnątrz budynków, urządzenia należy umieścić w specjalnie do tego celu przystosowanych obudowach.

13.1.9. Składniki systemu

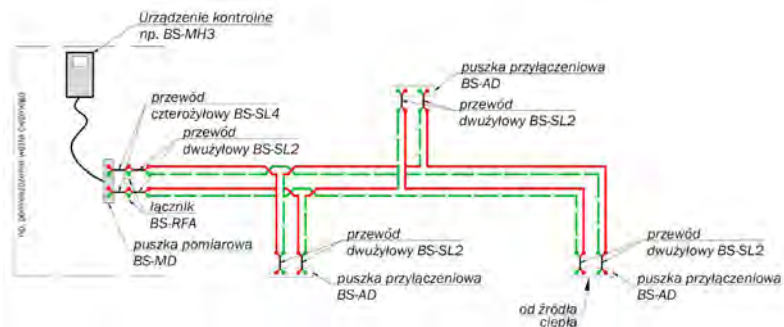


Rysunek 130: Zestawienie elementów systemu rezystancyjnego BRANDES

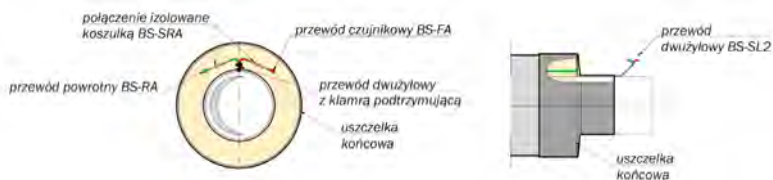
13.1.10. Schemat pomiarowy

W dalszej części przedstawiono przykładowy schemat montażowy oraz rysunki

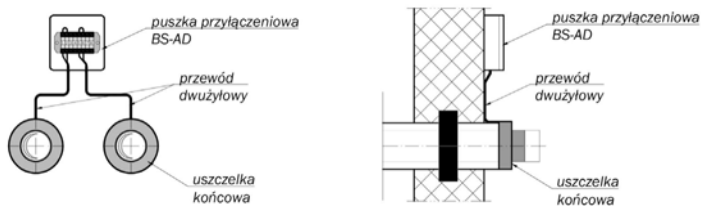
przedstawiające najważniejsze sposoby instalacji oprzyrządowania systemu rezy-stancyjnego.



Rysunek 131: Schemat pomiarowy dla BS-MH3



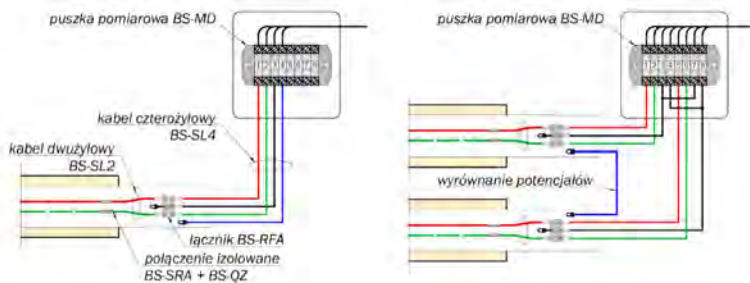
Rysunek 132: Wyprowadzenie przewodów spod uszczelki końcowej termokurczliwej – łączenie przewodów kontrolnych z przewodem dwużyłowym



Rysunek 133: Montaż i podłączenie puszki przyłączeniowej



Rysunek 134: Wyprowadzenie przewodów do pomiarów



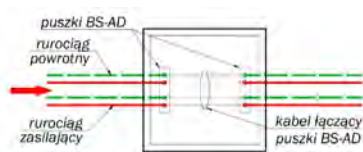
Rysunek 135: Podłączenie puszki pomiarowej BS-MD dla układu pętli pojedynczej i pętli wspólnej

Oznaczenie zacisków w puszcze pomiarowej jest stałe wg poniższego opisu:

- przewód czujnikowy – ZASILENIE (1)
- przewód powrotny – ZASILENIE (2)
- przyłączenie do rury – ZASILENIE (3)
- rezerwa – uziemienie (4)
- przewód czujnikowy – POWRÓT (5)
- przewód powrotny – POWRÓT (6)
- przyłączenie do rury – POWRÓT (7)
- rezerwa – uziemienie (8)

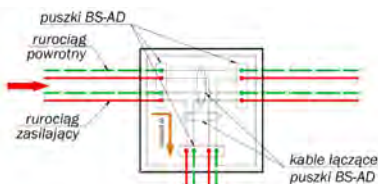
13.1.11. Połączenia systemu w komorach

W komorach, gdzie następuje przerwa ciągłości preizolacji, przewody między dwoma końcami rur należy łączyć z użyciem puszek i kabli dwużyłowych.

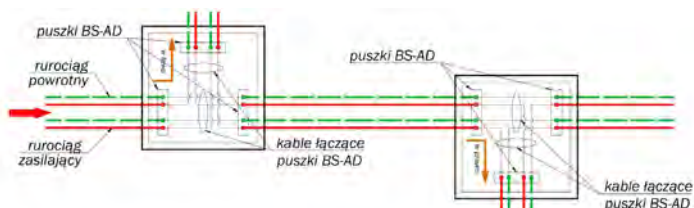


Rysunek 136: Połączenia systemu w komorze

Omówioną wcześniej regułę prawostronności stosowaną w trójnikach należy również stosować w przypadku łączenia rurociągów preizolowanych w komorach.



Rysunek 137: Połączenia systemu w komorze z odgałęzieniem



Rysunek 138: Połączenie systemu w komorach z odgałęzzeniami „w lewo” i „w prawo”

13.2. System impulsowy

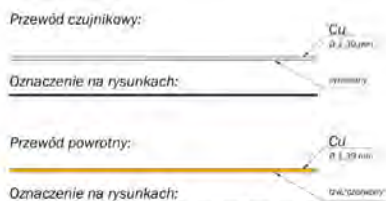
Na życzenie klientów RADPOL PIPES wyposaża rurociągi i armaturę w przewody instalacji alarmowej impulsowej.

System **impulsowy**, zwany też systemem **nordyckim** lub z angielskiego **TDR**, jako uniwersalny stosowany jest do kontroli sieci rurociągowych wypełnionych medium elektroprzewodnym, jak i elektonieprzewodnym, to jest o konduktywności bliskiej zeru. Możliwa jest tu realizacja kompleksowych kontroli w sieciach ciepłych.

13.2.1. Budowa

Podstawą systemu impulsowego są przewody miedziane gołe, oba o przekroju **1,5 mm²** każdy, ułożone w izolacji termicznej **15÷20 mm** od rury stalowej, w położeniu „za dziesięć drugą”.

Jeden z kabli jest cynowany i umownie uważany jest za kabel czujnikowy,

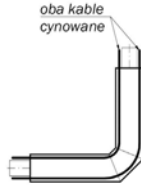


Rysunek 139: Przewody stosowane w systemie impulsowym

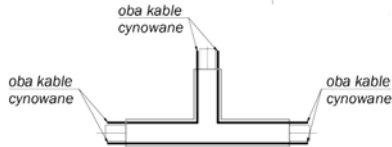
Do połączeń pomiędzy urządzeniami a sensorem lub pomiędzy poszczególnymi odcinkami sieci wykorzystywane są specjalne kable o z góry określonej impedancji.

13.2.2. Jednolite zasady produkcji elementów preizolowanych dla systemu impulsowego

W systemie tym stosuje się specyficzne rozwiązania związane z okablowaniem poszczególnych elementów. Okablowanie kolan i trójników przedstawione zostało na rysunkach poniżej. Wszystkie przewody stosowane w tych kształtkach są kablami cynowanymi (bielonymi).



Rysunek 140: Okablowanie kolana



Rysunek 141: Okablowanie trójnika

13.2.3. Zasada działania

System ten zapewnia ciągłą kontrolę stanu suchości izolacji w sieciach ciepłowniczych. Gdy warstwa izolacyjna staje się wilgotna, impedancja maleje i system alarmowy włącza się po osiągnięciu ustalonego poziomu alarmowego. Nastawia się trzy poziomy alarmowe (np. 30, 15 i 8kΩ).

Stosowana tutaj metoda pomiaru jest kombinacją pomiaru impedancji i rezystancji. Pomiar w takim systemie bazuje na zjawisku zmian impedancji obwodu w środowisku zakłócającym.

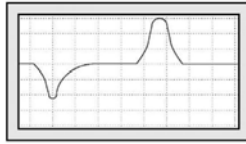


Rysunek 142: Obraz zwarcia na wyświetlaczu reflektometru

Mogą to powodować zwarcia, przerwy lub wycieki.



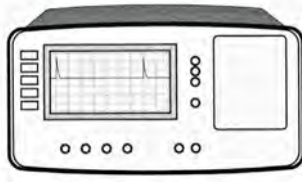
Rysunek 143: Obraz przerwania pętli



Rysunek 144: Obraz zawilgocenia – wycieku

Zakłócenia takie powodują w miejscu zakłócenia (wycieku) zmianę charakterystyki impulsu elektrycznego wysyłanego przez emiter. Ze względów fizycznych, przy zastosowaniu elektroprzewodnych mediów, do których należy na przykład woda, czułość systemów impulsowych jest wyraźnie niższa niż systemu oporowego.

Zjawiska takie występujące w rurach preizolowanych są zbyt drobne, aby mogły zostać odpowiednio wcześniej zauważone, stąd lokalizowane są tylko poważniejsze przecieki.



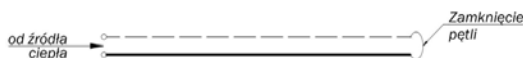
Rysunek 145: Lokalizator awarii – reflektometr

Oznacza to, że do poprawnego zlokalizowania miejsca uszkodzenia, ilość wody wywołującej „zakłócenie” musi być znacznie większa. Czułość ta również zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od miejsca uszkodzenia.

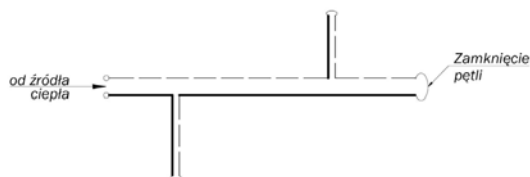
13.2.4. Tworzenie pętli pomiarowej

Przewody te w mufach łączy się za pomocą specjalnych tulejek zaciskowych i lutowania.

Miedziane przewody instalacji alarmowej łączy się w pętle o maksymalnej długości **2000 m** (1000m rurociągu). Jeden z przewodów miedzianych jest bielony. W trakcie montażu i układaniu rur w wykopie należy zwrócić uwagę, aby przewód bielony był zawsze po prawej stronie, patrząc w kierunku przepływu czynnika w rurociągu zasilającym a drut miedziany- czerwony z lewej strony.



Rysunek 146: Pętla pomiarowa bez odgałęzień



Rysunek 147: Pętla pomiarowa z odgałęzieniami i sposoby wykonania odgałęzień

Zakończenie przewodów alarmowych na końcówkach rur może być wykonywane w dwojaki sposób:

- zamknięcie pętli pod uszczelką końcową termokurczliwą lub w mufie
- stosowanie skrzynki końcowej przymocowanej bezpośrednio do rurociągu lub ściany.

Korzyścią tej metody jest bezpośredni dostęp do przewodów alarmowych w celu dodatkowej kontroli.

Przewodów alarmowych nie wolno krzyżować!!!

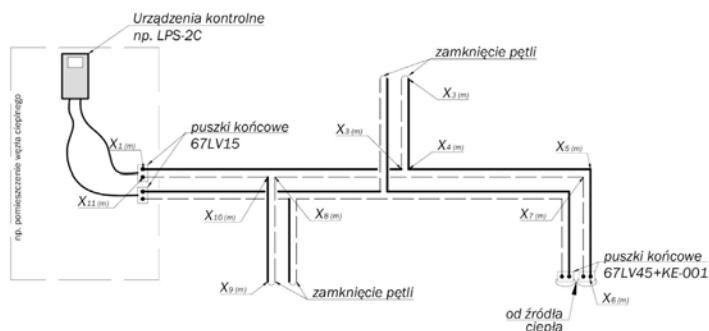
Zasada ta ma zapewnić jednoznaczny i logiczny układ przewodów alarmowych.

Oporność suchej izolacji powinna wynosić – $R_{min} \geq 10 \text{ M}\Omega$ na 1000 m długości przewodu dla systemów bez podkładek filcowych.

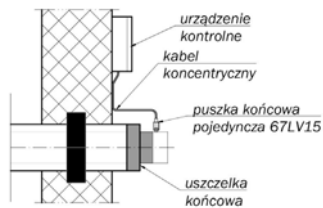
W przypadku odcinków przewodów krótszych niż 1000 m należy dokonać przeliczenia.

13.2.5. Schemat pomiarowy

W dalszej części przedstawiono przykładowy schemat montażowy oraz rysunki przedstawiające najważniejsze sposoby łączenia instalacji systemu impulsowego.



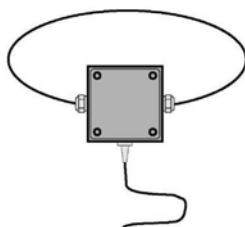
Rysunek 148: Schemat pomiarowy dla LPS-2C



Rysunek 149: Montaż puszki końcowej pojedynczej 67LV15 z urządzeniem kontrolnym



Rysunek 150: Montaż puszki końcowej podwójnej 67LV45 z kablem KE-001



Rysunek 151: Puszka końcowa 67LV45 z kablem KE-

13.2.6. Ogólne zasady projektowania systemu impulsowego

W fazie wstępnej projektowania systemu impulsowego obowiązuje ustalenie:

- sposobu kontrolowania projektowanej sieci,
- podziału sieci na kontrolowane odcinki (pętle),
- miejsc zamontowania urządzeń kontrolnych i zamknięcia pętli,
- sposobu okablowania urządzeń kontrolnych.

Kontrolowane odcinki mogą mieć maksymalnie **1000 m** długości rury, co daje **2000 m** przewodów miedzianych **CWA**.

Korzystając z poniższej tabeli, można ustalić ilości poszczególnych elementów systemu impulsowego, na dany projekt.

Tabela 34: Ilość poszczególnych elementów systemu impulsowego dla projektu

System Impulsowy - części składowe	
Nazwa	Ilość
Przewód Cu 1,5 mm ² (głowy - tzw. czerwony)	dla dn ≤ 400 mm - 1 m na 1 m rury lub elementu, przelozowanego dla dn ≥ 450 mm - 2 m na 1 m rury lub elementu, przelozowanego
Przewód Cu 1,5 mm ² (cynowany tzw. biały)	dla dn ≤ 400 mm - 1 m na 1 m rury lub elementu, przelozowanego dla dn ≥ 450 mm - 2 m na 1 m rury lub elementu, przelozowanego
Tulejka zaciskowa CWA	dla dn ≤ 400 mm - 2 szt. na mufę dla dn ≥ 450 mm - 4 szt. na mufę
Puszka końcowa PKC	1 szt. na pętlę

13.3. Dokumentacja powykonawcza systemu

W trakcie realizacji montażu sieci ciepłej, w przypadku obu systemów sygnalizacji kontroli i sygnalizacji stanów awaryjnych, należy przewidzieć wykonanie dokumentacji powykonawczej, w której zawarte zostaną parametry charakterystyczne pętli pomiarowej.

Do wykonania przydatne są druki protokołów pomiarowych – jak na rysunkach poniżej.

Rysunek 152: Protokół pomiarowy systemu rezystancyjnego

Rysunek 153: Protokół pomiarowy systemu impulsowego

14. Tablice pomocnicze

14.1. Seria 2 – Izolacja +

Tabela 35: Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów - 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]	t [mm]	A _s [mm ²]		H=0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	DN 20/110	20	26,9	2,6		198,5	110	1,57	1,95	2,34	2,72	3,10
DN 25/110	25	33,7	2,6	254,0	110	1,57	1,96	2,34	2,72	3,10	3,48	3,86
DN 32/125	32	42,4	2,6	325,1	125	1,80	2,23	2,66	3,10	3,53	3,97	4,40
DN 40/125	40	48,3	2,9	413,6	125	1,80	2,23	2,67	3,10	3,54	3,97	4,40
DN 50/140	50	60,3	2,9	522,9	140	2,03	2,51	3,00	3,48	3,97	4,46	4,94
DN 65/160	65	76,1	2,9	666,9	160	2,33	2,89	3,44	4,00	4,55	5,11	5,66
DN 80/180	80	88,9	3,2	861,6	180	2,64	3,27	3,89	4,52	5,14	5,76	6,39
DN 100/225	100	114,3	3,6	1252,0	225	3,35	4,13	4,91	5,69	6,47	7,25	8,03
DN 125/250	125	139,7	3,6	1539,3	250	3,75	4,62	5,49	6,36	7,22	8,09	8,96
DN 150/280	150	168,3	4,0	2064,7	280	4,26	5,23	6,20	7,17	8,14	9,11	10,08
DN 200/355	200	219,1	4,5	3033,8	355	5,52	6,75	7,98	9,22	10,45	11,68	12,91
DN 250/450	250	273,0	5,0	4209,7	450	7,17	8,73	10,29	11,86	13,42	14,98	16,54
DN 300/500	300	323,9	5,6	5599,8	500	8,13	9,86	11,60	13,33	15,07	16,80	18,54
DN 350/560	350	355,6	5,6	6157,5	560	9,23	11,17	13,11	15,05	17,00	18,94	20,88
DN 400/630	400	406,4	6,3	7918,8	630	10,60	12,79	14,97	17,16	19,34	21,53	23,71
DN 450/710	450	457,0	6,3	8920,3	710	12,18	14,64	17,10	19,57	22,03	24,49	26,95
DN 500/800	500	508,0	6,3	9929,7	800	14,00	16,77	19,55	22,32	25,10	27,87	30,65
DN 600/900	600	610,0	7,1	13447,9	900	16,30	19,42	22,54	25,66	28,79	31,91	35,03
DN 700/1000	700	711,0	8,0	17668,3	1000	18,73	22,20	25,67	29,14	32,61	36,07	39,54
DN 800/1100	800	813,0	8,8	22232,9	1100	21,29	25,11	28,92	32,74	36,55	40,37	44,19
DN 900/1200	900	914,0	10,0	28400,0	1200	24,01	28,17	32,33	36,50	40,66	44,82	48,98
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34730,3	1400	29,05	33,90	38,76	43,62	48,47	53,33	58,18

Tabela 36: Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja-

SERIA 2 IZOLACJA-		Rury stalowe			Ołtarze		Sieć ciepła o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zasilni 19,0 kW/m ³																			
		Øn (mm)	Øs (mm)	I (mm)	A _s (mm ²)	Dc (mm)	H = 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m							
							F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax	F	Δmax				
DN 20/110	20	26,9	2,6	198,5	110	1,57	21,3	21	1,95	17,2	17	2,34	14,3	14	2,72	12,3	12	3,10	10,8	11	3,48	9,6	9	3,86	8,7	8
DN 25/110	25	33,7	2,6	254,0	110	1,57	27,3	27	1,96	21,8	21	2,34	18,3	18	2,72	15,7	15	3,10	13,8	13	3,48	12,3	12	3,86	11,1	11
DN 32/125	32	42,4	2,6	324,1	125	1,80	30,4	30	2,23	24,6	24	2,66	20,6	20	3,10	17,7	17	3,53	15,5	15	3,97	13,8	13	4,40	12,5	12
DN 40/125	40	48,3	2,9	413,6	125	1,80	38,7	38	2,23	31,3	30	2,67	26,1	25	3,10	22,5	22	3,54	19,7	19	3,97	17,6	17	4,40	15,8	15
DN 50/140	50	60,3	2,9	522,9	140	2,03	43,4	42	2,51	35,1	34	3,00	29,4	29	3,48	25,3	25	3,97	22,2	22	4,46	19,8	19	4,94	17,8	17
DN 65/160	65	76,1	2,9	666,9	160	2,33	48,2	47	2,89	38,9	38	3,44	32,7	32	4,00	28,1	27	4,55	24,7	24	5,11	22,0	21	5,66	19,9	19
DN 80/180	80	88,9	3,2	881,6	180	2,64	55,0	54	3,27	44,4	43	3,89	37,3	36	4,52	32,1	31	5,14	28,3	28	5,76	25,2	25	6,39	22,7	22
DN 100/225	100	114,3	3,6	1252,0	225	3,35	63,0	61	4,13	51,1	50	4,91	43,0	42	5,69	37,1	36	6,47	32,6	32	7,26	29,1	28	8,03	26,3	26
DN 125/250	125	139,7	3,6	1539,3	250	3,75	69,2	67	4,62	56,2	55	5,49	47,3	46	6,36	40,8	40	7,22	35,9	35	8,09	32,1	31	8,95	29,0	28
DN 150/280	150	168,3	4,0	2054,7	280	4,26	81,7	80	5,23	66,5	65	6,20	56,1	55	7,17	48,5	47	8,14	42,8	42	9,11	36,2	37	10,09	34,5	34
DN 200/355	200	219,1	4,5	3053,8	355	5,52	92,6	90	6,75	75,8	74	7,98	64,1	62	9,22	55,5	54	10,45	48,9	48	11,68	43,8	43	12,91	39,6	39
DN 250/450	250	273,0	5,0	4209,7	450	7,17	98,0	96	8,73	81,3	79	10,29	69,0	67	11,86	59,8	58	13,42	52,9	52	14,98	47,4	46	16,54	42,9	42
DN 300/500	300	323,9	5,6	5599,8	500	8,13	116,1	113	11,61	113	116,9	81,4	79	13,33	70,8	69	15,07	62,6	61	16,80	56,2	55	18,54	50,9	50	
DN 350/560	350	365,6	5,6	6157,5	560	9,23	112,4	110	11,17	92,9	91	13,11	79,2	77	15,05	69,0	67	17,00	61,0	59	18,94	54,8	53	20,88	49,7	48
DN 400/630	400	406,4	6,3	7918,8	630	10,60	125,9	123	12,79	104,4	102	14,97	89,2	87	17,16	77,8	76	19,34	69,0	67	21,53	62,0	60	23,71	46,3	45
DN 450/710	450	457,0	6,3	8920,3	710	12,18	123,4	120	14,64	102,7	100	17,10	87,9	86	19,57	76,8	75	22,03	68,2	66	24,49	61,4	60	26,95	45,8	44
DN 500/800	500	508,0	6,3	9920,7	800	14,00	119,5	116	16,77	99,8	97	19,55	85,6	83	22,32	75,0	73	25,10	66,7	65	27,87	60,1	59	30,65	44,6	43
DN 600/900	600	610,0	7,1	13447,9	900	16,30	139,1	136	19,42	116,7	114	22,54	100,6	98	25,66	88,3	86	28,79	78,7	77	31,91	71,0	69	35,03	44,7	43
DN 700/1000	700	711,0	8,0	17668,3	1000	18,73	159,0	155	22,20	134,1	131	25,67	116,0	113	29,14	102,2	100	32,61	91,3	89	36,07	82,6	80	39,54	75,3	73
DN 800/1100	800	813,0	8,8	22323,9	1100	21,29	176,0	171	25,11	149,2	145	28,92	129,6	126	32,74	114,5	112	36,55	102,5	100	40,37	92,8	90	44,19	84,8	83
DN 900/1200	900	914,0	10,0	28400,0	1200	24,01	196,4	194	28,17	169,9	166	32,33	148,1	144	36,90	131,1	128	40,66	117,7	115	44,82	106,3	104	48,98	87,7	85
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34720,3	1400	29,05	203,5	196	33,90	172,7	168	36,76	151,0	147	43,62	134,2	131	48,47	120,8	118	53,33	109,8	107	58,18	100,6	98

Tabela 37: Kompensatory mieszkowych w sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +

SERIA 2 Izolacja +	Rury stalowe						Ciężnia						Kompensatory przelozowane w sieci cieplnej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montazu 10 °C. Gęstość zasypek 19,0 kN/m³													
	Øn	Øi	t	A _s	Dc	Øm	1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m									
							F	Øm	F	Øm	F	Øm	F	Øm	F	Øm	F	Øm								
DN 20/110	20	26,9	2,6	198,5	110	1,57	-	1,95	2,34	-	2,72	-	3,10	-	3,48	-	3,86	-								
DN 25/110	25	33,7	2,8	254,0	110	1,57	-	1,96	2,34	-	2,72	-	3,10	-	3,48	-	3,86	-								
DN 32/125	32	42,4	2,6	325,1	125	1,80	-	2,23	2,96	-	3,10	-	3,53	-	3,97	-	4,40	-								
DN 40/125	40	48,3	2,9	413,6	125	1,80	39	2,23	3,1	3,2	2,67	26	3,10	2,2	3,54	20	20	3,97	17	17	4,40	16	16			
DN 50/140	50	60,3	2,9	522,9	140	2,03	43	44	2,51	35	3,6	3,00	29	30	3,48	25	26	3,97	22	22	4,48	19	20	4,94	18	18
DN 65/160	65	76,1	2,9	665,9	160	2,33	47	48	2,89	38	39	3,44	32	33	4,00	27	28	4,55	24	25	5,11	21	22	5,66	19	20
DN 80/180	80	88,9	3,2	861,6	180	2,64	53	55	3,27	42	44	3,89	36	37	4,52	31	32	5,14	27	28	5,76	24	25	6,39	22	23
DN 100/225	100	114,3	3,6	1252,0	225	3,35	69	61	4,13	48	50	4,91	40	42	5,69	35	36	6,47	31	32	7,25	27	28	8,03	25	26
DN 125/250	125	139,7	3,6	1539,3	250	3,75	63	66	4,62	51	54	5,49	43	45	6,36	37	39	7,22	33	35	8,09	29	31	8,96	26	27
DN 150/280	150	168,3	4,0	2084,7	280	4,26	74	78	5,23	60	63	6,20	51	54	7,17	44	46	8,14	39	41	9,11	34	36	10,08	31	33
DN 200/355	200	219,1	4,5	3033,8	355	5,52	81	86	6,75	65	70	7,98	56	60	9,22	48	51	10,45	43	46	11,88	38	41	12,91	34	36
DN 250/450	250	273,0	5,0	4209,7	450	7,17	84	90	8,73	69	74	10,29	59	63	11,85	51	55	13,42	45	48	14,98	40	43	16,64	37	40
DN 300/500	300	323,9	5,6	5599,8	500	8,13	98	106	9,86	81	87	11,60	69	74	13,33	60	65	15,07	53	57	16,80	47	51	18,64	43	46
DN 350/560	350	356,6	5,6	6157,5	560	9,22	92	100	11,17	76	83	13,11	65	71	15,05	57	62	17,00	50	54	18,94	45	49	20,88	41	45
DN 400/630	400	406,4	6,3	7918,8	630	10,60	102	111	12,79	85	93	14,97	73	79	17,16	63	69	19,34	56	61	21,53	50	55	23,71	46	50
DN 450/710	450	457,0	6,3	8920,3	710	12,18	97	107	14,64	80	88	17,10	69	76	19,57	60	66	22,03	53	59	24,49	48	53	26,95	44	48
DN 500/800	500	508,0	6,3	9920,7	800	14,00	90	100	16,77	75	84	19,55	65	72	22,32	57	63	25,10	50	56	27,87	45	50	30,65	41	46
DN 600/900	600	610,0	7,1	13447,9	900	16,30	103	115	19,42	86	97	22,54	74	83	25,66	65	73	28,79	58	65	31,91	52	58	35,03	46	54
DN 700/1000	700	711,0	8,0	17668,3	1000	18,73	-	22,20	-	25,67	-	29,14	-	32,61	-	36,07	-	39,54	-	43,01	-	46,47	-	50,94	-	-
DN 800/1100	800	813,0	8,8	22232,9	1100	21,29	-	25,11	-	28,52	-	32,74	-	36,55	-	40,37	-	44,19	-	48,00	-	51,81	-	55,62	-	-
DN 900/1200	900	914,0	10,0	28400,0	1200	24,71	-	28,17	-	32,33	-	36,50	-	40,66	-	44,82	-	48,98	-	53,13	-	57,28	-	61,43	-	-
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34730,3	1400	29,05	-	33,90	-	38,76	-	43,62	-	48,47	-	53,33	-	58,18	-	63,03	-	67,88	-	72,73	-	-

Tabela 38: Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +

SERIA 2 IZOLACJA+	Rury stalowe		Odcinek		Kompensatory jednorazowe SUC w sieci olejnej o parametrach 125 °C/65 °C, temperatura montażu 10 °C, gęstość zaspki 19,0 kN/m ³																					
	dn	d _z [mm]	t [mm]	A _s [mm ²]	Dc [mm]	H= 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	L _{tot}	F	L _{tot}	F	L _{tot}	F	L _{tot}	F	L _{tot}	F	L _{tot}	F	L _{tot}							
DN 20/110	20	26,8	2,6	198,5	110	1,57	-	1,95	-	2,34	-	2,72	-	3,10	-	3,48	-	3,86	-							
DN 25/110	25	33,7	2,6	254,0	110	1,57	-	1,96	-	2,34	-	2,72	-	3,10	-	3,48	-	3,86	-							
DN 32/125	32	42,4	2,6	325,1	125	1,80	-	2,23	-	2,66	-	3,10	-	3,53	-	3,97	-	4,40	-							
DN 40/125	40	48,3	2,9	413,6	125	1,80	36,5	2,23	29,8	2,1	2,67	24,9	1,7	3,10	21,4	1,5	3,54	18,8	1,3	3,97	16,7	1,2	4,40	15,1	1,0	
DN 50/140	50	60,3	2,9	522,9	140	2,03	41,4	2,9	2,51	33,5	2,3	3,00	28,0	1,9	3,48	24,1	1,7	3,97	21,2	1,5	4,46	18,8	1,3	4,94	17,0	1,2
DN 65/160	65	76,1	2,9	665,9	160	2,33	46,0	3,2	2,89	37,1	2,6	3,44	31,1	2,1	4,00	26,8	1,8	4,55	23,5	1,6	5,11	21,0	1,4	5,66	18,9	1,3
DN 80/180	80	95,9	3,2	851,6	180	2,64	52,4	3,6	3,27	42,3	2,9	3,88	35,6	2,5	4,52	30,6	2,1	5,14	26,9	1,9	5,76	24,0	1,7	6,39	21,7	1,5
DN 100/225	100	114,3	3,6	1252,0	225	3,35	60,0	4,1	4,13	46,7	3,4	4,91	41,0	2,8	5,69	35,3	2,4	6,47	31,1	2,1	7,25	27,7	1,9	8,03	25,0	1,7
DN 125/250	125	139,7	3,6	1538,3	250	3,75	65,9	4,6	4,62	53,5	4,0	5,49	45,0	3,1	6,36	38,9	2,7	7,22	34,2	2,4	8,09	30,6	2,1	8,96	27,5	1,9
DN 150/280	150	168,3	4,0	2064,7	280	4,26	77,8	5,4	5,23	63,4	4,4	6,20	53,5	3,7	7,17	46,3	3,2	8,14	40,7	2,8	9,11	36,4	2,5	10,08	32,9	2,3
DN 200/355	200	219,1	4,5	3033,8	355	5,52	86,3	6,1	6,75	72,2	5,0	7,98	61,1	4,2	9,22	52,9	3,6	10,45	46,6	3,2	11,68	41,7	2,9	12,91	37,7	2,6
DN 250/450	250	273,0	5,0	4206,7	450	7,17	94,3	6,5	8,73	77,5	5,3	10,29	65,7	4,5	11,86	57,0	3,9	13,42	50,4	3,5	14,98	45,1	3,1	16,54	40,9	2,8
DN 300/500	300	323,9	5,6	5996,8	500	8,13	110,6	7,6	9,86	91,2	6,3	11,60	77,5	5,3	13,33	67,5	4,7	15,07	59,7	4,1	16,80	53,5	3,7	18,54	46,5	3,3
DN 350/560	350	395,6	5,6	6157,5	560	9,23	107,2	7,4	11,17	86,5	6,1	13,11	75,4	5,2	15,05	65,7	4,5	17,00	58,2	4,0	18,94	52,2	3,6	20,88	47,4	3,3
DN 400/630	400	406,4	6,3	7918,8	630	10,60	120,0	8,3	12,79	99,4	6,9	14,97	85,0	5,9	17,16	74,1	5,1	19,34	65,8	4,5	21,53	59,1	4,1	23,71	53,6	3,7
DN 450/710	450	457,0	6,3	8920,3	710	12,18	117,6	8,1	14,64	97,9	6,8	17,10	83,8	5,8	19,57	73,2	5,0	22,03	65,0	4,5	24,49	58,5	4,0	26,95	52,0	3,6
DN 500/800	500	588,0	6,3	9929,7	800	14,00	113,9	7,9	16,77	95,1	6,6	19,55	81,6	5,6	22,32	71,5	4,9	25,10	63,5	4,4	27,81	57,2	3,9	30,65	52,0	3,6
DN 600/900	600	610,0	7,1	13447,9	900	16,30	132,5	9,1	19,42	111,2	7,7	22,54	95,8	6,6	25,66	84,2	5,8	28,79	75,0	5,2	31,91	67,7	4,7	35,03	61,7	4,3
DN 700/1000	700	711,0	8,0	17668,3	1000	18,73	-	22,20	-	-	-	25,67	-	29,14	-	32,74	-	36,55	-	40,37	-	44,19	-	48,98	-	-
DN 800/1100	800	813,0	8,8	22332,9	1100	21,29	-	25,11	-	-	-	28,92	-	32,74	-	36,50	-	40,66	-	44,82	-	49,19	-	53,53	-	-
DN 900/1200	900	914,0	10,0	28400,0	1200	24,01	-	28,17	-	-	-	32,33	-	36,50	-	40,66	-	45,17	-	49,54	-	53,91	-	58,18	-	-
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34730,3	1400	29,95	-	33,90	-	-	-	38,76	-	43,62	-	48,47	-	53,33	-	58,20	-	63,07	-	67,94	-	-

Tabela 39: Odległość kompensatorów SUC od kolana kompensacyjnego dla sieci 125 °C/65 °C – SERIA 2 – Izolacja +

SERIA 2 IZOLACJA+	Kompensatory jednorazowe SUC i kolana kompensacyjne zamontowane w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zastępkі 19,0 kN/m ³						
	Odległość między kompensatorem SUC a kolanem kompensacyjnym $L_{KS} = L_{KL} + L_{MAX} - [m]$ dla przykrycia H:						
	H= 0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}
DN 20/110	-	-	-	-	-	-	-
DN 25/110	-	-	-	-	-	-	-
DN 32/125	-	-	-	-	-	-	-
DN 40/125	57,2	46,2	38,6	33,2	29,1	26,0	23,4
DN 50/140	64,1	51,9	43,4	37,4	32,8	29,2	26,3
DN 65/160	71,2	57,5	48,3	41,5	36,5	32,5	29,4
DN 80/180	81,2	65,6	55,1	47,4	41,8	37,2	33,6
DN 100/225	93,0	75,5	63,5	54,8	48,2	43,0	38,8
DN 125/250	102,2	83,0	69,8	60,3	53,0	47,4	42,8
DN 150/280	120,6	98,2	82,9	71,7	63,2	56,4	51,0
DN 200/355	136,8	111,9	94,7	82,0	72,2	64,7	58,5
DN 250/450	146,2	120,1	101,9	88,3	78,1	70,0	63,4
DN 300/500	171,4	141,3	120,2	104,6	92,5	83,0	75,2
DN 350/560	166,0	137,2	116,9	101,9	90,1	80,9	73,4
DN 400/630	185,9	154,1	131,7	114,9	101,9	91,6	83,1
DN 450/710	182,2	151,7	129,8	113,4	100,7	90,7	82,4
DN 500/800	176,5	147,4	126,4	110,8	98,5	88,7	80,6
DN 600/900	205,4	172,3	148,5	130,4	116,2	104,9	95,6
DN 700/1000	-	-	-	-	-	-	-
DN 800/1100	-	-	-	-	-	-	-
DN 900/1200	-	-	-	-	-	-	-
DN 1000/1400	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 40: Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125 °C/65 °C – SERIA 2 – Izolacja +

SERIA 2 IZOLACJA +	Rury stalowe		Osłonia		Straty ciepła w rurociągach preizolowanych równoległych obliczone zgodnie z PN-EN 13941-1 dla parametrów sieci 125°C/65°C; oraz przykrycia rurociągu H(m)					
	dn	d _u	Dc	Di	H=0,6 m			H=2,0 m		
					dla λs = 1,6W/(mK); λi = 0,029W/(mK) oraz ts=0,0°C			dla λs = 2,0W/(mK); λi = 0,029W/(mK) oraz ts=8,0°C		
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	q _f	q _g	I _q	q _f	q _g	I _q
DN 20/110	20	26,9	110	104,0	15,99	8,01	23,94	15,85	7,90	23,75
DN 25/110	25	33,7	110	104,0	18,91	9,45	28,36	18,80	9,30	28,10
DN 32/125	32	42,4	125	119,0	20,58	10,26	30,84	20,44	10,07	30,51
DN 40/125	40	48,3	125	119,0	23,33	11,58	34,89	23,15	11,32	34,47
DN 50/140	50	60,3	140	134,0	26,16	12,90	39,06	25,93	12,59	38,52
DN 65/160	65	76,1	160	154,0	29,42	14,44	43,86	29,12	14,04	43,16
DN 80/180	80	88,9	180	174,0	30,84	15,12	45,96	30,50	14,68	45,18
DN 100/225	100	114,3	225	218,2	32,12	15,77	47,89	31,73	15,27	47,00
DN 125/250	125	139,7	250	242,8	37,25	18,32	55,57	36,70	17,63	54,33
DN 150/280	150	168,3	280	272,2	42,39	20,72	63,11	41,67	19,82	61,49
DN 200/355	200	219,1	355	346,0	44,73	21,89	66,62	43,92	20,90	64,82
DN 250/450	250	273,0	450	439,6	43,43	21,39	64,82	42,64	20,46	63,10
DN 300/500	300	323,9	500	488,8	49,76	24,36	74,12	48,73	23,16	71,89
DN 350/560	350	355,6	560	548,0	47,75	23,50	71,25	46,80	22,40	69,20
DN 400/630	400	406,4	630	616,8	49,53	24,38	73,91	48,53	23,23	71,76
DN 450/710	450	457,0	710	695,6	49,45	24,47	73,92	48,46	23,34	71,80
DN 500/800	500	508,0	800	784,2	48,17	23,92	72,09	47,24	22,88	70,12
DN 600/900	600	610,0	900	882,6	56,04	27,67	83,71	54,82	26,31	81,13
DN 700/1000	700	711,0	1000	981,2	63,68	31,28	94,96	61,57	29,02	90,59
DN 800/1100	800	813,0	1100	1079,6	71,63	35,00	106,63	68,99	32,19	101,18
DN 900/1200	900	914,0	1200	1178,0	79,37	38,80	117,97	76,15	35,19	111,34
DN 1000/1400	1000	1016,0	1400	1375,0	68,20	33,61	101,81	65,76	31,08	96,84

Tabela 41: Opory ciepła w sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 2 – Izolacja +

SERIA 2 IZOLACJA *	Rury stalowe		Długość		Opory cieplne dla układów symetrycznego anizometrycznego, do obliczenia strat ciepła metodą superpozycji, w uśrednionych przekrojach równoległych - ury poprzeczne - dla wartości ts = 8,00 °C, ts = 1,60 W/(mK), k = 0,0250 W/(mK), oraz przyszybiała rurzości H =														
	dn	ti (mm)	Dc (mm)	Di (mm)	H=0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m		
					Rc	Ra	Rc	Ra	Rc	Ra	Rc	Ra	Rc	Ra	Rc	Ra	Rc	Ra	Rc
DN 20/110	20	26,9	110	104,0	7,9813	7,9808	5,0185	7,5811	8,0499	7,5812	8,0770	7,5813	8,1006	7,5814	8,1221	7,5815	8,1414	7,5815	
DN 25/110	25	33,7	110	104,0	6,7439	6,7439	6,7811	6,3436	6,8124	6,3438	6,8395	6,3439	6,8634	6,3440	6,8847	6,3440	6,9040	6,3441	
DN 32/125	32	42,4	125	119,0	6,2063	6,2063	6,2432	5,8155	6,2444	5,8157	6,2432	5,8158	6,2521	5,8159	6,2463	5,8160	6,2554	5,8160	
DN 40/125	40	48,3	125	119,0	5,4911	5,4911	5,5280	5,1003	5,5292	5,1005	5,5281	5,1006	5,6099	5,1007	5,6311	5,1008	5,6502	5,1008	
DN 50/140	50	60,3	140	134,0	4,9096	4,9096	4,9462	4,5277	4,9772	4,5279	4,9462	4,5281	5,0276	4,5281	5,0488	4,5282	5,0679	4,5283	
DN 65/160	65	76,1	160	154,0	4,3770	4,3770	4,4133	4,0062	4,4440	4,0064	4,4133	4,0065	4,4941	4,0066	4,5151	4,0067	4,5341	4,0068	
DN 80/180	80	88,9	180	174,0	4,1778	4,1778	4,2136	3,8171	4,2441	3,8174	4,2136	3,8175	4,2938	3,8176	4,3147	3,8177	4,3336	3,8178	
DN 100/225	100	114,3	225	214,2	4,0100	4,0100	3,6693	3,4045	3,6698	4,0749	3,6701	4,1009	3,6703	4,1239	3,6705	4,1445	3,6705	4,1632	3,6706
DN 125/250	125	139,7	250	242,8	3,4601	3,4601	3,1719	3,0484	3,1727	3,5238	3,1732	3,5464	3,1735	3,5721	3,1738	3,5925	3,1739	3,6111	3,1741
DN 150/285	150	168,3	280	272,2	3,0511	2,7711	3,0949	2,7720	3,1139	2,7726	3,1383	2,7730	3,1618	2,7732	3,1820	2,7734	3,2004	2,7735	
DN 200/350	200	219,1	355	346,0	2,8004	2,6285	2,9230	2,6295	2,9511	2,6302	2,9757	2,6306	2,9977	2,6310	3,0175	2,6312	3,0355	2,6314	
DN 250/450	250	273,0	450	439,6	2,8678	2,7248	2,9989	2,7260	3,0259	2,7268	3,0498	2,7274	3,0711	2,7277	3,0904	2,7280	3,1080	2,7282	
DN 300/500	300	323,9	500	488,8	2,5991	2,3646	2,6294	2,3659	2,6559	2,3667	2,6793	2,3673	2,7003	2,3678	2,7193	2,3681	2,7367	2,3683	
DN 350/560	350	355,6	560	546,0	2,7010	2,4758	2,7305	2,4772	2,7564	2,4781	2,7793	2,4787	2,7999	2,4792	2,8166	2,4795	2,8357	2,4798	
DN 400/630	400	406,4	630	616,8	2,6038	2,3881	2,6324	2,3896	2,6575	2,3906	2,6799	2,3913	2,7001	2,3918	2,7164	2,3922	2,7353	2,3925	
DN 450/710	450	457,0	710	695,6	2,6018	2,4044	2,6292	2,4062	2,6535	2,4074	2,6752	2,4083	2,6948	2,4089	2,7142	2,4094	2,7292	2,4098	
DN 500/800	500	508,0	800	784,2	2,6656	2,4769	2,6920	2,4788	2,7155	2,4801	2,7366	2,4810	2,7557	2,4817	2,7732	2,4822	2,7893	2,4826	
DN 600/900	600	610,0	900	892,6	2,7983	2,1179	2,3236	2,1199	2,3463	2,1213	2,3667	2,1223	2,3852	2,1230	2,4023	2,1236	2,4180	2,1241	
DN 700/1000	700	711,0	1000	991,2	2,0844	1,8591	2,1033	1,8600	2,1206	1,8608	2,1365	1,8613	2,1513	1,8618	2,1651	1,8621	2,1781	1,8624	
DN 800/1100	800	813,0	1100	1079,6	1,6458	1,8658	1,8850	1,6468	1,9015	1,6475	1,9168	1,6481	1,9310	1,6485	1,9443	1,6489	1,9568	1,6492	
DN 900/1200	900	914,0	1200	1178,0	1,6973	1,4797	1,7143	1,4806	1,7301	1,4813	1,7448	1,4819	1,7585	1,4824	1,7713	1,4828	1,7834	1,4831	
DN 1000/1400	1000	1016,0	1400	1375,0	1,9554	1,7439	1,9710	1,7445	1,9855	1,7456	1,9981	1,7462	2,0119	1,7467	2,0238	1,7471	2,0352	1,7474	

14.2. Seria 3 – Izolacja ++

Tabela 42: Wartości siły tarcia dla różnych wielkości przykrycia rurociągów – 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]	t [mm]	A _s [mm ²]		H=0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	DN 20/125	20	26,9	2,6		198,5	125	1,79	2,22	2,66	3,09	3,53
DN 25/125	25	33,7	2,6	254,0	125	1,79	2,23	2,66	3,09	3,53	3,96	4,40
DN 32/140	32	42,4	2,6	325,1	140	2,02	2,50	2,99	3,47	3,96	4,45	4,93
DN 40/140	40	48,3	2,9	413,6	140	2,02	2,51	2,99	3,48	3,96	4,45	4,93
DN 50/160	50	60,3	2,9	522,9	160	2,32	2,88	3,43	3,99	4,54	5,10	5,65
DN 65/180	65	76,1	2,9	666,9	180	2,63	3,26	3,88	4,50	5,13	5,75	6,38
DN 80/200	80	88,9	3,2	861,6	200	2,94	3,64	4,33	5,02	5,72	6,41	7,11
DN 100/250	100	114,3	3,6	1252,0	250	3,73	4,60	5,46	6,33	7,20	8,06	8,93
DN 125/280	125	139,7	3,6	1539,3	280	4,22	5,19	6,16	7,13	8,10	9,08	10,05
DN 150/315	150	168,3	4,0	2064,7	315	4,81	5,90	6,99	8,08	9,18	10,27	11,36
DN 200/400	200	219,1	4,5	3033,8	400	6,25	7,64	9,02	10,41	11,80	13,18	14,57
DN 250/500	250	273,0	5,0	4209,7	500	8,01	9,74	11,48	13,21	14,95	16,68	18,42
DN 300/560	300	323,9	5,6	5599,8	560	9,15	11,10	13,04	14,98	16,92	18,87	20,81
DN 350/630	350	355,6	5,6	6157,5	630	10,45	12,63	14,82	17,00	19,19	21,38	23,56
DN 400/710	400	406,4	6,3	7918,8	710	12,03	14,50	16,96	19,42	21,88	24,35	26,81
DN 450/800	450	457,0	6,3	8920,3	800	13,84	16,61	19,39	22,16	24,94	27,71	30,49
DN 500/900	500	508,0	6,3	9929,7	900	15,90	19,02	22,14	25,26	28,38	31,50	34,63
DN 600/1000	600	610,0	7,1	13447,9	1000	18,26	21,72	25,19	28,66	32,13	35,60	39,07
DN 700/1100	700	711,0	8,0	17668,3	1100	20,75	24,56	28,38	32,20	36,01	39,83	43,64
DN 800/1200	800	813,0	8,8	22232,9	1200	23,37	27,53	31,70	35,86	40,02	44,18	48,34
DN 900/1400	900	914,0	10,0	28400,0	1400	28,34	33,20	38,06	42,91	47,77	52,62	57,48
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34730,3	1400	29,05	33,90	38,76	43,62	48,47	53,33	58,18

Tabela 43: Długości montażowe dla sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe:		Ciężarówka		Sieć ciepła o parametrach 125 °C/65 °C, temperatura montażu 10 °C. Gęstość zaspik 15,0 kg/m ³ Sila tnąca na jednostkę długości F _z - (kg/m), Długość montażowa L _{mont} - (m) (w wkluzaniu ΔL _{max} - (mm) dla przelotów 40																					
	dn	s ₁ (mm)	t (mm)	A _s (mm ²)	Dc (mm)	H= 0,85 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,5 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 20/125	20	26,9	2,6	198,5	125	179	16,7	18	2,22	35,1	15	2,66	12,6	12	3,09	10,8	11	3,53	9,5	9	3,96	8,4	8	4,39	7,6	7
DN 25/125	25	33,7	2,6	254,0	125	179	23,9	23	2,23	39,2	19	2,66	16,1	16	3,09	13,9	14	3,53	12,1	12	3,96	10,8	11	4,40	9,7	9
DN 32/140	32	42,4	2,6	325,1	140	202	27,1	26	2,59	21,9	21	2,99	18,3	18	3,47	15,8	15	3,96	13,8	13	4,45	12,3	12	4,93	11,1	11
DN 40/140	40	48,3	2,9	413,6	140	211	27,6	27	2,81	27,6	23	2,99	23,3	23	3,48	20,0	20	3,96	17,6	17	4,45	15,7	15	4,93	14,1	14
DN 50/160	50	60,3	2,9	522,9	160	232	38,0	37	2,88	30,6	30	3,43	25,7	25	3,99	22,3	22	4,54	19,4	19	5,10	17,3	17	5,65	15,6	15
DN 65/180	65	76,1	2,9	666,9	180	263	42,7	42	3,26	34,5	34	3,88	29,0	28	4,50	25,0	24	5,13	21,0	21	5,75	19,5	19	6,38	17,6	17
DN 80/200	80	88,9	3,2	863,6	200	2,94	49,4	48	3,64	39,9	39	4,33	33,6	33	5,02	28,0	28	5,72	25,4	25	6,41	22,7	22	7,11	20,4	20
DN 100/250	100	114,3	3,6	1252,0	250	3,73	56,6	55	4,60	45,9	45	5,46	38,6	38	6,33	33,3	32	7,20	29,3	29	8,06	26,2	26	8,93	23,6	23
DN 125/290	125	139,7	3,6	1539,3	290	4,22	61,5	60	5,19	50,0	49	6,15	42,1	41	7,13	36,4	35	8,10	32,0	31	9,08	28,6	28	10,05	25,8	25
DN 150/315	150	168,5	4,0	2054,7	315	4,83	72,3	70	5,90	59,0	57	6,99	49,6	49	8,08	43,1	42	9,18	37,9	37	10,27	33,9	33	11,36	30,6	30
DN 200/400	200	219,1	4,5	3053,8	400	6,25	81,8	80	7,84	68,9	65	9,02	56,7	55	10,44	49,1	48	11,80	43,3	42	13,18	38,8	38	14,57	35,1	34
DN 250/450	250	273,0	5,0	4295,7	500	8,01	88,6	86	9,74	72,8	71	11,48	61,8	60	13,21	53,7	52	14,95	47,5	46	16,88	42,5	41	18,42	38,5	38
DN 300/600	300	323,0	5,6	5959,8	600	9,16	103,2	101	11,40	85,0	83	13,04	72,4	71	14,98	63,0	61	16,92	56,8	54	18,87	50,0	49	20,81	45,8	44
DN 350/630	350	355,6	5,6	6187,5	630	10,45	99,3	97	12,63	82,2	80	14,82	70,0	69	17,00	61,0	59	19,19	54,1	53	21,38	48,5	47	23,90	44,1	43
DN 400/710	400	406,4	6,3	7918,8	710	12,03	110,9	108	14,80	92,0	90	16,96	78,7	77	19,42	68,7	67	21,68	61,0	59	24,35	54,8	53	26,81	49,6	49
DN 450/800	450	457,0	6,3	8920,3	800	13,84	119,5	116	16,61	90,5	88	19,39	77,5	76	22,16	67,8	65	24,94	60,3	59	27,71	54,3	53	30,69	49,3	48
DN 500/900	500	508,0	6,3	9929,7	900	15,96	128,3	126	19,02	98,0	96	22,14	75,6	74	25,28	66,3	65	28,38	58,0	57	31,50	55,1	54	34,63	48,3	47
DN 600/1000	600	610,0	7,1	13447,9	1000	18,36	124,1	121	21,72	104,4	102	25,19	90,0	88	28,66	79,1	77	32,13	70,5	69	35,60	63,7	63	39,07	55,0	57
DN 700/1100	700	711,0	8,0	17688,3	1100	20,75	145,5	140	24,56	121,3	118	28,38	104,9	102	32,20	92,5	90	36,01	82,7	81	39,83	74,9	73	43,64	68,2	66
DN 800/1200	800	813,0	8,8	22323,9	1200	23,37	160,3	156	27,53	136,1	133	31,70	118,2	115	35,56	104,5	102	40,02	93,6	91	44,18	84,8	83	48,34	77,5	75
DN 900/1400	900	914,0	10,0	28400,0	1400	26,34	165,9	165	33,20	144,2	140	35,05	126,8	123	42,91	111,6	109	47,77	100,2	98	52,62	91,0	89	57,48	85,3	81
DN 1000/1600	1000	1016,0	11,0	34730,3	1600	29,05	203,5	196	33,90	172,7	168	38,76	151,0	147	43,62	134,2	131	48,47	120,8	118	53,33	109,8	107	58,18	100,6	98

Tabela 44: Kompensatory mieszkowych w sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++

SERIA 3 Izolacja ++	Rury stalowe						Kompensatory przelotowe w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C; Gęstość zasypania 15,0 kN/m ³																		
	Długość przelotu						Średnica przelotu																		
	dn	d ₁	t	A _s	A _c	Dc	H= 0,5 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m						
	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	F	Δx	F	Δx	F	Δx	F	Δx	F	Δx	F	Δx	F	Δx						
DN 20/125	20	26,9	2,6	139,5	125	1,79	-	2,22	-	2,66	-	3,09	-	3,53	-	3,96	-	4,39	-						
DN 25/125	25	33,7	2,6	254,0	125	1,79	-	2,23	-	2,66	-	3,09	-	3,53	-	3,96	-	4,39	-						
DN 32/140	32	42,4	2,6	325,1	140	2,02	-	2,50	-	2,89	-	3,47	-	3,96	-	4,45	-	4,93	-						
DN 40/140	40	48,3	2,9	413,6	140	2,02	34	35	2,51	28	2,89	23	23	3,48	20	20	3,96	18	18	4,45	16	16	4,93	14	14
DN 50/160	50	60,3	2,9	522,9	160	2,32	37	38	2,86	30	3,43	26	26	3,99	22	22	4,54	19	19	5,10	17	17	5,65	15	15
DN 65/160	65	76,1	2,9	666,9	160	2,63	41	42	3,26	33	3,88	28	29	4,50	24	25	5,13	21	22	5,75	19	20	6,38	17	17
DN 80/200	80	88,9	3,2	861,6	200	2,94	47	49	3,64	38	4,33	32	33	5,02	28	29	5,72	24	25	6,41	22	23	7,11	20	20
DN 100/250	100	114,3	3,6	1252,0	250	3,73	53	55	4,60	43	5,46	36	38	6,33	31	32	7,20	27	28	8,06	25	26	8,93	22	23
DN 125/280	125	139,7	3,6	1539,3	280	4,22	56	59	5,19	46	6,16	38	40	7,43	33	35	8,10	29	31	9,08	26	27	10,09	24	25
DN 150/315	150	168,3	4,0	2064,7	315	4,81	65	69	5,90	53	6,99	45	47	8,08	39	41	9,18	34	36	10,27	31	33	11,36	28	29
DN 200/400	200	215,1	4,5	3033,8	400	6,25	73	76	7,64	58	9,02	49	52	10,31	43	46	11,80	38	40	13,18	34	36	14,57	31	33
DN 250/500	250	273,0	5,0	4299,7	500	8,01	76	82	9,74	62	11,48	53	57	13,21	46	49	14,95	41	44	16,98	36	39	18,42	33	35
DN 300/560	300	323,9	5,6	5599,8	560	9,15	87	94	11,10	72	13,04	61	66	14,89	53	57	16,92	47	51	18,87	42	45	20,81	38	41
DN 350/630	350	355,6	5,6	6157,5	630	10,45	97	99	12,63	88	14,82	58	63	17,00	50	54	19,19	44	48	21,38	40	43	23,53	36	39
DN 400/710	400	406,4	6,3	7918,8	710	12,03	90	96	14,50	75	16,86	64	70	19,42	56	61	21,88	50	54	24,36	45	49	26,81	41	45
DN 450/800	450	457,0	6,3	8920,3	800	13,84	95	94	16,61	71	19,39	61	67	22,16	53	59	24,94	47	52	27,71	43	47	30,49	39	43
DN 500/900	500	508,0	6,3	9929,7	900	15,90	79	86	19,02	68	22,34	57	64	26,26	50	56	28,38	45	50	31,90	40	45	34,63	36	40
DN 600/1000	600	610,0	7,1	13447,9	1000	18,26	92	103	21,72	77	25,19	66	74	28,66	58	65	32,13	52	58	35,60	47	53	39,07	43	48
DN 700/1100	700	711,0	8,0	17668,9	1100	20,75	-	24,96	-	28,58	-	32,20	-	36,01	-	39,83	-	43,64	-	47,45	-	51,26	-	55,07	-
DN 800/1200	800	813,0	8,6	22232,9	1200	23,37	-	27,53	-	31,70	-	35,86	-	40,02	-	44,18	-	48,34	-	52,50	-	56,66	-	60,82	-
DN 900/1400	900	914,0	10,0	28400,0	1400	26,34	-	33,20	-	38,06	-	42,91	-	47,77	-	52,62	-	57,48	-	62,34	-	67,19	-	72,05	-
DN 1000/1400	1000	1016,0	11,0	34730,3	1400	29,05	-	35,90	-	38,76	-	43,62	-	48,47	-	53,33	-	58,19	-	63,04	-	67,89	-	72,75	-

Tabela 45: Kompensatory jednorazowe w sieci 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++

SERIA 3 KZMKA++	Rury stalowe				Ocena		Kompensatory jednorazowe SiC w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Ciężkość zasilni 19,0 kN/m ² Siła ścisła na jednostkę długości F – (kN/m); Rozstaw kompensatorów SiC, L _{SiC} ; 2 _{SiC} – (m); ustawienie kompensatora 2 _{SiC} – (m); (dla przekrycia H																			
	dn	D ₁ (mm)	t (mm)	A _s (mm ²)	Dc (mm)	H= 0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		2,0 m								
						F	L _{SiC}	F	L _{SiC}	F	L _{SiC}	F	L _{SiC}	F	L _{SiC}	F	L _{SiC}	F	L _{SiC}							
DN 20/125	20	262,9	2,6	1965,6	125	1,79	-	2,22	-	2,66	-	3,09	-	3,53	-	3,96	-	4,39	-							
DN 25/125	25	33,7	2,6	2540,0	125	1,79	-	2,73	-	2,66	-	3,09	-	3,53	-	3,96	-	4,40	-							
DN 32/140	32	42,4	2,6	3251,6	140	2,02	-	2,50	-	2,89	-	3,47	-	3,96	-	4,45	-	4,92	-							
DN 40/140	40	48,3	2,9	413,6	140	2,02	32,3	2,51	26,5	18	2,99	22,2	15	3,46	19,1	13	3,96	16,8	12	4,45	14,9	10	4,53	13,5	9	
DN 50/160	50	60,3	2,9	522,9	160	2,32	36,2	2,5	2,86	29,2	20	3,43	24,5	17	3,99	21,1	15	4,54	18,5	13	5,10	16,5	11	5,65	14,9	10
DN 65/180	65	76,1	2,9	666,9	180	2,63	40,7	2,6	3,26	32,9	23	3,88	27,6	19	4,50	23,8	16	5,13	20,9	14	5,75	18,6	13	6,38	16,8	12
DN 80/200	80	88,9	3,2	861,6	200	2,94	47,1	3,2	3,64	38,0	26	4,33	32,0	22	5,02	27,6	19	5,72	24,2	17	6,41	21,6	15	7,11	19,5	13
DN 100/250	100	114,3	3,6	1252,0	250	3,73	53,9	3,7	4,60	43,7	30	5,46	36,8	25	6,33	31,8	22	7,20	27,9	19	8,06	24,9	17	8,93	22,5	16
DN 125/280	125	139,7	3,6	1639,3	280	4,22	58,8	4,0	5,19	47,6	33	6,16	40,1	28	7,13	34,7	24	8,30	30,5	21	9,08	27,2	19	10,05	24,6	17
DN 150/315	150	158,3	4,0	2054,7	315	4,81	63,9	4,8	5,90	56,2	39	6,99	47,4	33	8,08	41,0	26	9,18	36,1	25	10,27	32,3	22	11,36	29,2	20
DN 200/400	200	219,1	4,5	3033,6	400	6,25	78,0	5,4	7,64	63,8	44	9,02	54,0	37	10,41	46,8	32	11,86	41,3	28	13,18	37,0	26	14,57	33,4	23
DN 250/500	250	273,0	5,0	4206,7	500	8,01	84,4	5,8	9,74	69,4	48	11,48	68,0	41	13,21	51,2	35	14,96	45,2	31	16,68	40,5	28	18,42	36,7	25
DN 300/560	300	323,9	5,6	5690,8	560	9,15	98,3	6,8	11,10	81,0	56	13,04	69,0	48	14,98	60,0	41	16,92	53,2	37	18,87	47,7	33	20,81	43,2	30
DN 350/630	350	355,6	5,6	6157,5	630	10,45	94,6	6,5	12,63	78,3	54	14,82	66,7	46	17,00	58,2	40	19,19	51,5	38	21,38	46,3	32	23,56	42,0	29
DN 400/710	400	406,4	6,3	7918,8	710	12,03	106,7	7,3	14,50	87,7	60	16,96	75,0	52	19,42	65,5	45	21,89	58,1	40	24,36	52,2	36	26,91	47,4	33
DN 450/800	450	457,0	6,3	8926,3	800	13,84	105,5	7,1	16,61	86,3	60	19,39	73,9	51	22,16	64,7	45	24,94	57,4	40	27,71	51,7	36	30,49	47,0	32
DN 500/900	500	509,0	6,3	9929,7	900	15,90	100,3	6,9	19,02	83,9	59	22,14	72,0	50	25,26	63,1	44	28,38	56,2	39	31,90	50,6	35	34,63	46,1	32
DN 600/1000	600	610,0	7,1	13447,9	1000	18,26	116,3	8,2	21,72	89,4	69	25,19	85,7	59	28,66	75,4	52	32,13	67,2	46	35,80	60,7	42	39,07	56,3	38
DN 700/1100	700	711,0	8,0	17668,3	1100	20,75	-	24,56	-	28,38	-	32,20	-	36,01	-	39,83	-	38,01	-	41,77	-	44,18	-	48,34	-	43,64
DN 800/1200	800	813,0	8,8	22352,9	1200	23,37	-	27,53	-	31,70	-	35,96	-	40,02	-	44,18	-	40,02	-	43,77	-	47,77	-	52,62	-	48,34
DN 900/1400	900	914,0	10,0	28400,0	1400	28,34	-	33,20	-	38,06	-	42,91	-	48,47	-	53,33	-	48,47	-	53,33	-	58,18	-	64,57	-	58,18
DN 1000/1600	1000	1016,0	11,0	34730,3	1600	29,05	-	33,90	-	38,76	-	43,62	-	49,47	-	54,33	-	49,47	-	54,33	-	60,18	-	66,93	-	60,18

Tabela 46: Odległość kompensatorów SUC od kolana kompensacyjnego dla sieci 125 °C/65 °C – SER/A 3 – Izolacja ++

SERIA 3 IZOLACJA++	Kompensatory jednorazowe SUC i kolana kompensacyjne zamontowane w sieci ciepłej o parametrach 125 °C/65 °C; temperatura montażu 10 °C. Gęstość zaskłki 19,0 kN/m ³						
	Odległość między kompensatorem SUC a kolanem kompensacyjnym $L_{KS} = L_{KS1} + L_{KS2} = [m]$ dla przykrycia H:						
	H= 0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1,8 m	2,0 m
	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}	L _{KS}
DN 20/125	-	-	-	-	-	-	-
DN 25/125	-	-	-	-	-	-	-
DN 32/140	-	-	-	-	-	-	-
DN 40/140	51,0	41,1	34,4	29,6	26,0	23,2	20,9
DN 50/160	56,1	45,2	38,0	32,7	28,7	25,6	23,1
DN 65/180	63,1	51,0	42,8	36,9	32,4	28,8	26,0
DN 80/200	73,0	58,9	49,5	42,7	37,5	33,5	30,2
DN 100/250	83,6	67,8	57,0	49,2	43,3	38,7	34,9
DN 125/280	90,8	73,8	62,2	53,8	47,3	42,2	38,1
DN 150/315	106,8	87,1	73,5	63,6	56,0	50,1	45,2
DN 200/400	120,8	98,8	83,7	72,5	64,0	57,3	51,8
DN 250/500	130,8	107,5	91,3	79,3	70,1	62,8	56,9
DN 300/560	152,4	125,5	106,9	93,0	82,4	73,9	67,0
DN 350/630	146,6	121,4	103,4	90,1	79,9	71,7	65,1
DN 400/710	163,8	135,9	116,2	101,5	90,1	80,9	73,5
DN 450/800	160,4	133,7	114,5	100,2	89,0	80,2	72,8
DN 500/900	155,5	130,0	111,6	97,9	87,1	78,4	71,4
DN 600/1000	183,3	154,1	132,9	116,8	104,1	94,1	85,7
DN 700/1100	-	-	-	-	-	-	-
DN 800/1200	-	-	-	-	-	-	-
DN 900/1400	-	-	-	-	-	-	-
DN 1000/1400	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 47: Obliczeniowe straty ciepła dla sieci ciepłej 125 °C/65 °C – SERIA 3 – Izolacja ++

SERIA 3 IZOLACJA++	Rury stalowe		Osłonki		Straty ciepła w rurociągach preizolowanych równoległych obliczone zgodnie z PN-EN 13941-1 dla parametrów sieci 125°C/65°C; oraz przykrycia rurociągu H (m)					
	gr	d _g (mm)	Dc (mm)	Di (mm)	H=0,6 m			H=2,0 m		
					dla λs = 1,6W/(mK); λi = 0,029W/(mK); oraz ts = 0,0°C					
	q _f	q _l	Σq _l	q _f	q _l	Σq _l				
DN 20/125	20	26,9	125	119,0	14,58	7,36	21,94	14,51	7,27	21,78
DN 25/125	25	33,7	125	119,0	17,04	8,56	25,60	16,95	8,43	25,38
DN 32/140	32	42,4	140	134,0	18,62	9,33	27,95	18,50	9,17	27,67
DN 40/140	40	48,3	140	134,0	20,84	10,40	31,24	20,70	10,20	30,90
DN 50/160	50	60,3	160	154,0	22,63	11,25	33,86	22,43	11,02	33,45
DN 65/180	65	76,1	180	174,0	25,47	12,62	38,09	25,24	12,32	37,56
DN 80/200	80	88,9	200	193,6	27,01	13,36	40,37	26,74	13,02	39,76
DN 100/250	100	114,3	250	242,8	28,04	14,00	42,04	27,72	13,60	41,32
DN 125/280	125	139,7	280	272,2	31,47	15,65	47,12	31,07	15,14	46,21
DN 150/315	150	168,3	315	306,8	34,78	17,23	52,01	34,28	16,62	50,90
DN 200/400	200	219,1	400	390,4	36,27	18,00	54,27	35,72	17,34	53,06
DN 250/500	250	273,0	500	488,8	36,21	18,04	54,25	35,66	17,39	53,05
DN 300/560	300	323,9	560	548,0	39,93	19,84	59,77	39,27	19,07	58,34
DN 350/630	350	355,6	630	616,8	38,37	19,14	57,51	37,77	18,44	56,21
DN 400/710	400	406,4	710	695,6	39,43	19,71	59,12	38,77	18,89	57,66
DN 450/800	450	457,0	800	784,2	39,36	19,72	59,08	38,73	19,01	57,74
DN 500/900	500	508,0	900	882,6	38,63	19,40	58,03	38,04	18,74	56,78
DN 600/1000	600	610,0	1000	981,2	44,58	22,29	66,87	43,81	21,45	65,26
DN 700/1100	700	711,0	1100	1079,6	50,39	25,10	75,49	49,43	24,07	73,50
DN 800/1200	800	813,0	1200	1178,0	56,35	27,97	84,32	55,21	26,73	81,94
DN 900/1400	900	914,0	1400	1375,0	51,77	25,86	77,63	50,87	24,89	75,76
DN 1000/1400	1000	1016,0	1400	1375,0	66,20	33,61	101,81	66,62	31,92	98,54

Tabela 48: Opory ciepła dla sieci ciepłej 125°C/65°C – SERIA 3 – Izolacja ++

SERIA 3 IZOLACJA ++	Rury stalowe		Oblawa		Opory ciepła dla układów asymetrycznego i niesymetrycznego, do obliczenia służy metoda superpozycji, w warunkach prędkościach równoległych - rury pojedynczo - dla wartości $t_s = 8,00^\circ\text{C}; t_w = 1,60\text{ W/(mK)}; t_w = 0,0750\text{ W/(mK)}$, oraz przyznajca turulejagi $H =$													
	Df	d _s (mm)	Dc (mm)	Di (mm)	H=0,8 m		1,0 m		3,2 m		1,4 m		1,6 m		1,8 m		R _{ls}	R _{ls}
					R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}	R _{ls}		
DN 20/125	20	26,9	125	115	8,7030	8,3120	8,7398	8,3123	8,7711	8,3124	8,7981	8,3126	8,8218	8,3126	8,8430	8,3127	8,8622	8,3127
DN 25/125	25	33,7	125	119	7,4666	7,0755	7,5035	7,0758	7,5347	7,0760	7,5816	7,0761	7,5854	7,0762	7,6046	7,0763	7,6258	7,0763
DN 32/140	32	42,4	140	134	6,9424	6,4801	6,8790	6,4805	6,9099	6,4807	6,9367	6,4808	6,9604	6,4809	6,9815	6,4809	7,0006	6,4810
DN 40/140	40	48,3	140	134	6,1272	5,7449	6,1038	5,7463	6,1947	5,7465	6,2215	5,7466	6,2492	5,7467	6,2663	5,7467	6,2854	5,7468
DN 50/160	50	60,3	160	154	5,6542	5,2930	5,6985	5,2934	5,7212	5,2936	5,7478	5,2937	5,7713	5,2938	5,7923	5,2938	5,8113	5,2940
DN 65/160	65	76,1	160	174	5,0312	4,6702	5,0671	4,6706	5,0975	4,6708	5,1240	4,6710	5,1473	4,6711	5,1682	4,6712	5,1871	4,6712
DN 80/200	80	86,9	200	194	4,7483	4,3977	4,7846	4,3981	4,8130	4,3984	4,4412	4,3986	4,4644	4,3987	4,4861	4,3988	4,5040	4,3989
DN 100/250	100	114,3	250	243	4,5612	4,2730	4,5956	4,2736	4,6249	4,2744	4,6506	4,2747	4,6733	4,2749	4,6937	4,2751	4,7122	4,2752
DN 125/280	125	138,7	280	272	4,0727	3,7927	4,1065	3,7936	4,1356	3,7942	4,1608	3,7945	4,1834	3,7948	4,2086	3,7950	4,2220	3,7951
DN 150/315	150	168,3	315	307	3,6930	3,4218	3,7262	3,4226	3,7547	3,4234	3,7798	3,4238	3,8020	3,4241	3,8221	3,4243	3,8403	3,4244
DN 200/400	200	219,1	400	390	3,6582	3,3957	3,5701	3,3966	3,5976	3,3976	3,6219	3,3981	3,6435	3,3984	3,6631	3,3987	3,6809	3,3988
DN 250/500	250	273,0	500	489	3,5381	3,3036	3,5684	3,3049	3,5949	3,3058	3,6183	3,3064	3,6393	3,3068	3,6563	3,3071	3,6757	3,3073
DN 300/560	300	323,9	560	548	3,2133	2,9989	3,2426	2,9999	3,2687	2,9994	3,2916	2,9910	3,3122	2,9915	3,3309	2,9918	3,3486	2,9921
DN 350/630	350	365,6	630	617	3,3369	3,1212	3,3655	3,1227	3,3906	3,1237	3,4130	3,1244	3,4332	3,1250	3,4516	3,1253	3,4684	3,1256
DN 400/710	400	406,4	710	696	3,2454	3,0480	3,2726	3,0498	3,2971	3,0510	3,3188	3,0519	3,3364	3,0526	3,3563	3,0530	3,3728	3,0533
DN 450/800	450	457,0	800	784	3,2466	3,0578	3,2729	3,0597	3,2964	3,0610	3,3175	3,0619	3,3566	3,0626	3,3541	3,0631	3,3702	3,0635
DN 500/900	500	506,0	900	883	3,4030	3,1226	3,3283	3,1245	3,3509	3,1269	3,3713	3,1270	3,3899	3,1277	3,4069	3,1283	3,4227	3,1287
DN 600/1000	600	610,0	1000	981	2,8657	2,6955	2,8930	2,6976	2,9148	2,6991	2,9346	2,7001	2,9526	2,7010	2,9692	2,7016	2,9846	2,7021
DN 700/1100	700	711,0	1100	1080	2,5431	2,3763	2,5665	2,3785	2,3976	2,3800	2,6068	2,3812	2,6243	2,3821	2,6405	2,3828	2,6553	2,3833
DN 800/1200	800	813,0	1200	1178	2,2783	2,1172	2,3009	2,1194	2,3212	2,1210	2,3398	2,1223	2,3569	2,1232	2,3747	2,1239	2,3874	2,1245
DN 900/1400	900	914,0	1400	1375	2,4704	2,3189	2,4914	2,3212	2,5105	2,3230	2,5281	2,3243	2,5443	2,3253	2,5593	2,3261	2,5734	2,3268
DN 1000/1400	1000	1016,0	1400	1375	1,8895	1,7380	1,9105	1,7403	1,9296	1,7421	1,9472	1,7434	1,9634	1,7444	1,9784	1,7452	1,9924	1,7459

Notatki

Notatki

Notatki

Notatki

RADPOL **PIPES**



PIPE SOLUTIONS



PRE-INSULATED SYSTEMS

RADPOL PIPES SP. Z O.O.

Kolonia Prawiedniki nr 57 | 20-515 Lublin | +48 81 750 01 70 | info@radpolpipes.eu | radpolpipes.eu
NIP 5272911103 | REGON 384811614 | KRS 0000812493