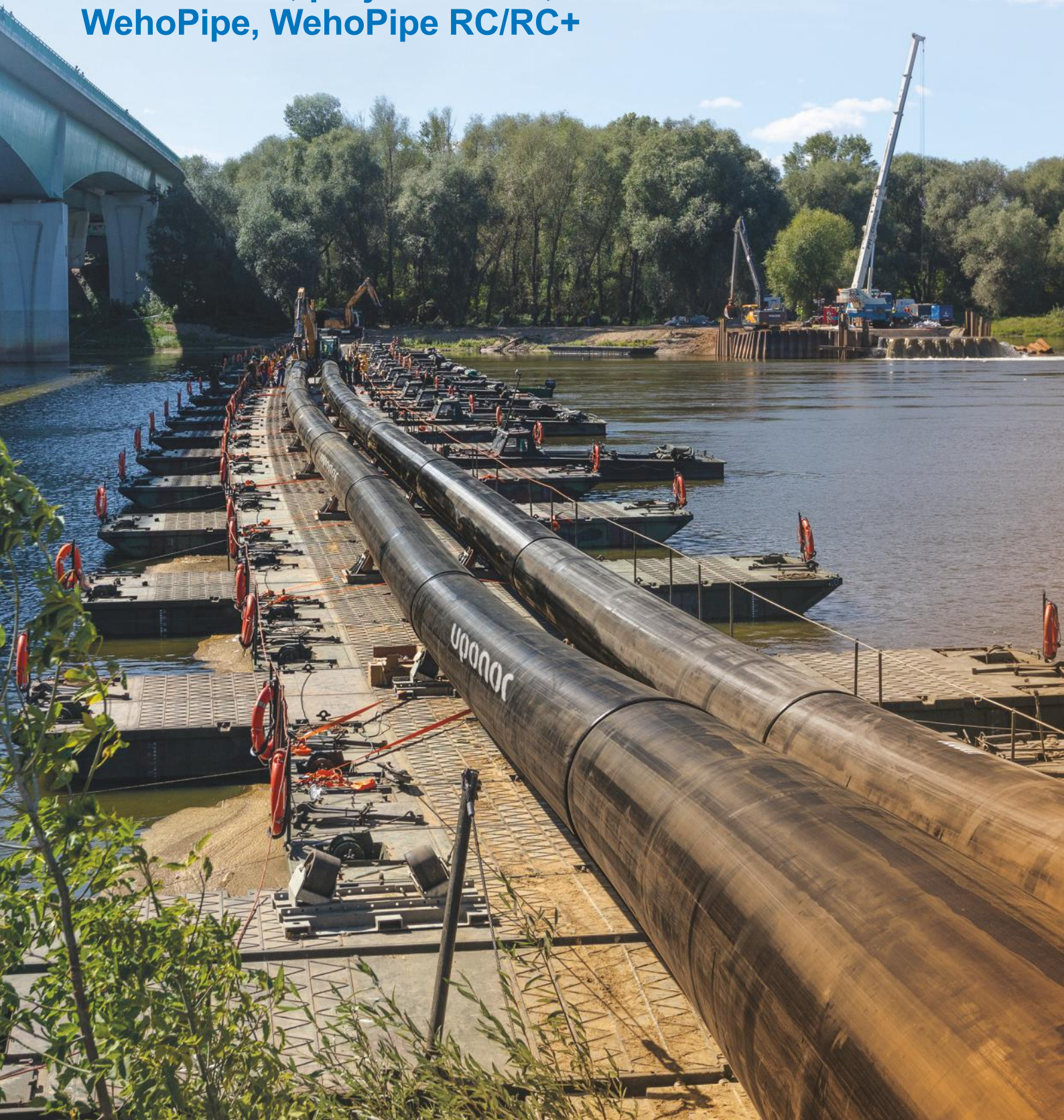


uponor

Systemy Ciśnieniowe

Właściwości, projektowanie, montaż
WehoPipe, WehoPipe RC/RC+



Spis treści

1. Informacje ogólne	4
2. Właściwości rurociągów PE	6
3. Parametry projektowe rur PE	8
4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływów ciśnieniowych	12
5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie	27
6. Połączenia rur ciśnieniowych PE	39
7. Próba szczelności rurociągów ciśnieniowych	46
8. Relining rurociągów ciśnieniowych rurami PE	47
9. Transport i składowanie rur PE	51
10. Tablice odporności chemicznej PE i PP	53

1. Informacje ogólne

1.1. Obowiązujące normy, wytyczne i zalecenia

Firma Uponor Infra Sp. z o.o. (dawniej KWH Pipe Poland Sp. z o.o.) posiada certyfikat ISO 9001 oraz ISO 14001. Jest to potwierdzenie dbałości firmy o najwyższe standardy zarówno w produkcji jak i sprzedaży naszych wyrobów. Każdy produkt posiada odpowiedni plan badań a kontrola jakości dostarczanych wyrobów oparta jest o normy obowiązujące we wszystkich krajach UE. Badania prowadzone są na nadzorowanych urządzeniach badawczych

we własnym laboratorium co pozwala ufać uzyskiwanym wynikom.

Rury i kształtki PE produkcji Uponor Infra Sp. z o.o., stosowane w budownictwie posiadają aprobaty techniczne wydane przez Instytut Techniki Budowlanej ITB w Warszawie. Wyroby przeznaczone do przesyłania wody pitnej produkowane są w oparciu o surowce, które posiadają atesty higieniczne wydane przez Państwowy Zakład Higieny w Warszawie.

Rurociągi ciśnieniowe posiadają następujące dopuszczenia na polskim rynku:

Nazwa wyrobu	Zastosowanie	ITB	ATESTY PZH	GIG
Rury i kształtki ciśnieniowe PE WehoPipe	Wodociągi, kanalizacja ciśnieniowa	✓	✓	✓
Rury i kształtki ciśnieniowe PE WehoPipe RC/RC+	Wodociągi, kanalizacja ciśnieniowa	✓	✓	

W procesie tworzenia aprobat Uponor Infra Sp. z o.o., wykorzystane zostały normy międzynarodowe (ISO), europejskie (EN) oraz narodowe (np. PN, SFS, DIN). Do najistotniejszych z nich należą:

Norma	Tytuł normy
ISO 4427 1-3	Polyethylene (PE) pipes for water supply - Specifications Rury polietylenowe (PE) do zaopatrzenia w wodę - Specyfikacja
ISO 4065	Thermoplastic pipes – Universal wall thickness table Rury termoplastyczne – Uniwersalna tabela grubości ścianek
PN-ENV 1046	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych, Praktyka instalowania pod ziemią i nad ziemią
PN-EN ISO 3126	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych, Elementy z tworzy sztucznych - Sprawdzanie wymiarów
PN-EN 12201	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania wody oraz do ciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej -- Polietylen (PE) --
PN-EN 805	Zaopatrzenie w wodę - Wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich części składowych

1.2. Właściwości materiałowe PE

	Właściwość		PE100
1	MRS	[MPa]	10
2	Gęstość (ρ)	[kg/m ³]	≥930
3	Wskaźnik płynięcia (PE:190°C, 5kg)	[g/10 min]	0,2-0,4
4	Wytrzymałość na rozciąganie do punktu płynięcia	[N/mm ²]	18-29
5	Wydłużenie do zerwania PE	[%]	≥500
6	Temperatura kruchości PE	[°C]	<-70
7	Twardość wg Shore'a D	Shore D	55-60
8	Termiczna rozszerzalność liniowa (α)	[mm/m°C]	0,15-0,20

1. Informacje ogólne

1.3. System ciśnieniowy WehoPipe - Zastosowania

Wodociągi



Kanalizacja ciśnieniowa



Rurociągi podwodne



Tereny szkód górniczych



Relining



Rurociągi technologiczne i przesyłowe



Przewierty horizontalne



Odwodnienie lotnisk, centrów logistycznych



2. Właściwości rurociągów PE

2.1. Zalety materiału PE

Zalety materiału PE zdecydowały o powszechnym zastosowaniu rur i kształtek polietylenowych do budowy infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej.

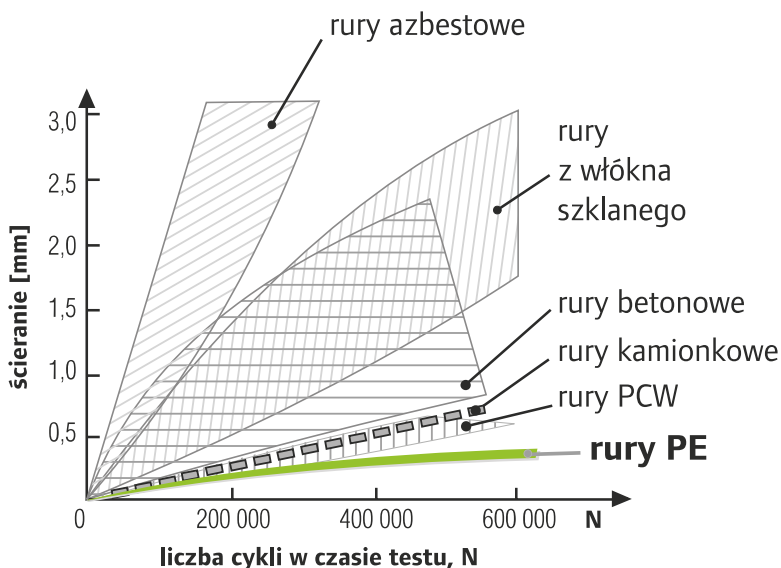
Do najważniejszych z nich należą:

- Wysoka odporność na ścieranie
- Odporność na korozję (związki chemiczne)
- Bardzo dobre właściwości hydrauliczne
- Nietoksyczność
- 100% szczelność połączeń
- Elastyczność
- Niska waga rur
- Niezawodność

Wysoka odporność na ścieranie

Odporność na ścieranie jest jedną z najważniejszych cech wyróżniającą rury PE z pośród innych materiałów stosowanych do budowy rurociągów. Dzięki swoim właściwościom rury PE stosowane są do przesyłu szlamów, piasku i innych mediów o wysokiej ścieralności. Do testu metodą Darmstadt wykorzystano rury wykonane z powszechnie stosowanych materiałów, których próbki wypełniono mieszaniną wody i piasku i poddano cyklicznym

ruchom wahadłowym. Ilość zużytego (wytartego) materiału na ściankach rur była mierzona regularnie. Wynik testu pokazuje bardzo wysoką odporność na ścieranie rur polietylenowych, np. dla ilości 400 000 cykli zmierzono 0,3 mm ubytek powierzchni rur PE, natomiast w przypadku rur z włókna szklanego (GRP) pomierzony ubytek był 6 - 8-krotnie większy (test Uniwestetu w Darmstadt, Niemcy).



ŹRÓDŁO: University of Darmstadt (DIN 19534)



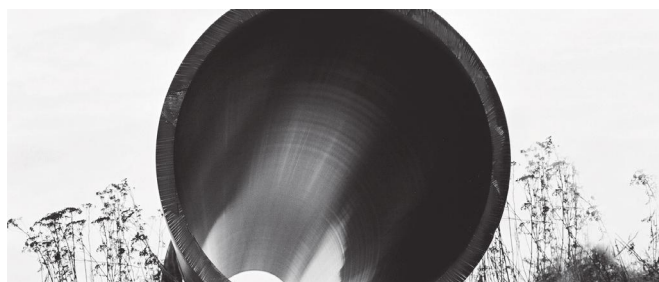
Odporność na korozję

Rury PE odporne są na wiele związków chemicznych, pod wpływem, których rury z materiałów tradycyjnych ulegają szybkiej korozji i starzeniu się: większość kwasów (oprócz kwasu azotowego), zasad, soli, rozpuszczalników alifatycznych (pH 0-14). Rury polietylenowe są mało odporne na utleniacze oraz rozpuszczalniki aromatyczne. Odporność rur PE na związki chemiczne jest zależna od temperatury, stężenia związku oraz ciśnienia roboczego. Szczegółowe dane na temat odporności chemicznej PE i innych materiałów termoplastycznych można znaleźć w normie ISO/TR 10358.

2. Właściwości rurociągów PE

Właściwości hydrauliczne

Rury PE zachowują niski i niezmienny współczynnik chropowatości bezwzględnej k równy 0,01 mm. Brak korozji i zarastania rur PE od wewnątrz jest jedną z najważniejszych zalet użytkowych systemów PE.



Nietoksyczność

W systemie Weho można wykonywać zbiorniki wody przeznaczonej do spożycia. Zbiorniki te wykonane są z materiału PE posiadającego atest PZH (Państwowego Zakładu Higieny).



100% szczelność połączeń

Rury ciśnieniowe PE można łączyć poprzez zgrzewanie doczołowe za pomocą zgrzewarek Uponor Infra lub innych przystosowanych do rur PE. Połączenie doczołowe jest 100% szczelne i prawidłowo wykonane daje gwarancję bezawaryjności przez cały okres eksploatacji rurociągu. Połączenie zgrzewane jest jednorodne z materiałem rury.



Elastyczność

Wykorzystując naturalny promień gięcia rurociągi PE można układać zgodnie ze zmianą kierunku trasy, co często pozwala zrezygnować z montowania drogich kształtek. Elastyczność to cecha, która wyróżnia rury PE spośród innych tradycyjnych materiałów.



Mała masa rur

Niska masa rur pozwala obniżyć koszty i skrócić czas montażu. Dzięki temu rury PE nie wymagają stosowania ciężkiego sprzętu do układania oraz rozładunku w miejscu budowy.

Orientacyjne wagi rur

PE DN1000	- 120 kg/m
Betras DN1000	- 700 kg/m
Żeliwo DN1000	- 300 kg/m



Niezawodność

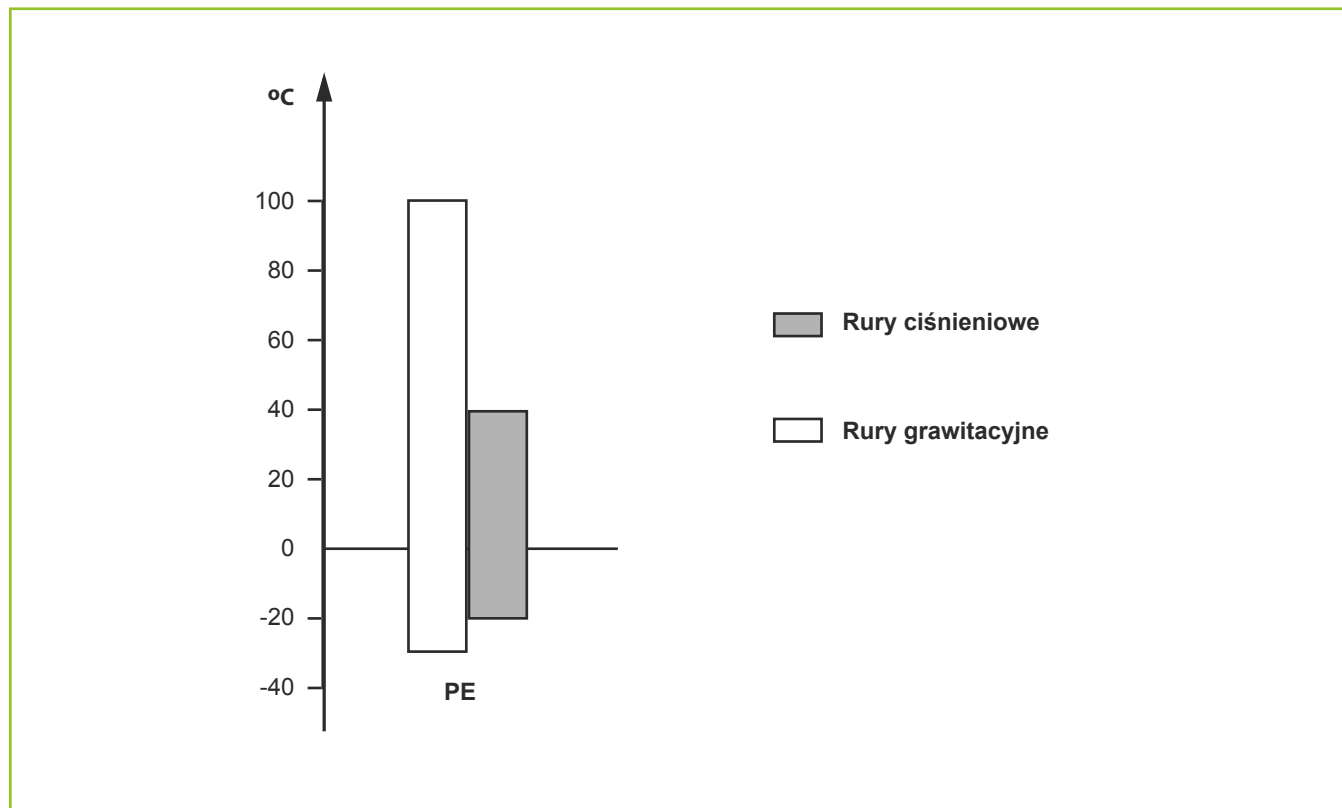
Awaryjność rur PE jest znacznie mniejsza niż rur sztywnych (żeliwo, stal, GRP). Rury PE są odporne na zmienne warunki atmosferyczne. Można je montować i transportować zarówno przy niskich temperaturach (ujemnych) jak i bardzo wysokich (tropikalnych). Z tych między innymi powodów rury PE znajdują zastosowanie na całym świecie bez względu na strefy klimatyczne.



3. Parametry projektowe rur PE

3.1. Odporność na temperaturę płynącego medium

Zamieszczony poniżej wykres ilustruje różnice zakresów temperatur roboczych stosowanych dla ciśnieniowych i grawitacyjnych rur PE.



Projektując rurociąg ciśnieniowy z polietylenu (PE) zakłada się, że jego czas eksploatacji wyniesie minimum 50 lat, pod warunkiem, że ciśnienie robocze nie będzie przekraczać wartości ciśnienia nominalnego, na jakie projektowany jest rurociąg, a przepływającym medium będzie woda o temperaturze nie przekraczającej 20°C. Temperatura przepływającego medium obok ciśnienia ma zasadniczy wpływ na żywotność eksploatacyjną rur termoplastycznych (m.in. PE). Wraz ze wzrostem temperatury ponad założoną wartość, żywotność rurociągu ciśnieniowego obniża się. W celu utrzymania trwałości rurociągu na poziomie

zgodnym z założeniami tj. 50 lat pracy, należy uwzględnić w projektowaniu rurociągów PE współczynnik korygujący „k” obniżający ciśnienie pracy w stosunku do ciśnienia nominalnego dla wyższego zakresu temperatur, zgodnie z poniższą zależnością:

$$Prob = PN \times k \text{ [bar]}$$

Gdzie:

k - współczynnik korygujący
PN - ciśnienie nominalne rury [bar]

Zależność między temperaturą a współczynnikiem k zawarta jest w poniższej tabelicy:

Temperatura [C°]	Współczynnik korygujący k
20	1,0
30	0,87
40	0,74

3. Parametry projektowe rur PE

3.2. Ciśnienie nominalne

Wśród polietylenów, które znalazły zastosowanie w budowie systemów rurowych można wyróżnić PE 80, PE 100. Parametr MRS (Minimum Required Strength) służy do klasyfikacji polietylenu pod względem jego wytrzymałości. Parametr ten jest istotny dla wyznaczenia naprężenia obliczeniowego (projektowego), potrzebnego do obliczenia grubości ścianki rurociągu e odpornego na określone ciśnienie robocze. Zależności pomiędzy poszczególnymi wielkościami są zawarte w poniższych wzorach:

$$\sigma_d = \frac{MRS}{C_{min}}$$

gdzie:
 C_{min} – minimalny współczynnik bezpieczeństwa dla rurociągów z PE (wg ISO 12126)

$$e = \frac{p \cdot d_n}{2\sigma_d + p}$$

gdzie:
 p – nominalne ciśnienie rurociągu
 d_n – nominalna średnica rurociągu

Klasyfikację rur PE przedstawia poniższa tabela.

Klasa PE	MRS	σ_d [MPa]
		C=1,25
PE 100	10,0	8,0

SDR [-]	33		27,6		26		22		21		17,6		17		13,6		11		9		
PE100	PN 5		PN 6		PN 6,3		PN 7,5		PN 8		-		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20		
d_n	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	e_n	d_i	
mm	mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		
90			3,3	83,4	3,5	83,0	4,1	81,8	4,3	81,4	5,1	79,8	5,4	79,2	6,7	76,6	8,2	73,6	10,1	69,8	
110			4,0	102,0	4,2	101,6	5,0	100,0	5,3	99,4	6,3	97,4	6,6	96,8	8,1	93,8	10,0	90,0	12,3	85,4	
125			4,6	115,8	4,8	115,4	5,7	113,6	6,0	113,0	7,1	110,8	7,4	110,2	9,2	106,6	11,4	102,2	14,0	97,0	
140			5,1	129,8	5,4	129,2	6,4	127,2	6,7	126,6	8,0	124,0	8,3	123,4	10,3	119,4	12,7	114,6	15,7	108,6	
160			5,8	148,4	6,2	147,6	7,3	145,4	7,7	144,6	9,1	141,8	9,5	141,0	11,8	136,4	14,6	130,8	17,9	124,2	
180			6,6	166,8	6,9	166,2	8,2	163,6	8,6	162,8	10,2	159,6	10,7	158,6	13,3	153,4	16,4	147,2	20,1	139,8	
200			7,3	185,4	7,7	184,6	9,1	181,8	9,6	180,8	11,4	177,2	11,9	176,2	14,7	170,6	18,2	163,6	22,4	155,2	
225			8,2	208,6	8,6	207,8	10,3	204,4	10,8	203,4	12,8	199,4	13,4	198,2	16,6	191,8	20,5	184,0	25,2	174,6	
250			9,1	231,8	9,6	230,8	11,4	227,2	11,9	226,2	14,2	221,6	14,8	220,4	18,4	213,2	22,7	204,6	27,9	194,2	
280			10,2	259,6	10,7	258,6	12,8	254,4	13,4	253,2	15,9	248,2	16,6	246,8	20,6	238,8	25,4	229,2	31,3	217,4	
315	9,7	295,6	11,4	292,2	12,1	290,8	14,4	286,2	15,0	285,0	17,9	279,2	18,7	277,6	23,2	268,6	28,6	257,8	35,2	244,6	
355	10,9	333,2	12,9	329,2	13,6	327,8	16,2	322,6	16,9	321,2	20,1	314,8	21,1	312,8	26,1	302,8	32,2	290,6	39,7	275,6	
400	12,3	375,4	14,5	371,0	15,3	369,4	18,2	363,6	19,1	361,8	22,7	354,6	23,7	352,6	29,4	341,2	36,3	327,4	44,7	310,6	
450	13,8	422,4	16,3	417,4	17,2	415,6	20,5	409,0	21,5	407,0	25,5	399,0	26,7	396,6	33,1	383,8	40,9	368,2	50,3	349,4	
500	15,3	469,4	18,1	463,8	19,1	461,8	22,8	454,4	23,9	452,2	28,3	443,4	29,7	440,6	36,8	426,4	45,4	409,2	55,8	388,4	
560	17,2	525,6	20,3	519,4	21,4	517,2	25,5	509,0	26,7	506,6	31,7	496,6	33,2	493,6	41,2	477,6	50,8	458,4	62,5	435,0	
630	19,3	591,4	22,8	584,4	24,1	581,3	28,7	572,6	30,0	570,0	35,7	558,6	37,4	555,2	46,3	537,4	57,2	515,6	70,3	489,4	
710	21,8	666,4	25,7	658,6	27,2	655,6	32,3	645,4	33,9	642,2	40,2	629,6	42,1	625,8	52,2	605,6	64,5	581,0	79,3	551,4	
800	24,5	751,0	29,0	742,0	30,6	738,8	36,4	727,2	38,1	723,8	45,3	709,4	47,4	705,2	58,8	682,4	72,6	654,8	89,3	621,4	
900	27,6	844,8	32,6	834,8	34,4	831,2	41,0	818,0	42,9	814,2	51,0	798,0	53,3	793,4	66,1	767,8	81,7	736,6	100,5	699,0	
1000	30,6	938,8	36,2	927,6	38,2	923,6	45,5	909,0	47,7	904,6	56,7	886,6	59,3	881,4	73,5	853,0	90,8	818,4			
1200	36,7	1126,6	43,4	1113,2	45,9	1108,2	54,6	1090,8	57,2	1085,6	68,0	1064,0	71,1	1057,8	88,2	1023,6	108,9*	982,2			
1400	42,9	1314,2	50,7	1298,6	53,5	1293,0	63,7	1272,6	66,7	1266,6	79,3	1241,4	83,0	1234,0	102,8	1194,4					
1600	49,0	1502,0	57,9	1484,2	61,2	1477,6	72,8	1454,4	76,2	1447,6	90,6	1418,8	94,8	1410,4	117,5	1365,0					
1800*																					

* na zapytanie

3. Parametry projektowe rur PE

	SDR		33		27,6		26		21		17		13,6		11		9	
	PE100RC		PN 5		PN 6		PN 6,3		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20	
	d _n	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	e _n	d _i	
	mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm	
WehoPipe RC2+, RC3+	90			3,3	83,4	3,5	83,0	4,3	81,4	5,4	79,2	6,7	76,6	8,2	73,6	10,1	69,8	
	110			4,0	102,0	4,2	101,6	5,3	99,4	6,6	96,8	8,1	93,8	10,0	90,0	12,3	85,4	
	125			4,6	115,8	4,8	115,4	6,0	113,0	7,4	110,2	9,2	106,6	11,4	102,2	14,0	97,0	
	140			5,1	129,8	5,4	129,2	6,7	126,6	8,3	123,4	10,3	119,4	12,7	114,6	15,7	108,6	
	160			5,8	148,4	6,2	147,6	7,7	144,6	9,5	141,0	11,8	136,4	14,6	130,8	17,9	124,2	
	180			6,6	166,8	6,9	166,2	8,6	162,8	10,7	158,6	13,3	153,4	16,4	147,2	20,1	169,8	
	200			7,3	185,4	7,7	184,6	9,6	180,8	11,9	176,2	14,7	170,6	18,2	163,6	22,4	155,2	
	225			8,2	208,6	8,6	207,8	10,8	203,4	13,4	198,2	16,6	191,8	20,5	184,0	25,2	174,6	
	250			9,1	231,8	9,6	230,8	11,9	226,2	14,8	220,4	18,4	213,2	22,7	204,6	27,9	194,2	
	280			10,2	259,6	10,7	258,6	13,4	253,2	16,6	246,8	20,6	238,8	25,4	229,2	31,3	217,4	
	315	9,7	295,6	11,4	292,2	12,1	290,8	15,0	285,0	18,7	277,6	23,2	268,6	28,6	257,8	35,2	244,6	
	355	10,9	333,2	12,9	329,2	13,6	327,8	16,9	321,2	21,1	312,8	26,1	302,8	32,2	290,6	39,7	275,6	
	400	12,3	375,4	14,5	371,0	15,3	369,4	19,1	361,8	23,7	352,6	29,4	341,2	36,3	327,4	44,7	310,6	
	450	13,8	422,4	16,3	417,4	17,2	415,6	21,5	407,0	26,7	396,6	33,1	383,8	40,9	368,2	50,3	349,4	
	500	15,3	469,4	18,1	463,8	19,1	461,8	23,9	452,2	29,7	440,6	36,8	426,4	45,4	409,2	55,8	388,4	
	560	17,2	525,6	20,3	519,4	21,4	517,2	26,7	506,6	33,2	493,6	41,2	477,6	50,8	458,4	62,5	435,0	
	630	19,3	591,4	22,8	584,4	24,1	581,8	30,0	570,0	37,4	555,2	46,3	537,4	57,2	515,6	70,3	489,4	
	710	21,8	666,4	25,7	658,6	27,2	655,6	33,9	642,2	42,1	625,8	52,2	605,6	64,5	581,0	79,3	551,4	
800	24,5	751,0	29,0	742,0	30,6	738,8	38,1	723,8	47,4	705,2	58,8	682,4	72,6	654,8	89,3	621,4		
900	27,6	844,8	32,6	834,8	34,4	831,2	42,9	814,2	53,3	793,4	66,1	767,8	81,7	736,6	100,5	699,0		
1000	30,6	938,8	36,2	927,6	38,2	923,6	47,7	904,6	59,3	881,4	74,8	818,4	90,8	818,4				
1200	36,7	1126,6	43,4	1113,2	45,9	1108,2	57,2	1085,6	71,1	1057,8	88,2	1023,6						
1400	42,9	1314,2	50,7	1298,6	53,5	1293,0	66,7	1266,6	83,0	1234,0	102,8	1194,4						
1600	49,0	1502,0	57,9	1484,2	61,2	1477,6	76,2	1447,6	94,8	1410,4								
1800 *																		

3.3. Dobór kształtek do rur ciśnieniowych

Kształtki segmentowe dostarczane przez Uponor Infra są dodatkowo wzmocnione poprzez zwiększoną grubość ścianek rur (zmniejszenie SDR), z których wykonywane są ich elementy. Grubość ścianki tak przygotowanej kształtki w miejscu łączenia z rurą jest taka sama jak grubość rury. Zatem oferowane Państwu standardowe kształtki segmentowe do rurociągów ciśnieniowych mogą być używane do rurociągów o ciśnieniach SDR określonych w poniższej tabeli. Przy doborze kształtek należy zawsze podawać wartość SDR.

Współczynniki redukcji ciśnienia

łuk	trójkąt
0,8	0,65

Tabela 3.3. doboru kształtek do rur po uwzględnieniu współczynników redukcyjnych:

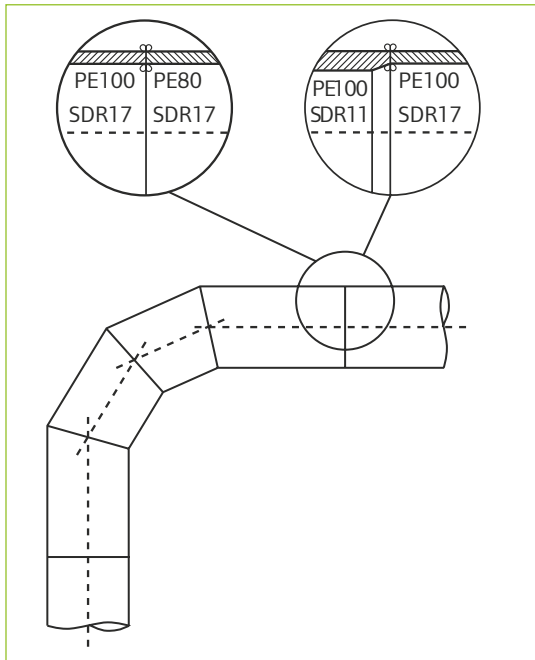
Rurociąg			Kształtki	
			łuk	trójkąt
SDR33	PE100	PN5	SDR26 PE100	SDR21 PE100
SDR26	PE100	PN6,3	SDR21 PE100	SDR17 PE100
SDR21	PE100	PN8	SDR17 PE100	SDR11 PE100
SDR17	PE100	PN10	SDR13,6 PE100	SDR11 PE100
SDR13,6	PE100	PN12,5	SDR11 PE100	SDR9 PE100
SDR11	PE100	PN16	SDR9 PE100	
SDR9	PE100	PN20		

W przypadkach nie objętych powyższą tabelą prosimy o bezpośredni kontakt z producentem. Przykład:

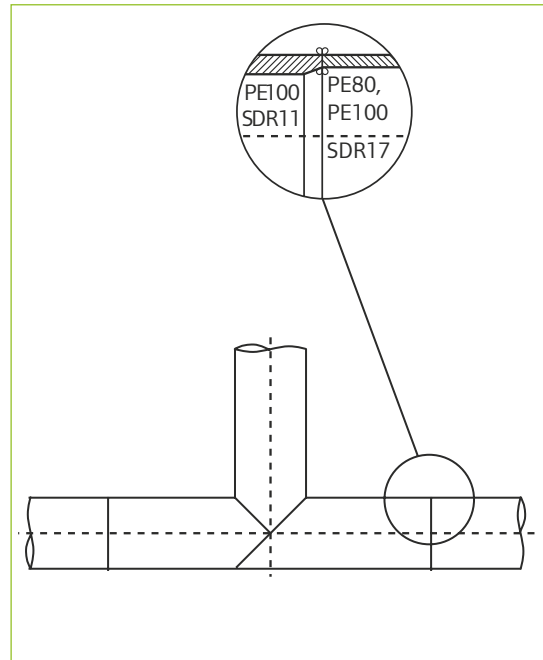
Rurociąg	Kolano segmentowe 30°	Trójkąt segmentowy 90°
dn630 SDR21 PE 100 PN8	dn630 SDR17 PE100	dn630 SDR11 PE100

3. Parametry projektowe rur PE

Przekrój przez ścianki rura-kształtka w miejscu zgrzewu:



Rura PE80 SDR17- łuk PE100 SDR17 i Rura PE100 SDR17- łuk PE100 SDR11 (przykład)

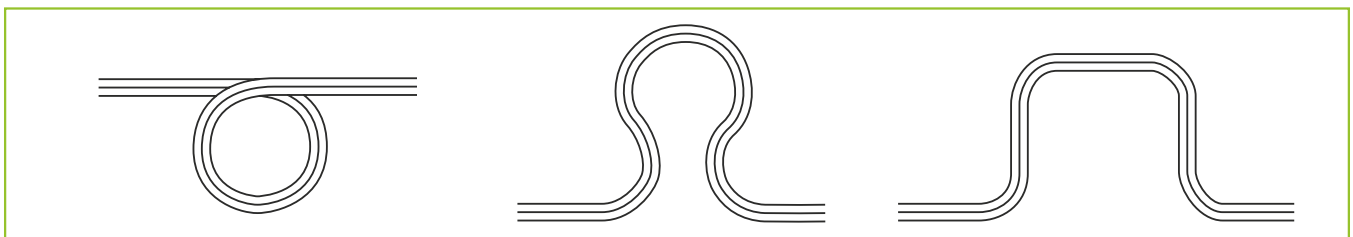
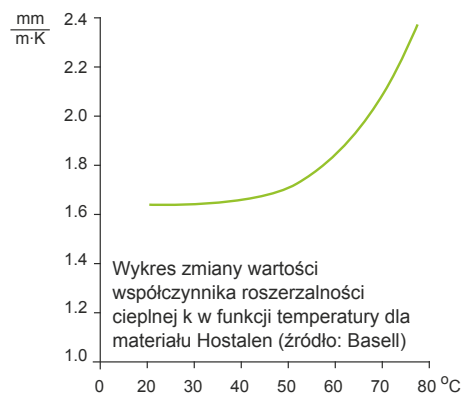


Rura PE100 lub PE80 SDR17- trójnik PE100 SDR11 (przykład)

3.4. Termiczna rozszerzalność liniowa rur PE

Termiczny współczynnik rozszerzalności liniowej dla różnych materiałów wynosi:

PE	mm/Kx m	0,15-0,20
STAL	mm/K x m	0,01



Kompensator dla rurociągów o małych średnicach dn<160mm

Kompensator dla rurociągów o małych średnicach dn<160mm

Kompensator dla rurociągów o małych i dużych średnicach

Polietylen charakteryzuje się znacznie większym współczynnikiem rozszerzalności termicznej niż stal, żeliwo i inne tradycyjne materiały instalacyjne. Tak duża rozszerzalność termiczna nie musi automatycznie oznaczać konieczności stosowania kompensatorów termicznych na rurach polietylenowych. Ze względu na warunki pracy

rurociągu można wyróżnić dwa przypadki:

1. Rurociąg umieszczony jest w gruncie i swoboda jego przemieszczeń (tak całości jak i dowolnych fragmentów) jest praktycznie ograniczona do zera.
2. Rurociąg stanowi instalację nadziemną i istnieją możliwości przemieszczeń jego znacznych fragmentów.

3. Parametry projektowe rur PE

W pierwszym przypadku, ze względu na lepkosprężyste właściwości materiału, naprężenia termiczne (naprężenia indukowane w materiale przy zmianie jego temperatury przy jednoczesnym ograniczeniu swobody odkształcenia) będą ulegały relaksacji zwłaszcza przy rozpatrywaniu zjawisk w perspektywie długoczasowej (zima/lato). Ponadto, należy pamiętać, że polietylen charakteryzuje się również dużym oporem cieplnym i w związku z tym zmiana średniej temperatury ścianki rury jest znacznie mniejsza niż zmiana temperatury transportowanego medium lub temperatury otoczenia. W związku z tym, dla typowych przypadków rurociągów układanych w gruncie nie ma potrzeby stosowania kompensatorów termicznych niezależnie od długości rurociągu.

W drugim przypadku, należy przeprowadzić bardziej szczegółową analizę warunków pracy rurociągu. Trzeba tutaj

uwzględnić sposób podparcia rurociągu (najkorzystniejsze jest podparcie wzdłużne np. rura w korycie), rozkład punktów stałych ewentualny wpływ dodatkowej izolacji (polietylen innej barwy niż czarny nie może być wystawiony na długotrwałe oddziaływanie promieniowania UV, gdyż prowadzi to do przyspieszonego starzenia materiału), charakter zmian temperatury (szybkie- cykliczne, czy wolne w czasie- sezonowe, wynikające ze zmiany pór roku), długość rurociągu oraz rozkład temperatury w ściance rury i jej wpływ na poziom naprężeń (należy złożyć naprężenia termiczne z naprężeniami wewnętrznymi wynikającymi z rozkładu temperatury w ściance rury i naprężeniami pochodzącymi od ciśnienia wewnętrznego). W związku z powyższym, przy rozwiązywaniu problemów tego typu prosimy o kontakt z naszymi doradcami technicznymi.

Przykład:	
Dane	Rurociąg zamontowany na estakadzie: - sezonowa zmiany temperatury $\Delta T=25$ st C (lato-zima) - długość odkrytego rurociągu (zamontowanego poza gruntem) $L=100$ m
Wynik	Maksymalne możliwe wydłużenie $\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T = 100[m] \times 0,16 [mm/m \cdot K] \times 25 [K] = 20[mm] \times 25 = 0,4[m]$
Praktycznym sposobem zmniejszenia efektu rozszerzalności liniowej jest zastosowanie punktu stałego po środku odcinka- wydłużalność liniowa rozłoży się na 2 krótsze odcinki i jej efekt będzie mniejszy.	

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

4.1. Algorytm obliczeń

Projektowanie hydrauliczne przewodów o napiętym zwierciadle cieczy (przepływ ciśnieniowe) polega na wyznaczeniu wysokości ciśnienia (lub bezpośrednio wartości ciśnienia) w określonym punkcie sieci prowadzącej medium. W praktycznych zastosowaniach do wymiarowania rozległych, rozgałęzionych sieci stosuje się skomplikowane programy wykorzystujące metody optymalizacyjne.

Praktyczne przypadki projektowe związane z wymiarowaniem hydraulicznym pojedynczych przewodów, wynikają z konieczności określenia:

- wartości ciśnienia na początku odcinka w celu doboru odpowiednich parametrów urządzeń tłoczących zapewniających wymaganą wartość ciśnienia na końcu odcinka lub
- oszacowania wartości ciśnienia na końcu rozpatrywanego odcinka przewodu dla założonej wartości ciśnienia przyłożonego w punkcie początkowym.

Podstawowe równanie opisujące przepływ cieczy w przewodach, znane jako równanie ciągłości przepływu lub równanie Bernoulliego ma postać:

$$\bullet (1) \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + z_2 + \sum h_{str}$$

P_1, P_2 - ciśnienia w punktach nr1 i nr2 rozpatrywanego odcinka przewodu [Pa]

z_1, z_2 - wysokość położenia ponad poziom porównawczy wspólny dla obu punktów [m]

g - przyspieszenie ziemskie [m/s²]

α - współczynnik Coriolisa [-]

γ - ciężar właściwy wody [kN/m³]

v - średnia prędkość przepływu [m/s]

Formuła ta opisuje zależność pomiędzy parametrami przepływu w poszczególnych przekrojach i pozwala na ich porównywanie w dowolnych punktach na długości odcinka przewodu. Poszczególne elementy wzoru mają wymiar wysokości i nazywane są odpowiednio: wysokością ciśnienia, wysokością prędkości i wysokością położenia. Wielkość h_{str} oznacza sumę wszystkich strat wysokości ciśnienia, jakie występują na odcinku przepływu cieczy między punktami nr1 i nr2.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Opisuje się ją wzorem:

$$\bullet (2) \quad \Sigma h_{str} = h_l + \Sigma h_m = \lambda \cdot \frac{l}{d_w} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + \Sigma \zeta \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Pierwszy człon wzoru opisuje wielkość strat na długości, które zależne są od parametrów przepływu, geometrii przekroju rury, chropowatości ścianek wewnętrznych rury oraz gęstości i temperatury prowadzonej cieczy. Drugi człon określa sumaryczną wielkość wpływu strat miejscowych wywołanych przez elementy powodujące zaburzenia przepływu cieczy. Współczynniki ζ przyjmują wartości odpowiednio do typu i parametrów elementu odpowiedzialnego za punktową stratę. Obie części mają wymiar wysokości [m] i nazywane są wysokością strat. W praktycznych zastosowaniach, ze względu na występowanie w sieciach kanalizacyjnych i wodociągowych

$$\bullet (3) \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 \cdot d_m} \right)$$

k - chropowatość bezwzględna ścian przewodu [m]
Re - liczba Reynoldsa, wyliczana ze wzoru:

Równanie Bernoulliego stanowi nieliniową, uwikłaną zależność wielu zmiennych. Aby je rozwiązać jednoznacznie niezbędne jest wskazanie celu obliczeń w postaci jednego szukanego parametru.

4.2. Kinematyczny współczynnik lepkości

Wartość kinematycznego współczynnika lepkości jest uzależniona od rodzaju cieczy i jej temperatury. W poniższej tabeli można znaleźć współczynniki lepkości z zakresu temperatur od 2 do 25°C. W programie komputerowym Uponor Infra jest możliwość zadawania temperatury cieczy w zakresie od 0 do 60°C.

Wartości kinematycznego współczynnika lepkości n [m²/s] w zależności od temperatury i stężenia zawiesin w ściekach pokazuje tabela.

W dotychczasowej praktyce projektowej przyjmuje się zwykle stałą wartość kinematycznego współczynnika lepkości dla

g - przyspieszenie ziemskie [m/s²]
v - średnia prędkość przepływu [m/s]
dw - średnica wewnętrzna przewodu [m]
l - długość odcinka pomiędzy punktami nr1 i nr2 [m]
 λ - współczynnik strat liniowych [-]
 ζ - współczynnik straty miejscowej [-]

niewielkich prędkości, pomija się w obliczeniach wysokość prędkości. Podstawowym zdaniem jest określenie wysokości strat. Wielkością miarodajną w większości przypadków praktycznych są straty na długości. Straty miejscowe w wielu przypadkach pomijane są ze względu na ich znikomą wartość lub uwzględniane są jako ułamek wartości strat na długości. Dla rur PE standardową wartością bezwzględnej chropowatości k jest 0.01 mm.

Dla warunków przepływu i parametrów rur produkcji Uponor Infra wielkość współczynnika oporu hydraulicznego, reprezentującego opór wynikający ze styku cieczy ze ścianką przewodu, oblicza się ze wzoru Colebrooke-White'a:

$$\bullet (4) \quad R_e = \frac{v \cdot d_w}{\nu}$$

dw - średnica wewnętrzna przewodu [m]
v - średnia prędkość przepływu [m/s]
 ν - kinematyczny współczynnik lepkości cieczy [m²/s]

W programie Uponor Infra jako możliwe cele obliczeń wskazano ciśnienia na początku i na końcu odcinka. Poszukiwanie rozwiązania odbywa się sposobem iteracyjnym.

wody i ścieków n = 1,31 * 10⁻⁶ m²/s przy temperaturze wody (ścieków) 10⁰ C.

Temp. [°C]	Woda n	Ścieki		
		Stężenie zawiesin		
		100 mg/l	300 mg/l	500 mg/l
2	1,67 x 10 ⁻⁶	2,17 x 10 ⁻⁶	3,17 x 10 ⁻⁶	4,17 x 10 ⁻⁶
5	1,52 x 10 ⁻⁶	1,60 x 10 ⁻⁶	1,76 x 10 ⁻⁶	1,92 x 10 ⁻⁶
10	1,31 x 10 ⁻⁶	1,33 x 10 ⁻⁶	1,37 x 10 ⁻⁶	1,41 x 10 ⁻⁶
20	1,01 x 10 ⁻⁶	1,02 x 10 ⁻⁶	1,02 x 10 ⁻⁶	1,04 x 10 ⁻⁶
25	0,90 x 10 ⁻⁶	0,90 x 10 ⁻⁶	0,91 x 10 ⁻⁶	0,92 x 10 ⁻⁶

4.3. Porównanie strat ciśnienia i przepustowości rurociągów wykonanych z różnych materiałów

Celem obliczeń jest porównanie strat ciśnienia w rurociągu ciśnieniowym wykonanych z różnych materiałów. W obliczeniach uwzględniono również zmianę stanu technicznego powierzchni wewnętrznej rurociągów eksploatowanych w okresie kilku lat. Dla przejrzystości porównań przyjęto jednakowe średnice

wewnętrzne (D=500 mm) dla każdego rodzaju rury. Przyjęto kinematyczny współczynnik lepkości cieczy $\nu = 1,31 * 10^{-6}$ m²/s przy temperaturze wody (ścieków) 10⁰C. Pozostałe dane przyjęte do obliczeń zawarte są w poniższych tabelach.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Materiał przewodu		Chropowatość bezwzględna k [mm]	Wysokość strat liniowych DH_l [m sł. wody]	Wzrost strat ciśnienia w stosunku do rur PE [%]
PE		0,01	34,2	0,0
Żeliwo sferoidalne	Nowy	0,1	36,5	6,7
	Stary	3,0	44,8	28,0
Stal	Nowy	0,1	36,5	6,7
	Stary	3,0	44,8	28,0
PCW	Nowy	0,05	35,6	4,1
	Stary	0,07	36,0	2,9

Straty ciśnienia w rurociągach ciśnieniowych transportujących wodę (bez oporów miejscowych) wykonanych z różnych materiałów ($D=500\text{mm}$, $Q=200\text{ l/s}$, $v=1.0\text{ m/s}$, $L=1000\text{m}$). Do obliczeń współczynnika strat liniowych wykorzystano wzór Colebrooka White'a (wzór 9). Wyniki obliczeń pokazują jednoznacznie, iż przewody PE charakteryzują się dużo mniejszymi oporami przepływu

i znacznie wyższą przepustowością w porównaniu z przewodami wykonanymi z innych materiałów, niezależnie od czasu eksploatacji przewodu. Różnice te, na korzyść rur PE są zdecydowanie większe przy dłuższym okresie eksploatacji przewodu. Wynika to przede wszystkim z niewielkiej chropowatości bezwzględnej rury, która praktycznie nie zmienia się w czasie eksploatacji.

4.4. Przykłady obliczeń hydraulicznych

Do wykonania obliczeń hydraulicznych można wykorzystać program Uponor Infra. Program pozwala przeprowadzić

obliczenia hydrauliczne kilku przewodów połączonych szeregowo.

Dane

Cel obliczeń:
 Średnica Wydatek Straty energii

Parametry rurociągu:

Rodzaj rury: PE 100
 Typ rury: SDR17 PN10
 Średnica nominalna rury (Dn): 1600 [mm]
 Średnica wewnętrzna rury (Dw): 1411.8 [mm]
 Chropowatość bezwzględna: 0.010 [mm]
 Długość odcinka: 100.00 [m]
 Wsp. oporów miejscowych: 0.00 [-]
 Udział strat miejscowych: 0 [%]
 Rzędna początku przewodu: 0.00 [m]
 Rzędna końca przewodu: 0.00 [m]

Właściwości cieczy:

Gęstość właściwa: 999.7 [kg/m³]
 Kinematyczny wsp. lepkości: 1.31e-006 [m²/s]
 Obliczeniowa wysokość strat: 1.00 [m]
 Wydatek obliczeniowy: 1.500 [m³/s]
 Zalecana prędkość średnia: 1.00 [m/s]

Wykres

Wykres przedstawia zależność przepływu (Q) od wysokości strat (H). Oś X (Q) ma zakres od 0.0 do 6.000. Oś Y (H) ma zakres od 0.00 do 1.50. Wykres zawiera dwie krzywe: jedna dla wysokości strat (H) i jedna dla spadku linii energii (S). Wskazano punkt pracy przy Q = 1.500 i H = 0.04.

Wyniki

Średnica nominalna: 1600 [mm]
 Wydatek: 1.565 [m³/s]
 Prędkość średnia: 1.00 [m/s]
 Liczba Reynoldsa: 1.08e+006 [-]
 Wsp. oporów liniowych: 1.17e-002 [-]
 Wysokość strat: 0.04 [m]
 Straty liniowe: 0.04 [m]
 Straty miejscowe: 0.00 [m]
 Spadek linii energii: 0.42 [%]
 Różnica wysokości energii: 0.04 [m]

Wniosek: Dobrano średnicę przewodu.

Przewód ciśnieniowy - obliczenia hydrauliczne

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

4.5. Zjawisko uderzenia hydraulicznego

4.5.1. Informacje ogólne – przebieg zjawiska

Uderzeniem hydraulicznym nazywane są nagłe zmiany ciśnienia w przewodzie ciśnieniowym, spowodowane szybkimi w czasie zmianami prędkości przepływu cieczy.

Z uwagi na lepko-sprężyste właściwości przewodów z tworzyw termoplastycznych, wartości prędkości fali i przyrosty ciśnienia są dużo niższe w porównaniu z takimi materiałami jak stal, żeliwo czy beton. Można zatem stwierdzić, że zastosowanie przewodów z tworzywa wpływa korzystnie na minimalizację negatywnych skutków tego zjawiska, a tym samym na bezpieczeństwo i trwałość instalacji.

Bezpośrednią przyczyną wystąpienia zjawiska uderzenia hydraulicznego jest gwałtowna zmiana prędkości wywołana np. nagłym przymknięciem lub otwarciem zaworu, załączeniem bądź wyłączeniem pompy, itp. Gwałtowny spadek prędkości w przekroju skutkuje nagłym wzrostem ciśnienia w bezpośrednim sąsiedztwie i nazywany jest uderzeniem hydraulicznym dodatnim.

Wzbudzone siły bezwładności, prowadzą do wzrostu ciśnienia w obszarze wyhamowanej cieczy. Spowolnienie obejmuje kolejne porcje cieczy. Powstaje powierzchnia nieciągłości ciśnienia i prędkości rozdzielająca ciecz o zmniejszonej prędkości i większym ciśnieniu od obszaru cieczy, w której panują jeszcze niezmiennione warunki ruchu ustalonego. Ta powierzchnia nieciągłości nosi nazwę czoła fali uderzeniowej,

która, przemieszcza się w przewodzie z prędkością c w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu cieczy w warunkach ustalonych. Fala ta ulega odbiciu w miejscach lokalnych zaburzeń (np. elementy armatury, trójniki, itp.) i powraca. Ze względu na falowy charakter zjawiska (jest to fala sprężysta) można określić jej okres T , maksymalny przyrost ciśnienia Δp , czas trwania t . Rozproszenie energii uderzenia hydraulicznego, prowadzące do stopniowego zanikania, odbywa się na skutek oporów ruchu (wielokrotnie większych niż w ruchu ustalonym), ściśliwości cieczy i pracy ścianki przewodu.

Przy wzroście prędkości występuje spadek ciśnienia – uderzenie hydrauliczne ujemne - zjawisko przebiega analogicznie do opisanego powyżej. Należy jednak pamiętać o tym, że przy zbyt niskim ciśnieniu roboczym, powstająca w pierwszej fazie zjawiska faza ujemna może prowadzić do zjawiska kawitacji. W sytuacji gdy ciśnienie bezwzględne osiągnie wartość równą ciśnieniu wrzenia w danej temperaturze nastąpi gwałtowne przechodzenie cieczy ze stanu ciekłego w stan gazowy. Powstające pęcherzyki pary wodnej zwiększają swoją objętość i po przekroczeniu warunków krytycznych zamykają się (implodują) w sposób wybuchowy. Zjawisku temu towarzyszą charakterystyczne trzaski i stuki. Zjawisko kawitacji wpływa niekorzystnie na armaturę i rurociągi.

4.5.2. Obliczenia hydrauliczne - podstawowe parametry

Maksymalny przyrost ciśnienia (uderzenie proste).

Wartość maksymalnego przyrostu (spadku) ciśnienia Δp oblicza się ze wzoru Żukowskiego:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \text{ [Pa]}$$

gdzie:

ρ – gęstość cieczy [kg/m³],

c – prędkość przemieszczania się fali [m/s],

Δv – zmiana prędkości [m/s].

4.5.3. Prędkość rozprzestrzeniania się fali

Prędkość przemieszczania się fali c jest zależna od modułu ściśliwości cieczy K , gęstości cieczy ρ , średnicy wewnętrznej przewodu D , grubości ścianki e , modułu

sprężystości materiału ścianki przewodu E . Oblicza się ją ze wzoru Kortewega, którego mianownik uwzględnia wpływ odkształcalności przewodu:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{e} \cdot \frac{K}{E}}} \text{ [m/s]}$$

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Pod pojęciem średnicy przewodu D rozumiana jest średnica wewnętrzna w przypadku przewodów cienkościennych (grubość ścianki rzędu kilku milimetrów). W przypadku przewodów z PE, o większych grubościach ścianek, warunki pracy obciążonego przewodu będą nieco inne. Z tego też względu, do wzoru Kortewega, przyjmuje się średnicę średnią:

$$D = \frac{D_z + D_w}{2} = D_z - e \text{ [m]},$$

gdzie:

D_z = średnica zewnętrzna [m],

D_w = średnica wewnętrzna [m],

e = grubość ścianki [m].

Moduł sprężystości materiału rury E powinien uwzględniać dynamiczny charakter zjawiska i można go wyznaczyć z zależności:

$$E = \frac{E_0}{1 - \nu^2}$$

gdzie:

E_0 = moduł Younga materiału ścianki przewodu - wyznaczony metodami klasycznymi [Pa],

ν = liczba Poissona [-]

Tablica 4.5.3.1. Wartości gęstości wody ρ i modułu ściśliwości wody K dla wybranych temperatur i zakresu ciśnień roboczych od $1 \cdot 10^5$ Pa do $25 \cdot 10^5$ Pa

Temperatura T [°C]	Gęstość ρ [kg/m ³]	Moduł ściśliwości K [N/m ²]
0	999,84	$1,868 \cdot 10^9$
10	999,70	$1,961 \cdot 10^9$
20	998,20	$1,997 \cdot 10^9$

Wartości E_0 i ν zależą od rodzaju materiału, z którego wykonany jest przewód i odczytuje się je z odpowiednich tablic lub katalogów producenta.

Poniżej zestawiono przykładowe wartości E_0 , ν i c dla przewodów polietylenowych firmy Uponor. Dla porównania podano również te wartości dla innych, powszechnie stosowanych, materiałów.

Tablica 4.5.3.2. Orientacyjne wartości modułu Younga E_0 , liczby Poissona ν i prędkości fali c dla wybranych materiałów.

Rodzaj materiału	E_0 [Pa]	ν [-]	c [m/s]
Polietylen PE100	$1,2 \cdot 10^9$	0,40	212 ÷ 424
Stal	$2 \cdot 10^{11} - 2,15 \cdot 10^{11}$	0,28	1260
Żeliwo	$9 \cdot 10^{10} - 1,60 \cdot 10^{11}$	0,25	1185

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Tablica 4.5.3.3. Wartości prędkości fali c dla wody o temperaturze 10°C, w zależności od SDR dla przewodów polietylenowych firmy Uponor

SDR [-]	33	26	22	21	17	11	9
Materiał	Prędkość fali c [m/s]						
Polietylen PE100	211	237	257	263	291	357	392

4.5.4. Okres fali

Okres fali związany jest z długością przewodu L i prędkością c zależnością:

$$T = \frac{2L}{c} \text{ [s]}$$

Wartość okresu fali jest konieczna między innymi do ustalenia czy mamy do czynienia z uderzeniem prostym czy złożonym.

4.5.5. Uderzenie nieproste (złożone) - przyrost ciśnienia

Czynnikiem często decydującym o przebiegu zjawiska jest czas zamykania zaworu t_z (czas skokowej zmiany prędkości). Jeśli czas zamykania jest krótszy od okresu fali ($t_z \leq T$) – zjawisko nazywamy prostym, a przyrost ciśnienia obliczamy ze wzoru Żukowskiego. W przypadku gdy czas zamykania jest dłuższy od okresu fali ($t_z > T$) – zjawisko

określa się mianem nieprostego. W takiej sytuacji przyrost ciśnienia następuje wolniej i jest redukowany na skutek powrotu fali odbitej. Przyrost ciśnienia można obliczać ze wzoru Michaud'a, jeśli wartość przyrostu jest mniejsza od 220% wartości ciśnienia początkowego (roboczego) lub w warunkach liniowej zmiany prędkości w przewodzie.

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \rho \cdot v_0 \cdot L}{t_z} \text{ [Pa]}$$

ρ – gęstość cieczy [kg/m^3]

v_0 – prędkość w ruchu ustalonym (przed wystąpieniem zjawiska) [m/s]

L – długość przewodu [m]

t_z – czas zamykania [s]

Przyrosty ciśnienia wywołane uderzeniem złożonym są mniejsze niż w przypadku uderzenia prostego, zatem wydłużenie czasu zamykania zamknięcia jest najprostszym, a zarazem najskuteczniejszym sposobem zmniejszania wartości przyrostu ciśnienia.

W przypadkach stosowanych w praktyce przewodów o dużych średnicach, czasy zamknięć armatury odcinającej

są na tyle długie, że w większości przypadków będą większe od okresu fali. Tym samym w warunkach eksploatacyjnych częściej wystąpi zjawisko uderzenia nieprostego, charakteryzujące się mniejszymi przyrostami ciśnienia. Uderzenie hydrauliczne proste związane będzie z sytuacjami awaryjnymi, dla gwałtownych zmian prędkości przepływu.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Tablica 4.5.5.1. Przykładowe wartości przyrostów ciśnienia wywołanych uderzeniem hydraulicznym dla wybranych materiałów przewodu.
Założenia: prędkość początkowa $v = 1,5 \text{ m/s}$, długość przewodu 1200 m , temperatura 10°C

Rodzaj materiału	Przyrost ciśnienia Δp [Pa]	
	Uderzenie proste Czas zamykania $t_z < 5 \text{ s}$	Uderzenie nieproste Czas zamykania $t_z = 20 \text{ s}$
Polietylen PE100	487 354	179 946
Stal	1 889 433	179 946
Żeliwo	1 776 967	179 946

4.5.6. Metody osłabiania zjawiska uderzenia hydraulicznego

Niekorzystnym skutkiem zjawiska uderzenia hydraulicznego można przeciwdziałać stosując różne metody, np.:

- wydłużając czas zamykania/otwierania zaworu, wydłużając czas rozruchu i zatrzymania wirnika pompy - tak aby występujące zjawisko było uderzeniem nieprostym, soft start,
- instalując w przewodzie zawory napowietrzające – ich działanie polega na otwarciu się w sytuacji gdy w przewodzie ciśnienie spadnie poniżej ciśnienia atmosferycznego (faza spadku ciśnienia – fali ujemnej), do przewodu zasrane zostaje powietrze, które redukuje przyrosty ciśnienia wytracając energię na skutek sprężania się; dodatkowym atutem tego rozwiązania jest przeciwdziałanie zjawisku kawitacji,
- wyposażając układ w zbiornik powietrzno wodny, zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie zaworu wywołującego uderzenie hydrauliczne - poduszka powietrzna takiego zbiornika redukuje przyrosty ciśnienia i skraca czas trwania zjawiska wytracając energię na skutek sprężania i rozprężania się,
- instalując na przewodzie wysokociśnieniowe zawory bezpieczeństwa – ich działanie polega na otwieraniu się w przypadku przekroczenia ciśnienia dopuszczalnego; w efekcie w przewodzie mimo zamknięcia zaworu głównego występuje częściowa redukcja prędkości i przyrosty ciśnienia są mniejsze,
- łącząc odcinki przewodów z różnych materiałów - tutaj należy zwrócić uwagę, że w przypadku wystąpienia rurociągu składającego z szeregowo połączonych przewodów wykonanych z różnych materiałów, zjawisko może ulec wzmocnieniu, bądź osłabieniu (na drodze szczegółowych obliczeń metodami numerycznymi istnieje możliwość wyznaczenia proporcji długości odcinka przewodu wykonanego dla przykładu ze stali (prędkość fali $c = 1250 \text{ m/s}$) i przewodu z PE (prędkość fali dla PE 100 $c = 209 \div 405 \text{ m/s}$), dla którego wystąpi osłabienie przyrostu ciśnienia, w przypadku lokalizacji przewodu z PE w bezpośrednim sąsiedztwie powstania zjawiska uderzenia hydraulicznego - w takiej sytuacji przewód z PE zadziała jak tłumik przyrostów ciśnienia i zmniejszy wartość przyrostu ciśnienia Δp .

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Tablica 4.5.6.1. Zalecane średnice i liczba zaworów bezpieczeństwa dla przewodów ciśnieniowych.

Średnica rurociągu [mm]	Średnica zaworu bezpieczeństwa [mm]	Liczba zaworów
300	125 - 150	1
400	125 - 150	2
500	125 - 150	1
600	200	1
900	200	2
1000	200	2 - 3
1200	200	3 - 4

Powszechnie stosuje się zawory bezpieczeństwa o średnicach do 200 mm

4.5.7. Uderzenie hydrauliczne w sieciach przewodów – metoda odbić i transformacji

W przypadku sieci przewodów, bądź przewodów rurociągów wyposażonych w elementy, na których może dojść do rozproszenia energii ruchu nieustalonego, metody obliczeniowe są znacznie bardziej skomplikowane. Wśród nich wymienić należy metody analityczne - Metodę Odbić i Transformacji oraz numeryczne (Metoda Charakterystyk oraz Metoda Elementów Skończonych). Korzystając z metod numerycznych tworzone są sposoby numerycznego (przybliżonego) rozwiązania układu równań ruchu i ciągłości, opisujących zjawisko uderzenia hydraulicznego. Dziedzina wiedzy dotycząca zastosowania metod numerycznych w rozwiązywaniu zagadnień hydraulicznych znajduje się obecnie w fazie dynamicznego rozwoju, i jak do tej pory, nie uzyskano narzędzia numerycznego, które pozwoliłoby na uniwersalny opis zjawiska uderzenia hydraulicznego.

Metoda Odbić i Transformacji jest stosunkowo prostą metodą analityczną, której wyniki opisują zjawisko z wystarczającą dla praktyki inżynierskiej dokładnością. Polega ona na przeanalizowaniu zjawiska w punktach charakterystycznych sieci. Zakłada się, że fala powstałego na zamknięciu uderzenia hydraulicznego przemieszcza się w sieci i napotykając na poszczególne elementy ulega transformacji (część przyrostu ciśnienia przechodzi w dalszą część instalacji) oraz odbiciu (część fali ulega odbiciu i powraca do zamknięcia). Każdy element armatury (kolano, trójnik, zmiana średnic, etc.) posiada swój własny współczynnik odbicia i transformacji. Tak złożoną sieć należy rozpatrywać analizując możliwe przyrosty fali ciśnienia bądź redukcje w poszczególnych punktach charakterystycznych. Szczegóły dotyczące metody odbić i transformacji podane są w literaturze technicznej, np. M. Niełachy „Uderzenia hydrauliczne” Poznań 2002.

4.5.8. Przykład obliczeniowy – przewód z PE

Rurociągiem wykonanym z polietylenu PE100 o średnicy zewnętrznej $D_z = 710$ mm, grubości ścianek $e = 42,1$ mm ($SDR = 17$) i długości $L = 1800$ m, płynie woda z prędkością $v = 2,5$ m/s. Temperatura wody wynosi $T = 10^\circ\text{C}$, a nadciśnienie robocze w przewodzie $p_0 = 0,80$ MPa. Obliczyć: ciśnienie maksymalne w przypadku gwałtownego

zamknięcia zaworu zainstalowanego na końcu przewodu, ciśnienie minimalne w przypadku gwałtownego otwarcia zaworu zainstalowanego na końcu przewodu, czas, po którym fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu, oraz czas zamknięcia zaworu, aby przyrost ciśnienia w przewodzie nie przekroczył wartości $\Delta p = 0,25 p_0$.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Rozwiązanie

Uderzenie dodatnie proste

Dla obliczenia przyrostu ciśnienia Δp w przypadku gwałtownego zamknięcia zaworu, czyli dla teoretycznego czasu $t_z \leq T$ korzysta się ze wzoru Żukowskiego-Alliekiego

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \text{ [Pa]}$$

gdzie c oblicza się ze wzoru Kortewega.

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{e} \cdot \frac{K}{E}}}$$

Odczytując wartości gęstości wody $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ i modułu sprężystości wody $K = 1,961 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ z Tablicy 1 oraz współczynnika sprężystości PE100 $E = 1,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ i liczby Poissona $\nu = 0,40$ z Tablicy 2 uzyskano:

$$E = \frac{E_0}{1 - \nu^2} = \frac{1,2 \cdot 10^9}{1 - 0,40^2} = 1,43 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

Korzystając ze wzoru na prędkość przemieszczania się fali zaburzenia c i przyrostu ciśnienia Δp otrzymano wartości:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{1,961 \cdot 10^9}{999,7}}}{\sqrt{1 + \frac{0,6679}{0,0421} \cdot \frac{1,961 \cdot 10^9}{1,43 \cdot 10^9}}} = \frac{1400,57}{4,77} = 293 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v_0 = 999,7 \cdot 293 \cdot 2,5 = 732280,3 \text{ N/m}^2 = 0,732 \text{ Mpa}$$

Początkowa wartość nadciśnienia w przewodzie będzie wynosiła:

$$p_n = p_0 + \Delta p = 0,732 + 0,8 = 1,532 \text{ MPa}, \text{ czyli } p_n = 1,91 \cdot p_0 > p_n = 1,25 \cdot p_0.$$

Uderzenie ujemne proste

Fala ciśnienia powstaje na skutek gwałtownego otwarcia zaworu na końcu przewodu pod ciśnieniem. Mamy do czynienia ze spadkiem ciśnienia. Wzory obliczeniowe są analogiczne jak dla uderzenie dodatniego. Dla obliczenia spadku ciśnienia Δp w przypadku gwałtownego otwarcia zaworu, czyli dla teoretycznego czasu $t_z \leq T$ korzysta się ze wzoru Żukowskiego-Alliekiego

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \text{ [Pa]}$$

gdzie c oblicza się ze wzoru Kortewega.

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{e} \cdot \frac{K}{E}}}$$

Odczytując wartości gęstości wody $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ i modułu sprężystości wody $K = 1,961 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ z Tablicy 1 oraz współczynnika sprężystości PE100 $E = 1,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ i liczby Poissona $\nu = 0,40$ z Tablicy 2 uzyskano:

$$E = \frac{E_0}{1 - \nu^2} = \frac{1,2 \cdot 10^9}{1 - 0,40^2} = 1,43 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Korzystając ze wzoru na prędkość przemieszczania się fali zaburzenia c i przyrostu ciśnienia Δp otrzymano wartości:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{1,961 \cdot 10^9}{999,7}}}{\sqrt{1 + \frac{0,6679}{0,0421} \cdot \frac{1,961 \cdot 10^9}{1,43 \cdot 10^9}}} = \frac{1400,57}{4,77} = 293 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v_0 = 999,7 \cdot 293 \cdot 2,5 = 732280,3 \text{ N/m}^2 = 0,732 \text{ MPa}$$

Początkowa wartość nadciśnienia w przewodzie będzie wynosiła $p_n = p_0 - \Delta p = 0,8 - 0,732 = 0,068 \text{ MPa}$.

Uderzenie nieproste

Aby przyrost ciśnienia nie przekroczył wartości zakładanych $\Delta p \leq 0,25 \cdot p_0$ należy zawór zamykać powoli – wtedy wywołane zjawisko będzie uderzeniem nieprostym.

Dla obliczenia czasu, w ciągu którego może być bezpiecznie zamknięty, należy skorzystać ze wzoru Michaud'a dla uderzenia nieprostego dodatniego, w postaci

$$t_z = \frac{2 \cdot \rho \cdot v_0 \cdot L}{\Delta p_{\text{dop}}} \text{ [Pa]}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymuje się

$$t_z = \frac{2 \cdot 999,7 \cdot 2,5 \cdot 1800}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 10^6} = 45 \text{ s}$$

stąd wniosek, że czas zamykania nie powinien być mniejszy niż obliczony $t_z = 45 \text{ s}$.

W przypadku uderzenia prostego ($t_z = 0$) fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu w czasie

$$t = \frac{L}{c} = \frac{1800}{293} = 6,14 \text{ s}$$

Odpowiedź: Przyrost ciśnienia przy uderzeniu prostym dodatnim będzie wynosił $\Delta p = 0,732 \text{ MPa}$, w takiej sytuacji przy zamknięciu powstanie nadciśnienie o wartości wynoszącej $p_n = 1,532 \text{ MPa}$, fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu w czasie $t = 6,14 \text{ s}$. Zjawisko uderzenia nieprostego o przyroście równym założonej wartości $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$ (co daje nadciśnienia w rejonie zamknięcia o wartości $p_n = 1,0 \text{ MPa}$), zostanie wywołane przy czasie zamykania większym niż $t_z \Delta \geq 45 \text{ s}$. Zdecydowanie mniejszy przyrost uzyskano w przypadku uderzenia nieprostego. Wymaga ono jednak odpowiednio długiego czasu zamknięcia.

4.5.9. Przykład obliczeniowy – przewód żeliwny

Rurociągiem wykonanym z żeliwa sferoidalnego Klasa K9 o średnicy nominalnej $DN = 700 \text{ mm}$, długości

$L = 1800 \text{ m}$, płynie woda z prędkością $v = 2,5 \text{ m/s}$. Temperatura wody wynosi $T = 10^\circ\text{C}$, a nadciśnienie robocze w przewodzie $p_0 = 0,80 \text{ MPa}$. Obliczyć:

- ciśnienie maksymalne w przypadku gwałtownego zamknięcia zaworu zainstalowanego na końcu przewodu,
- ciśnienie minimalne w przypadku gwałtownego otwarcia zaworu zainstalowanego na końcu przewodu,
- czas, po którym fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu, oraz
- czas zamknięcia zaworu, aby przyrost ciśnienia w przewodzie nie przekroczył wartości $\Delta p = 0,25 p_0$.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Rozwiązanie

Uderzenie dodatnie proste

Dla obliczenia przyrostu ciśnienia Δp w przypadku gwałtownego zamknięcia zaworu, czyli dla teoretycznego czasu $t_z = 0$, korzysta się ze wzoru Żukowskiego-Alliekiego

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \text{ [Pa]}$$

Odczytując wartości gęstości wody $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ i modułu sprężystości wody $K = 1,961 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ z Tablicy 1 oraz prędkości przemieszczania fali dla żeliwa $c = 1185 \text{ m/s}$ z Tablicy 2 uzyskano:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v_0 = 999,7 \cdot 1185 \cdot 2,5 = 2961611 \text{ N/m}^2 = 2,962 \text{ MPa}$$

Początkowa wartość nadciśnienia w przewodzie będzie wynosiła $p_n = p_0 + \Delta p = 3,762 \text{ MPa}$, czyli $p_n = 4,7 \cdot p_0 > p_0 = 1,25 \cdot p_0$. Aby przyrost ciśnienia nie przekroczył wartości zakładanych $\Delta p \leq 0,25 \cdot p_0$ należy zawór zamykać powoli.

Uderzenie ujemne proste

Przypadek uderzenie ujemnego wystąpi w sytuacji gwałtownego otwarcia zaworu na końcu przewodu pod ciśnieniem. Metody obliczeniowe są analogiczne jak dla uderzenia dodatniego. Dla obliczenia przyrostu ciśnienia Δp w przypadku gwałtownego zamknięcia zaworu, czyli dla teoretycznego czasu $t_z = 0$, korzysta się ze wzoru Żukowskiego-Alliekiego

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \text{ [Pa]}$$

Odczytując wartości gęstości wody $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ i modułu sprężystości wody $K = 1,961 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ z Tablicy 1 oraz prędkości przemieszczania fali dla żeliwa $c = 1185 \text{ m/s}$ z Tablicy 2 uzyskano:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v_0 = 999,7 \cdot 1185 \cdot (-2,5) = -2961611 \text{ N/m}^2 = -2,962 \text{ MPa}$$

Początkowa wartość nadciśnienia w przewodzie będzie wynosiła $p_n = p_0 + \Delta p = -2,162 \text{ MPa}$ – taka wartość ciśnienia jest niemożliwa do uzyskania, w warunkach obniżenia ciśnienia do ciśnienia wrzenia w przewodzie nastąpi zjawisko kawitacji, o szczególnie gwałtownym charakterze.

Uderzenie nieproste

Dla obliczenia czasu, w ciągu którego może być bezpiecznie zamknięty, należy skorzystać ze wzoru Michaud'a dla uderzenia nieprostego dodatniego, w postaci

$$t_z = \frac{2 \cdot \rho \cdot v_0 \cdot L}{\Delta p_{\text{dop}}}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymuje się

$$t_z = \frac{2 \cdot 999,7 \cdot 2,5 \cdot 1800}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 10^6} = 45 \text{ s}$$

stąd wniosek, że czas zamykania nie powinien być mniejszy niż obliczony $t_z = 45 \text{ s}$.

W przypadku uderzenia prostego ($t_z = 0$) fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu w czasie

$$t = \frac{L}{c} = \frac{1800}{1185} = 1,52 \text{ s}$$

Odpowiedź: Przyrost ciśnienia przy uderzeniu prostym będzie wynosił $\Delta p = 2,962 \text{ MPa}$, w takiej sytuacji przy zamknięciu powstanie nadciśnienie o wartości wynosiła $p_n = 3,762 \text{ MPa}$, fala zaburzenia przemieści się do początku przewodu w czasie $t = 1,52 \text{ s}$. Zjawisko uderzenia nieprostego o przyroście równym założonej wartości $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$ (co daje nadciśnienia w rejonie zamknięcia o wartości $p_n = 1,0 \text{ MPa}$, zostanie wywołane przy czasie zamykania większym niż $t_z \geq 45 \text{ s}$. Zdecydowanie mniejszy przyrost uzyskano w przypadku uderzenia nieprostego. Wymaga ono jednak odpowiednio długiego czasu zamknięcia.

4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Analiza wyników przykładowych obliczeń.

W poniższej tabeli zestawiono wyniki obliczeń.

Założenia: prędkość początkowa 2,5 m/s, długość przewodu 1800 m, ciśnienie robocze 0,8 MPa, temperatura 10°C

Tablica 6. Zestawienie wyników obliczeń dla przykładów w tekście.

Wartości charakterystyczne	Rodzaj przewodu	
	PE 100 PN 10, 710x42,1 SDR 17	Żeliwo sferoidalne DN 700
Prędkość rozchodzenia się fali zaburzenia c [m/s]	293	1185
Okres fali zaburzenia T [s]	6,14	1,25
Przyrost ciśnienia w uderzeniu prostym $t_z < T$ D_p [MPa]	0,732	2,962
Minimalny czas zamykania w celu uzyskania uderzenia nieprostego t_z [s]	45	45
Maksymalna wartość ciśnienia w przekroju – uderzenie proste dodatnie p_{max} [MPa]	1,532	3,762
Minimalna wartość ciśnienia w przekroju – uderzenie proste ujemne p_{min} [MPa]	0,068	KAWITACJA *

* - wartość ciśnienia niemożliwa do uzyskania w praktyce – w sytuacji spadku ciśnienia do wartości ciśnienia wrzenia nastąpi zjawisko kawitacji.

Podsumowując wyniki obliczeń zestawione w tabeli, dla porównywalnych warunków w ruchu ustalonym (ciśnienie robocze, prędkość, długość, średnica), widać wyraźnie zdecydowanie mniejsze przyrosty ciśnienia wywołane uderzeniem hydraulicznym w przewodzie PE 100. Mniejsze wartości przyrostu

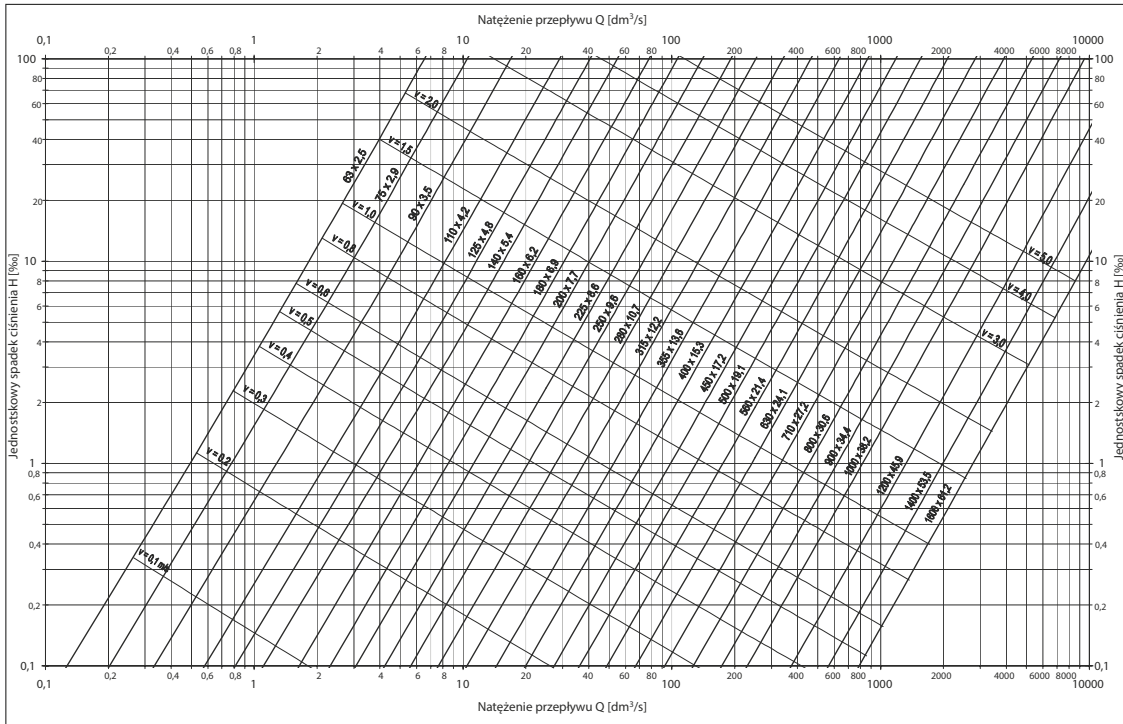
ciśnienia spowodowane są właściwościami materiałowymi, wyrażającymi się w wartości prędkości rozchodzenia się fali zaburzenia c .

W porównywanym przewodzie żeliwnym, w sytuacji uderzenia prostego ujemnego, w przewodzie wystąpi bardzo niekorzystne zjawisko kawitacji.

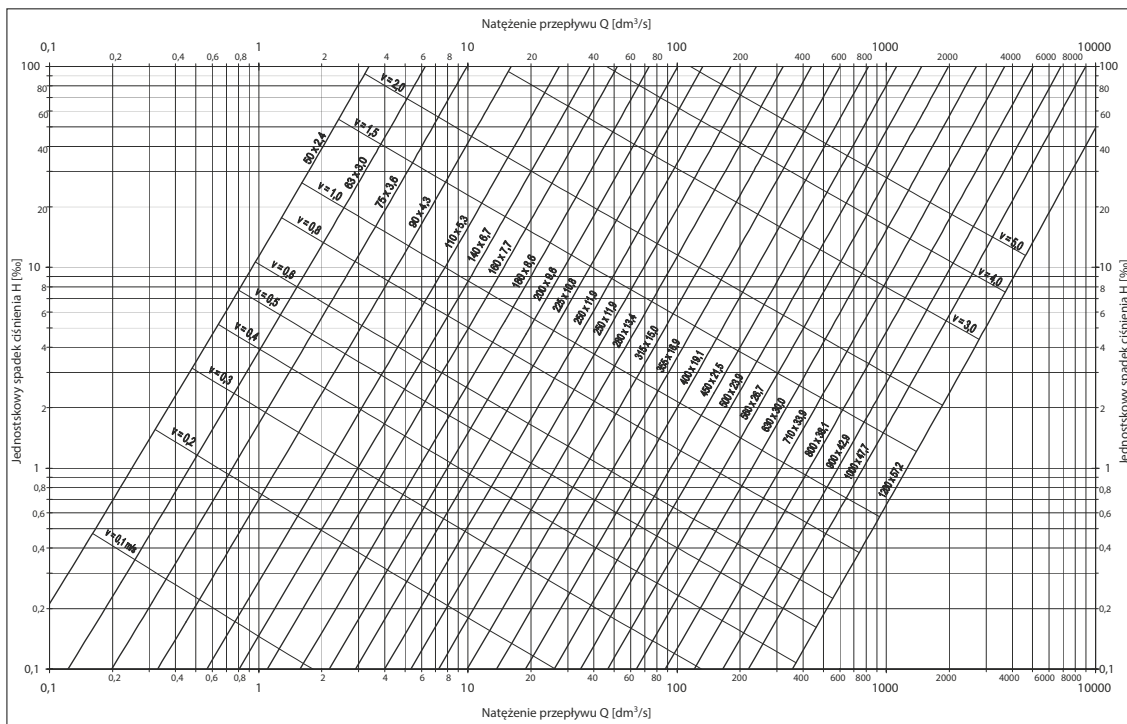
4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

4.6. Nomogramy do obliczeń hydraulicznych

Nomogram do wyznaczania jednostkowego spadku ciśnienia dla rur PE SDR 26, dla temperatury 10°C i chropowatości $k=0.01$ mm wg. wzoru Colebrooka-White'a

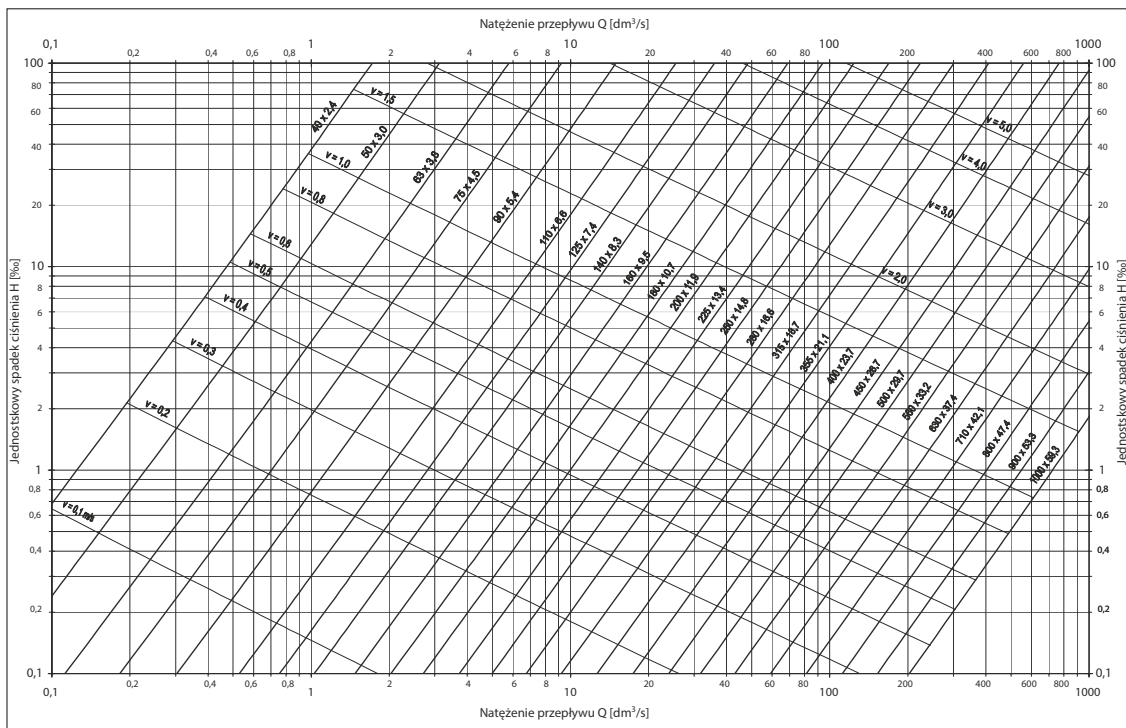


Nomogram do wyznaczania jednostkowego spadku ciśnienia dla rur PE SDR 21, dla temperatury 10°C i chropowatości $k=0.01$ mm wg. wzoru Colebrooka-White'a

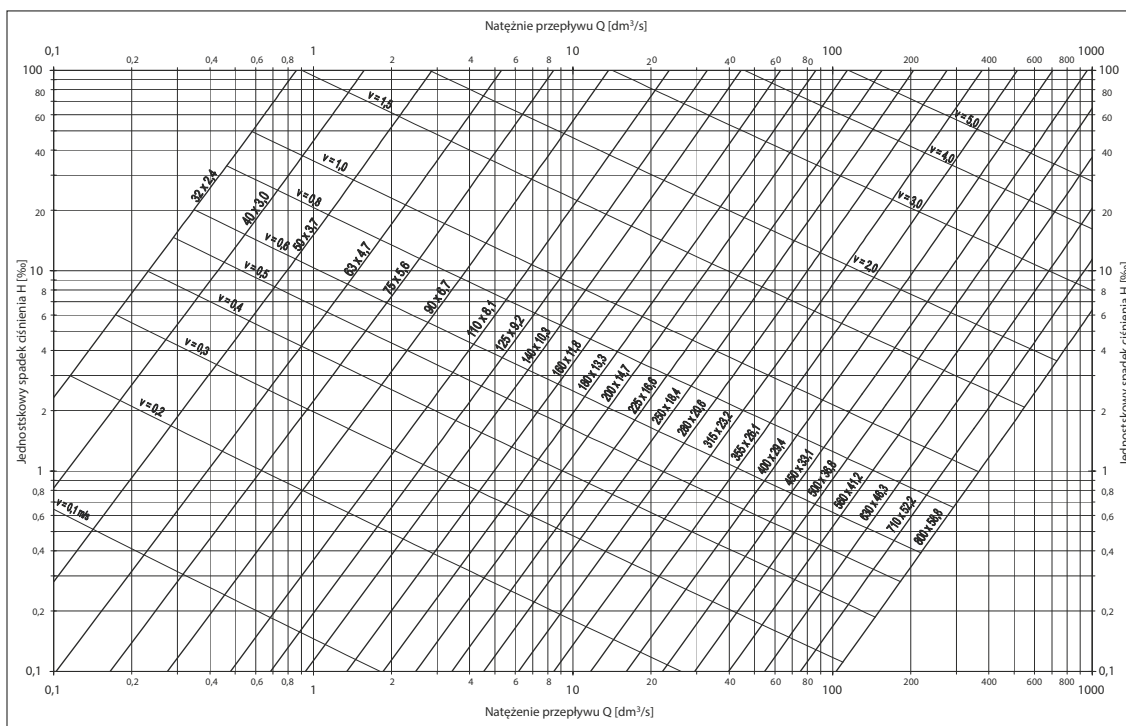


4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Nomogram do wyznaczania jednostkowego spadku ciśnienia dla rur PE SDR 17, dla temperatury 10°C i chropowatości $k=0.01$ mm wg. wzoru Colebrooka-White'a

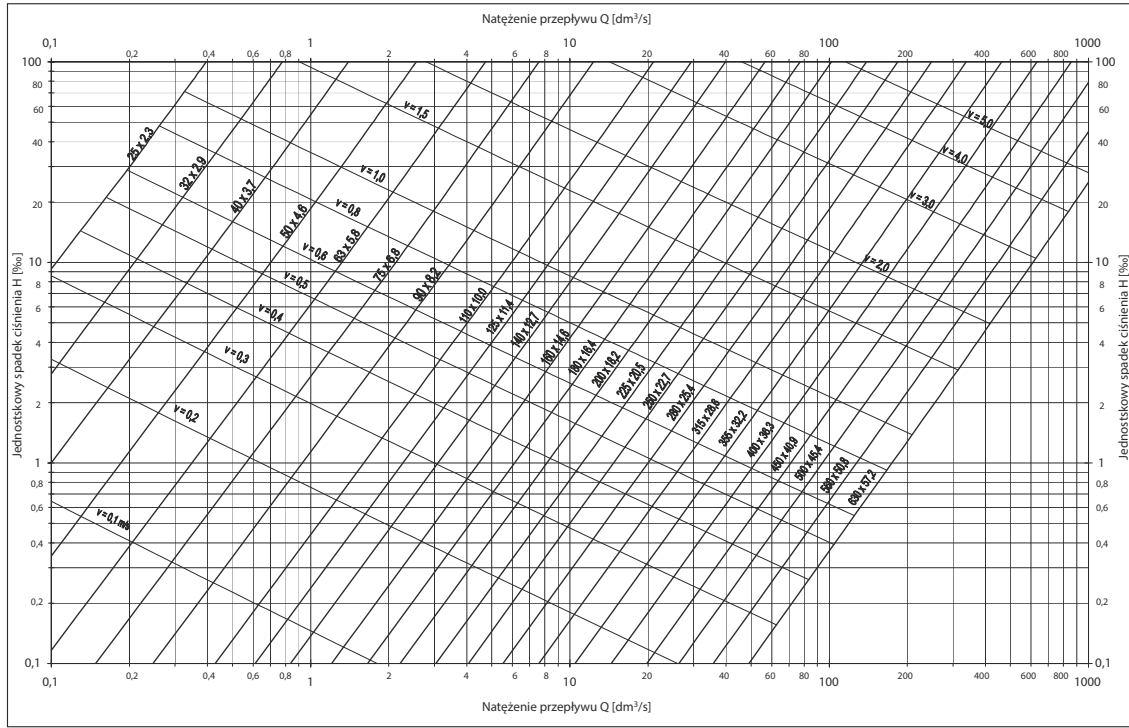


Nomogram do wyznaczania jednostkowego spadku ciśnienia dla rur PE SDR 13.6, dla temperatury 10°C i chropowatości $k=0.01$ mm wg. wzoru Colebrooka-White'a



4. Obliczenia hydrauliczne przewodów dla przepływu ciśnieniowego

Nomogram do wyznaczania jednostkowego spadku ciśnienia dla rur PE SDR 11, dla temperatury 10°C i chropowatości $k=0.01$ mm wg. wzoru Colebrooka-White'a



5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.1. Współpraca rur z gruntem- rury elastyczne i rury sztywne

Podczas montażu rurociąg ciśnieniowy pracuje jak przewód grawitacyjny (pusty w środku), który podlega obciążeniom zewnętrznym (grunt, woda gruntowa, komunikacja).

Szczególną ostrożność należy zachować w przypadku montażu rurociągów o cienkich ściankach jak SDR33.

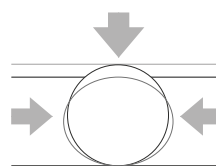
Poniższa tabela przedstawia zestawienie typoszeregu rur ciśnieniowych i odpowiadających im sztywności obwodowych. (do obliczeń przyjęto moduł $E=1200$ MPa, jak dla materiału PE100)

Zachowanie się rury pod działaniem obciążenia zależne jest od jej sztywności. Rury plastikowe należą do grupy rur podatnych. Pod obciążeniem rura podatna wywiera parcie na otaczający grunt. To z kolei

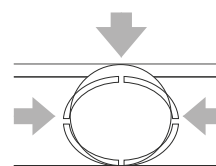
wywołuje reakcję w otaczającym gruncie, co w efekcie przeciwstawia się dalszej deformacji rury. Wielkość deformacji rury może być ograniczona przez odpowiedni dobór materiału gruntu i wykonawstwo. Dlatego też właściwości nośne rur podatnych zależą od sposobu montażu i rodzaju gruntu.

W przypadku rur sztywnych obciążenie rury jest przenoszone głównie przez wewnętrzną wytrzymałość materiału rury, a kiedy obciążenie przekracza wartość graniczną rura ulega zniszczeniu. Normy dotyczące rur sztywnych za podstawę nośności uznają wytrzymałość na pęknięcie rury w standardowym teście, co stanowi graniczną dopuszczalną wielkość obciążeń rury.

SDR	SN
33	2,5
26	5,3
21	10,4
17	20,3



Rury elastyczne



Rury sztywne

5.2. Klasyfikacja gruntów

Klasyfikacja gruntów stosowanych do montażu rurociągów wg normy ENV 1046

Grupa gruntów						Możliwość użycia do zasypki
Rodzaj gruntu	#	Typowa nazwa	Symbol*	Cechy charakterystyczne	Przykłady	
sypkie	1	Żwir o nieciągłym uziarnieniu	(GE) [GU]	Stroma krzywa uziarnienia, dominacja jednej frakcji	Kamień łamany, żwir rzeczny i morski, żwir morenowy	TAK
		Żwir o ciągłym uziarnieniu, pospółka	[GW]	Ciągła krzywa uziarnienia, kilka frakcji	skoria, pył wulkaniczny	
		Pospółka o nieciągłym uziarnieniu	(GI) [GP]	Schodkowa krzywa uziarnienia, brak niektórych frakcji		
	2	Piasek o nieciągłym uziarnieniu	(SE) [SU]	Stroma krzywa uziarnienia, dominacja jednej frakcji	Piaski wydmore, naniesione, dolinowe i nieckowe	TAK
		Piasek o ciągłym uziarnieniu, pospółka	[SW]	Ciągła krzywa uziarnienia, kilka frakcji	Piaski morenowe, tarasowe i brzegowe	
Pospółka		(SI) [SP]	Schodkowa krzywa uziarnienia, brak niektórych frakcji			
sypkie	3	Żwir ilasty, pospółka ilasta o nieciągłym uziarnieniu	[GM] (GU)	Nieciągle uziarnienie, zawartość frakcji ilastej	Zwierzały żwir, rumosz skalny, żwir gliniasty	TAK
		żwir gliniasty, pospółka gliniasta o nieciągłym uziarnieniu	[GC] (GT)	Nieciągle uziarnienie, zawartość drobnej gliny		
	Piasek ilasty, mieszanka piaskowo-ilasta o nieciągłym uziarnieniu	[SM] (SU)	Nieciągle uziarnienie, zawartość drobnego łu	Piasek nawodniony, piasek gliniasty, less piaskowy		
	Piasek gliniasty, mieszanka piaskowo-gliniasta o nieciągłym uziarnieniu	[SC] (ST)	Nieciągle uziarnienie, zawartość drobnej gliny	Piasek gliniasty, glina aluwiana, margiel		
spoiste	4	łł nieorganiczny, piasek drobny, mączka kamienna, piasek gliniasty i ilasty	[ML] (UL)	Słaba stabilność, szybka reakcja mechaniczna, plastyczność zerowa do małej	Less, glina piaszczysta	TAK
		Gлина nieorganiczna, bardzo plastyczna glina	[CL] (TA) CTL (TM)	Stabilność średnia do bardzo dobrej, niezbyt wolna reakcja mechaniczna, plastyczność niska do średniej.	Margiel aluwiany, glina	

* Oznaczenia zostały zaczerpnięte z dwóch źródeł. Oznaczenia w nawiasach kwadratowych [...] pochodzą z brytyjskiej normy BS 5930. Oznaczenia w nawiasach okrągłych (...) pochodzą z niemieckiej normy DIN 18196 .

W przypadku, gdy podłoże stanowi mieszankę kilku rodzajów gruntów jeden z występujących gruntów może stanowić podstawę do klasyfikacji.

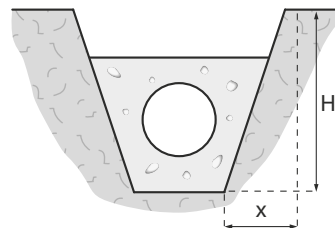
5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.3. Konstrukcja wykopów

Wykopy otwarte o ścianach bez obudowy

a) Wykopy otwarte, nieobudowane o nachylnych skarpach

Wykopy do 4.0 m i nie występowaniu wody gruntowej i usuwisk, oraz nie obciążaniu naziomu w zasięgu klina odłamu dopuszcza się następujące bezpieczne nachylenie skarp:

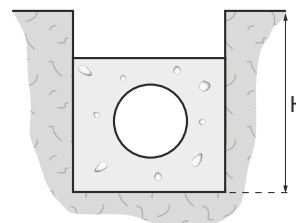


Dopuszczalne nachylenie skarp wykopu otwartego bez obudowy	
Rodzaj gruntu	Maks. nachylenie skarp H:x
w gruntach bardzo spoistych	2:1
w gruntach kamienistych	1:1
w pozostałych gruntach spoistych	1:1.25
w gruntach niespoistych	1:1.5

W pozostałych przypadkach nachylenie skarp wykopu powinno być określone w projekcie budowlanym.

b) Wykopy otwarte o ścianach pionowych bez obudowy.

Wykopy takie wykonywać można tylko w gruntach suchych, gdy teren nie jest obciążony nasypem lub sprzętem budowlanym przy krawędziach wykopu w pasie o szerokości równej, co najmniej głębokości wykopu H. Materiał wydobyty z wykopu powinien być składowany w odległości nie mniejszej niż 0,5 m od krawędzi wykopu, a wymiary hałdy gruntowej nie powinny stwarzać zagrożenia dla stabilności ścian wykopu.



Dopuszczalne głębokości wykopu pionowego bez obudowy	
Rodzaj gruntu	Maks. głębokość wykopu H
w gruntach skalistych litych niespękanych	4.0 m,
w gruntach spoistych	1.5 m,
w pozostałych gruntach	1.0 m.

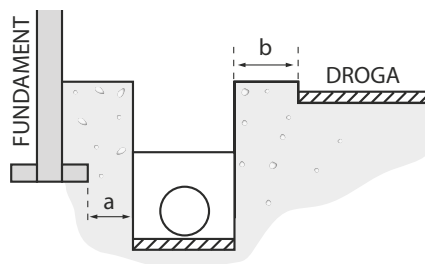
Wykopy otwarte o ścianach pionowych podpartych

Zabezpieczenie ścian wykopu wykonać należy ściśle według projektu budowlanego. Szczególną ostrożność zachować należy w przypadku realizacji wykopu w pobliżu drogi publicznej lub budynku.

Odległość od drogi
Komunikacja po drodze publicznej może odbywać się w odległości nie mniejszej od określonej według poniższej zależności:

$$b \geq H : \tan \phi_v + 0.5$$

gdzie:
b - odległość krawędzi jezdni odkrawędzi wykopu w [m],
H - głębokość wykopu,
 ϕ_v - kąt tarcia wewnętrznego gruntu.



5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

Odległość od budynku (fundamentu)

Odległość krawędzi dna wykopu od pionowej ściany fundamentu budowli posadowionej powyżej dna nie może być mniejsza od określonej według poniższej zależności:

$$a \geq (H - h + 0.3) : \operatorname{tg}\phi_v + 0.5$$

gdzie:

a - odległość krawędzi dna wykopu od pionowej ściany fundamentu budowli posadowionej powyżej dna wykopu,
H, ϕ_v - jak wyżej
h - głębokość fundamentu budowli sąsiadującej liczona od rzędnej terenu do rzędnej posadowienia fundamentu budowli.

Minimalna odległość dwóch sąsiadujących ze sobą wykopów pionowych podpartych

W przypadku równoczesnej realizacji obok siebie dwóch wykopów, minimalna odległość pomiędzy przyległymi krawędziami nie może być mniejsza od określonej według poniższej zależności:

$$d \geq (H - 1) : \operatorname{tg}\phi_v$$

gdzie:

H - głębokość wykopu głębszego liczona od rzędnej terenu do rzędnej dna wykopu,
fu - kąt tarcia wewnętrznego gruntu.

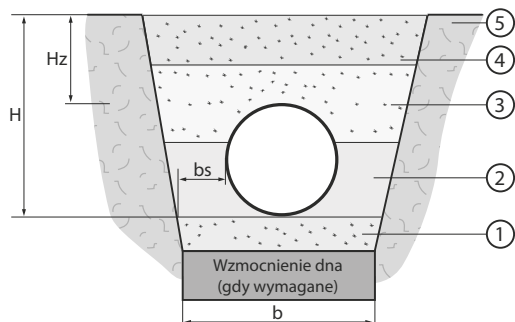
Gdy nie ma możliwości zachowania tych odległości konieczna jest szczegółowa analiza stanu bezpieczeństwa zarówno obudowy wykopu jak i pobliskiej jezdni lub budowli. Obudowę wykopu w takich przypadkach należy pozostawić, a grunt w wykopie starannie zagęścić do wskaźnika wymaganego w projekcie robót.

Zaleca się, aby wykop głębszy był realizowany wcześniej. Pozostałe warunki bezpiecznej realizacji wykopów omówiono w BN-83/8836-02.

Ostatnią warstwę gruntu na dnie wykopu o grubości 0.2 m usunąć należy bezpośrednio przed ułożeniem rurociągu, zwracając uwagę na rzędną posadowienia rurociągu (niedopuszczalne jest „przegłębianie” wykopu).

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.4. Terminologia

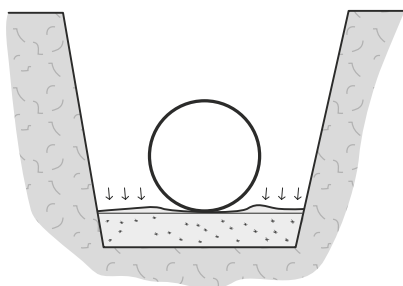


1. Podłoże (podsypka)
 2. Obsypka zasadnicza
 3. Obsypka górna
 4. Zasypka
 5. Grunt rodzimy
- H Głębokość wykopu
Bs- szerokość wykopu
Hz- Wysokość przykrycia

Minimalne wartości bs	
de [mm]	bs [mm]
de < 300	200
300 < de < 900	300
900 < de < 1800	400

Szerokość wykopu na wysokości pachwin rury nie powinna być większa niż niezbędna szerokość rury z uwzględnieniem sposobu połączenia (spawanie, połączenie kielichowe itd.) powiększona o dodatkową przestrzeń wynikającą z konieczności zagęszczenia obsypki. Szersze wykopy mogą być niezbędne w przypadkach np. dużego zagłębienia rur lub słabej stabilności ścian wykopu niezabezpieczonego.

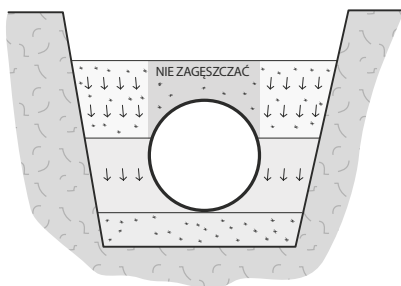
5.5. Sposoby posadowienia rurociągu w gruncie



Kluczowym aspektem w projektowaniu przed wykonywaniem wykopu i montażem rury jest określenie warunków gruntowych, w jakich rurociąg będzie zamontowany.

(1) Podłoże: zagęszczenie ok. 90% SPD

Warstwa ok. 100-150 mm, żwiry, piasek, pospółki ił (Grupy 1-4 z tabeli gruntów), ubijane ręcznie. Rury należy układać na dnie wykopu w ten sposób, aby leżały równo podparte na podsypce na całej swej długości. Parametry wytrzymałościowe podłoża nie mogą być niższe od przyjętych w dokumentacji projektowej (obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych rurociągu), ponadto powinny umożliwiać zachowanie spadku hydraulicznego.



(2),(3) Obsypka: zasadnicza i górna zagęszczenie 90-95% w skali SPD

Obsypkę należy układać symetrycznie po obu stronach rury warstwami o grubości nie większej niż 0.2 m, zwracając szczególną uwagę na jej staranne zagęszczenie w strefie podparcia rury. W trakcie zagęszczania obsypki w tej strefie konieczne jest zachowanie należytej staranności, aby nie nastąpiło podniesienie rury. Do zagęszczenia obsypki zaleca się stosowanie lekkich wibratorów płaszczyznowych (o masie do 100 kg).

Używanie wibratora bezpośrednio nad rurą jest niedopuszczalne, wibrator używać można, gdy nad rurą ułożono warstwę gruntu o grubości, co najmniej 0.3 m.

Obsypkę do wysokości, co najmniej 0.3 m ponad górną krawędź rury zaleca się wykonać z materiału o parametrach takich jak dla podsypki (grupa 1-4) i uziarnieniu zgodnie z tab.4.

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

Grunt rodzimy może być użyty do wykonania obsypki w strefie posadowienia rury o ile spełnia on wszystkie poniższe kryteria:

- nie zawiera cząstek większych niż dopuszczalne dla danej średnicy rury zgodnie z tabelą 4;
- nie zawiera grud większych niż podwojony rozmiar cząstek dopuszczalnych dla danej aplikacji zgodnie z tabelą 4;
- nie jest materiałem zmrożonym;
- nie zawiera cząstek obcych (np. asfaltu, butelek, puszek, kawałków drewna);
- gdy wymagane jest zagęszczanie – jest materiałem podatnym.

W przypadku, gdy niedostępne są szczegółowe informacje na temat gruntu rodzimego zakłada się, że wskaźnik

zagęszczenia zawiera się w granicach 91% do 97% określony wg Standardowej Metody Proctora (SPD). Wymagania odnośnie maksymalnych rozmiarów cząstek gruntu stosowanego do montażu rur podaje poniższa tablica 5.4.1.

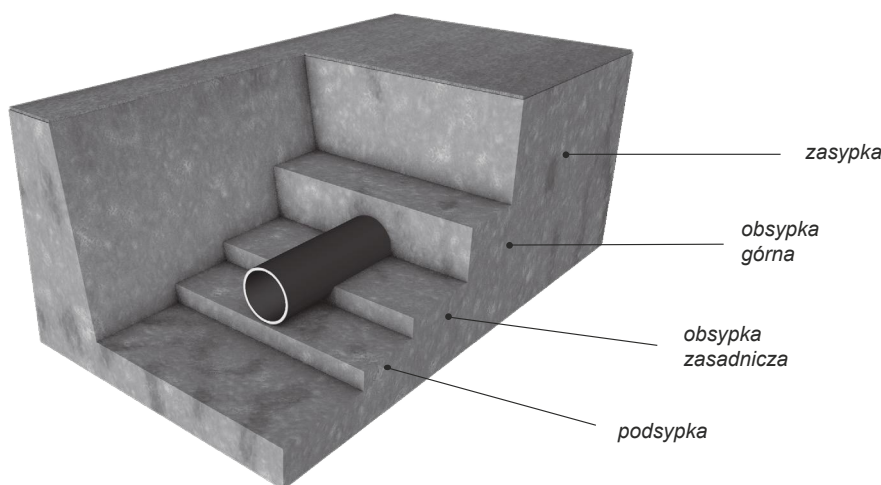
Średnica nominalna rury DN	Maksymalny rozmiar cząstek [mm]
DN < 100	15
100 < DN < 300	20
300 < DN < 600	30
600 < DN < 1800	40

(4) Zasyпка

Tereny zielone: w przypadku układania rurociągu pod terenami zielonymi użyć można gruntu rodzimego (z wykopu). W tym przypadku nie stawia się specjalnych wymagań w zakresie minimalnego wskaźnika zagęszczenia.

Pod ulicami: do zasyпки zaleca się użycie gruntu jak dla obsypki. Do zagęszczania zasyпки użyć można wibratorów o masie do 200 kg. – Stopień zagęszczenia SPD zgodnie z wymogami drogownictwa.

Do górnej warstwy zasyпки (o grubości dostosowanej do głębokości strefy przemarzania) dla rurociągów układanych pod ulicami nie mogą być stosowane grunty wysadzinowe.



5.6. Odwodnienie wykopów

Podczas prac montażowych wykop należy utrzymywać odwodniony.

Obniżenie poziomu zwierciadła wód gruntowych w wykopie powinno być dokonywane we wszystkich tych przypadkach, gdy woda gruntowa uniemożliwia lub utrudnia wykonanie wykopu lub posadowienie rurociągu. Obniżenie poziomu wód gruntowych powinno być przeprowadzone w taki sposób, aby nie została naruszona struktura gruntu w podłożu realizowanego rurociągu ani w podłożu sąsiednich budowli. Poziom zwierciadła wody gruntowej powinien być obniżony, o co najmniej 0.5 m poniżej dna wykopu. Obniżenie poziomu

zwierciadła wody gruntowej musi obejmować okresy całodobowe ze względu na szkodliwe działanie wahań zwierciadła wody gruntowej na strukturę gruntu na dnie wykopu. Wykop powinien być ponadto zabezpieczony przed dopływem wód deszczowych, elementy zabezpieczające ściany wykopu muszą wystawać, co najmniej 0.15 m ponad ścielnie przylegający teren, a powierzchnia terenu powinna być wyprofilowana ze spadkiem umożliwiającym łatwy odpływ wód poza wykop. Szczegółowy sposób odwodnienia wykopu powinien być określony w projekcie budowlanym.

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.7. Zalecane metody zagęszczania gruntu

Właściwości wytrzymałościowe strefy obсыпки rury zasadniczo zależą od rodzaju materiału gruntowego zastosowanego do jej wykonania oraz uzyskanego stopnia zagęszczenia. Różne stopnie zagęszczenia mogą być uzyskiwane poprzez stosowanie różnych urządzeń i odpowiedniej liczby warstw. Stopnie zagęszczenia

gruntu określone wg Standardowej Metody Proctora (SPD od ang. Standard Proctor Density) uzyskiwane w trzech klasach zagęszczenia, tj. „W”, „M” oraz „N”, w zależności od grupy zastosowanego gruntu, sklasyfikowanego zgodnie z tablicą 5.2., zestawiono w tabeli 5.7.1.

UWAGA Stopnie zagęszczenia gruntu w Standardowej Skali Proctora określono zgodnie z DIN 18127.

Tabela 5.7.1. Stopnie zagęszczenia gruntu wg Standardowej Metody Proctora dla poszczególnych klas zagęszczenia

Klasa zagęszczenia	Grupa gruntu stosowanego na obсыpkę			
	4 SPD [%]	3 SPD [%]	2 SPD [%]	1 SPD [%]
N Brak	75 ÷ 80	79 ÷ 85	84 ÷ 89	90 ÷ 94
M Średnia	81 ÷ 89	86 ÷ 92	90 ÷ 95	95 ÷ 97
W Wysoka	90 ÷ 95	93 ÷ 96	96 ÷ 100	98 ÷ 100



W tabeli 6 zestawiono zalecane maksymalne grubości warstw i liczbę przejść niezbędną do uzyskania określonej klasy zagęszczenia dla różnych rodzajów urządzeń i rodzajów materiału (grup gruntu) stosowanych do wykonania obсыпки.

W tabeli zawarto również zalecane minimalne grubości

warstw nad wierzchem rury, przy których możliwe jest zastosowanie danego urządzenia do zagęszczania gruntu bezpośrednio nad rurą.

Szczegóły zebrane w tabeli 6 należy traktować informacyjnie a szczegóły sposobu zagęszczania należy konsultować z projektantem i wykonawcą.

Tabela 5.7.2. Zalecane grubości warstw i liczby przejść przy zagęszczaniu gruntu

Sprzęt	Liczba przejść dla klasy zagęszczenia		Maksymalne grubości warstw po zagęszczaniu [m], dla poszczególnych grup gruntu (patrz tabela 1)				Minimalna grubość warstwy nad wierzchem rury przed zagęszczaniem [m]
	Zagęszczenie „W” (wysoka)	Zagęszczenie „M” (średnia)	1	2	3	4	
Zagęszczanie nogami lub ubijakiem ręcznym min. 15 kg	3	1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Ubijak wibracyjny min. 70 kg	3	1	0,30	0,25	0,20	0,15	0,30
Wibrator płaszczyznowy min. 50 kg	4	1	0,10	—	—	—	0,15
min. 100 kg	4	1	0,15	0,10	—	—	0,15
min. 200 kg	4	1	0,20	0,15	0,10	—	0,20
min. 400 kg	4	1	0,30	0,25	0,15	0,10	0,30
min. 600 kg	4	1	0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Walec wibracyjny min. 15 kN/m	6	2	0,35	0,25	0,20	—	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,60	0,50	0,30	—	1,20
min. 45 kN/m	6	2	1,00	0,75	0,40	—	1,80
min. 60 kN/m	6	2	1,50	1,10	0,60	—	2,40
Walec wibracyjny podwójny min. 5 kN/m	6	2	0,15	0,10	—	—	0,20
min. 10 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,15	—	0,45
min. 20 kN/m	6	2	0,35	0,30	0,20	—	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,50	0,40	0,30	—	0,85
Ciężki walec potrójny (bez wibracji) min. 50 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,20	—	1,00

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.8. Kontrola jakości zagęszczania

Zgodność z założeniami projektowymi należy potwierdzić, co najmniej jedną z poniższych metod:

- ścisły nadzór nad procedurami zagęszczania;
- weryfikacja początkowego ugięcia zainstalowanej rury;
- badanie na placu budowy stopnia zagęszczenia gruntu.

5.9. Wykonywanie prac w okresie obniżonych temperatur

W czasie wykonywania robót ziemnych w okresie niskich temperatur może nastąpić zamarznięcie gruntu na dnie wykopu. Układanie rurociągu na warstwie zamarzniętego gruntu jest niedopuszczalne, grunt ten należy bezpośrednio przed ułożeniem rurociągu usunąć i zastąpić warstwą

5.10. Usuwanie obudowy wykopu

W przypadku zbyt małej odległości krawędzi wykopu (określonej w BN-83/8836-02) od drogi publicznej lub budynku może zaistnieć konieczność pozostawienia obudowy wykopu, w pozostałych przypadkach obudowę należy usunąć. Obudowę wykopu z elementów drewnianych, wyprasek stalowych lub szalunku typu boks usuwać należy w miarę zasypywania wykopu. Obudowa wykopu typu boks stwarza bardzo korzystne warunki dla realizacji wykopów ponieważ nie stwarza zagrożenia dla sąsiednich obiektów (nie występują drgania gruntu jak dla ścianek zabijanych) i zapewnia zachowanie wskaźnika zagęszczenia gruntu. Obudowy te zapewniają ponadto bezpieczną realizację robót. Wyrwanie zabijanych elementów obudowy wykopu może spowodować rozluźnienie obsypki i zasypki rurociągu. Skutkiem takiego rozluźnienia jest obniżenie nośności rury oraz uszkodzenie nawierzchni drogi w wyniku dodatkowych osiadań gruntu obsypki i zasypki. Dla ograniczenia niekorzystnych skutków wyrwania elementów obudowy wykopu, zwłaszcza dla rurociągów układanych pod ulicami, zaleca się podwyższenie wymagań w zakresie minimalnego wskaźnika zagęszczenia podsypki, obsypki i zasypki do 97% SPD. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym niekorzystne

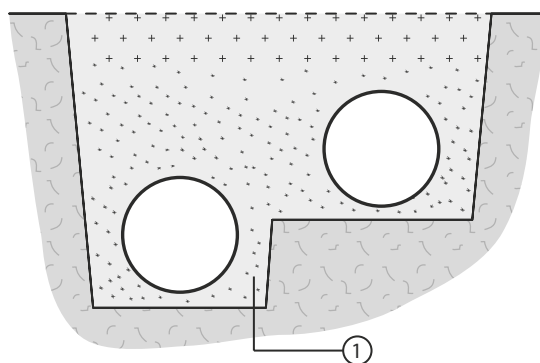
5.11. Montaż rur w układzie równoległym

Rury w układach równoległych w zwykłych wykopach powinny być montowane w wystarczających odległościach od siebie tak, aby zapewnić możliwość dostępu sprzętu do zagęszczenia gruntu obsypki między rurami. Należy zachować przestrzeń między rurami o szerokości większej o 150 mm od szerokości sprzętu używanego do zagęszczania w celu umożliwienia jego swobodnego operowania. Materiał obsypki w strefie pomiędzy rurami powinien zostać zagęszczony do stopnia identycznego jak w strefie między rurą a ścianą wykopu. W przypadkach układania rur równoległych w wykopach stopniowych (patrz Rys. 4) materiał obsypki powinien być sypki i powinna być zadana klasa zagęszczenia W.

Po wykonaniu napraw lub dodatkowych włączeń należy zwracać uwagę, aby przemieszczany materiał obsypki i wypełnienia wykopu był zagęszczany w przybliżeniu do tego samego stopnia, jaki posiada grunt bezpośrednio przyległy do strefy prowadzonych robót.

niezamarzniętego, sypkiego gruntu o uziarnieniu do 20 mm (w przypadku kruszywa łamanego do 16 mm). Warstwę tą należy zagęścić do wskaźnika zagęszczenia 95% SPD. Niedopuszczalne jest zasypywanie wykopu gruntem zawierającym zamarznięte bryły.

zjawiska spowodowane wyrwaniem elementów obudowy wykopu powinno być stosowanie sprzętu nie powodującego drgań lub wibromłotów o możliwie małej amplitudzie drgań.



Przewody równoległe w wykopie stopniowym¹
Grunt mocno zagęszczony (klasa W)

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.12. Wymiana gruntu

W przypadku występowania skał, kamieni lub twardych gruntów należy dokonać wymiany gruntu w strefie dna wykopu. Na dnie wykopu mogą wystąpić grunty kurzawkowe i podobne, grunty organiczne lub grunty wykazujące tendencje do zmian objętości pod wpływem wilgoci.

W takich przypadkach inżynier musi zdecydować o skali wymiany gruntu pod rurą i sposobie posadowienia rury na gruncie zasypowym. Każda sytuacja tego typu musi

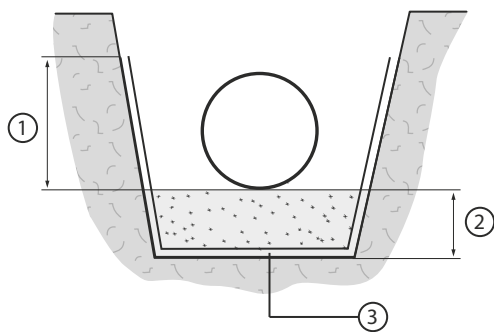
być rozważana indywidualnie na podstawie własnych doświadczeń wykonawczych w celu określenia zakresu wymiany gruntu i rodzaju materiału do zastosowania na podsypkę. W przypadku, gdy stosuje się wymianę gruntu, włączając tu niezamierzone nadmierne pogłębienia wykopu, należy użyć tego samego materiału podsypki, jaki planuje się zastosować w strefie obsypki i powinien on być zagęszczony do osiągnięcia klasy „W”.

5.13. Posadowienie rurociągu na gruntach słabonośnych

W przypadkach oczekiwanych znacznych osiadań gruntu lub spodziewanych zmian struktury gruntu można użyć materiały geotekstylne w sposób pokazany na Rys. 7. Jednakże, jeżeli przewiduje się znaczne przemieszczenia ziaren gruntu takie rozwiązanie może być niewystarczające. W takich przypadkach należy zaciągnąć opinii eksperta. Wśród innych warunków specjalnych na etapie układania rur napotkać można płynącą lub stojącą wodę gruntową pojawiającą się na dnie do wykopu lub też efekt kurzawkowy na dnie wykopu. W takich przypadkach obniżenie poziomu wody gruntowej dokonuje się poprzez zastosowanie studni pompowych lub drenów instalowanych na etapie układania rur funkcjonujących do czasu, aż rura nie zostanie przekryta gruntem w stopniu wystarczającym

do przeciwdziałania wyporowi lub osunięciu się ścian wykopu. Uziarnienie gruntu w strefach podsypki, obsypki i zasyпки powinno być dobrane tak, aby w warunkach nasycenia wodą nie zachodziła migracja drobnych frakcji gruntu ze strefy wykopu do sąsiadującego ośrodka gruntowego jak i zjawisko odwrotne. Wszelka migracja ziaren gruntu między strefami może doprowadzić do osłabienia podparcia w strefie dolnej i bocznej rury. Zapobieżeniu transportu drobnych frakcji gruntu może służyć zastosowanie odpowiednich mat filtracyjnych, jak na Rys. 5. Jeżeli maty filtracyjne są łączone należy zapewnić zakład szerokości nie mniejszej niż 0,3 m. Maty niełączone powinny być układane z zakładem szerokości nie mniejszym niż 0,5 m.

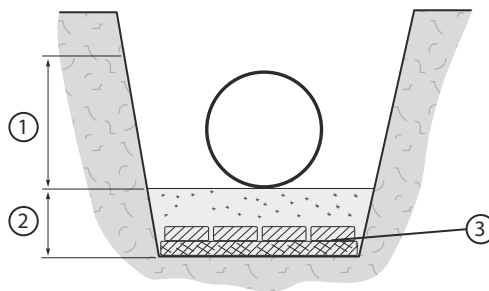
Rys. 5.13.1. — Zabezpieczenie przed migracją drobnych frakcji gruntu



Legenda

- 1 Strefa obsypki
- 2 Podsypka
- 3 Mata filtracyjna

Rys. 5.13.2. — Dno wykopu wzmocnione konstrukcją drewnianą



Legenda

- 1 Strefa obsypki
- 2 Podsypka
- 3 Mata filtracyjna

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

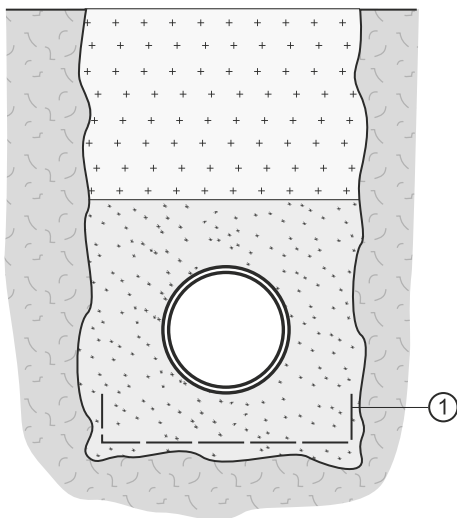
5.14. Geowłókniny

Jeżeli grunt jest słaby lub miękki tak, że nie jest możliwa bezpieczna praca ludzi w wykopie należy zastosować wzmocnienie dna przed wykonaniem podsypki.

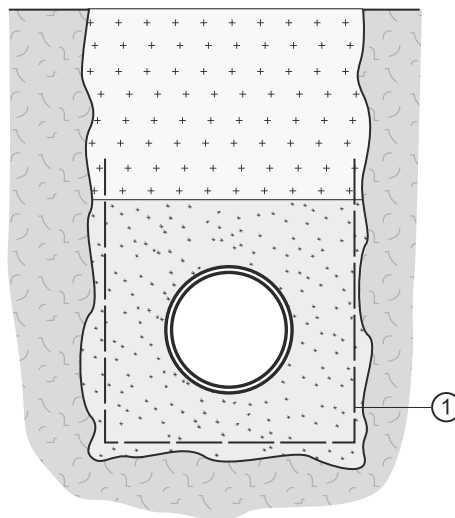
Wzmocnienie dna wykopu może mieć postać np. konstrukcji drewnianej lub maty geotekstylnej (tzw. geowłókniny)

Rys. 5.14.1. Typowe zastosowania mat geotekstylnych (geowłóknin).

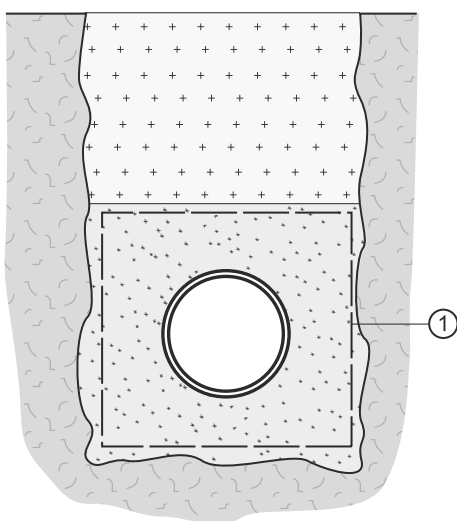
Rys. 5.14.1.a — Geowłóknina redukująca nierównomierności osiadania strefy posadwienia rury



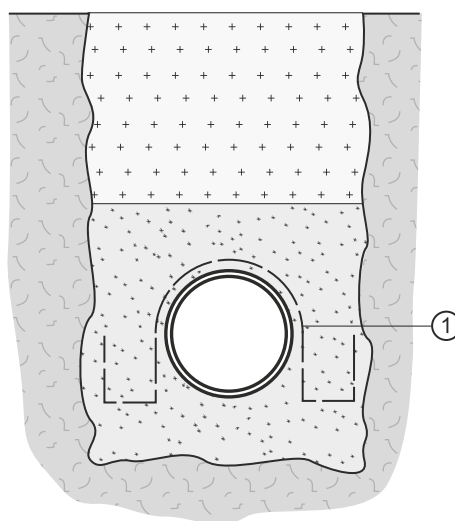
Rys. 5.14.1.b — Geowłóknina stanowiąca częściową podwalinę, obudowę i wzmocnienie



Rys. 5.14.1.c — Geowłóknina stanowiąca pełną podwalinę, obudowę i wzmocnienie



Rys. 5.14.1.d — Geowłóknina stanowiąca zakotwienie zapobiegające wyporowi rury



1- geowłóknina

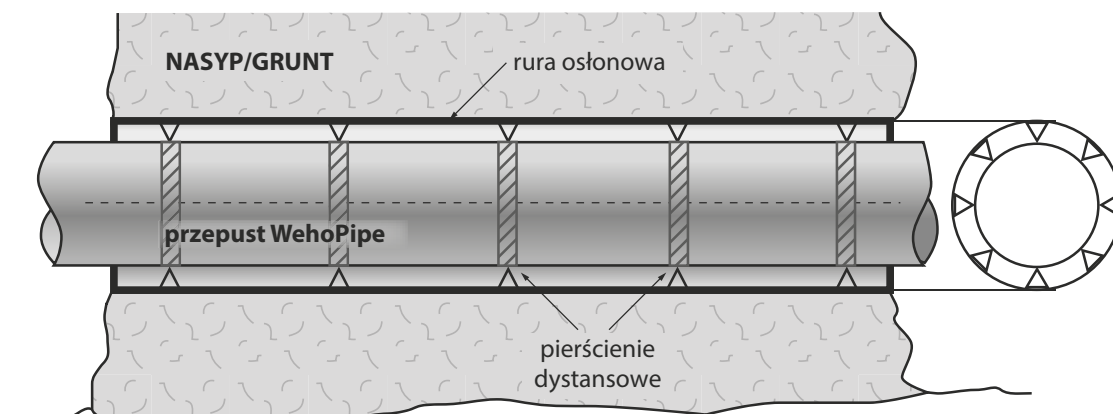
5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.15. Montaż rur PE w rurze osłonowej

Rury PE ze względu na swoją wytrzymałość nie wymagają zabezpieczenia rurami osłonowymi. Rury osłonowe stosuje się, w przypadku pojawienia się wymagań formalnych np. związanych z przepustami torowymi (PKP), gdzie wymogi eksploatacyjne (np. potrzeba naprawy)

zalecają swobodny dostęp do układanego przewodu bez potrzeby naruszania warunków gruntowych. Rury PE można montować w rurach osłonowych z tzw. pierścieniami dystansowymi lub układać je swobodnie w przewodach osłonowych.

Rysunek 5.15.1. Przewód PE w rurze osłonowej z pierścieniami dystansowymi.



Rury WehoPipe można montować w przepustach drogowych wewnątrz innych rur – stalowych, betonowych. Zaleca się aby rury ciśnieniowe WehoPipe montować w przepustach razem z pierścieniami dystansowymi.

Wytrzymałość pierścieni dystansowych na zgniatanie (rury są wypełnione cieczą) powinien określić producent pierścieni. Rozstaw pierścieni – płóz (odległość pomiędzy nimi) można przyjąć następująco:

DN rury	Odstęp w metrach pomiędzy płozami
Do 160 mm	1,5 – 2
180 - 1200 mm	2
1200 - 1800 mm	1,2 – 1,5

5.16. Stosowanie bloków oporowych

Kształtki oferowane przez Uponor Infra, w większości przypadków nie wymagają dodatkowych wzmocnień poprzez bloki żelbetowe (konstrukcyjne). Jednak decyzja o zastosowaniu bloków wzmocniających powinna uwzględniać warunki gruntowe, rodzaj przepływu, ewentualne uderzenia hydrauliczne, zmiany temperatury itd, i powinna być podjęta przez projektanta. Uponor Infra zaleca aby w rurociągach ciśnieniowych stosować kształtki o pogrubionych ściankach w stosunku do przewodu głównego: kształtka powinna

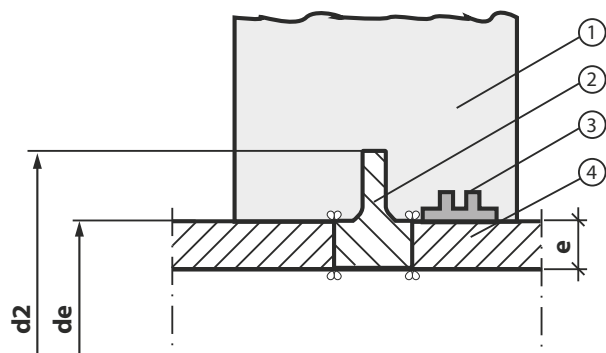
być wykonana z SDRu o stopień niższego (patrz p 3.2), co umożliwi przeniesienie sił osiowych bez stosowania bloków wzmocniających. Należy jednak pamiętać o prawidłowym i dokładnym wykonaniu prac montażowych szczególnie wokół kształtki (rodzaj gruntu, zagęszczenie).

Przy zmianie kierunku trasy rurociągu warto czasami zrezygnować z łuków segmentowych na rzecz łagodnego wygięcia rurociągu.

5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.17. Przejścia kotwiące przez ściany dla rur PE (punkt stały)

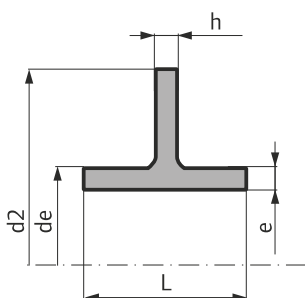
Proponowane przejście kotwiące jest szczelne do 5 m słupa wody, pod warunkiem stosowania kołnierzy gumowych systemu Frank. Dodatkowo ściana betonowa musi być wykonana z betonu wodoszczelnego.



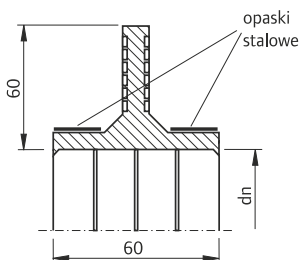
1. Przegroda - beton wodoszczelny
2. Kołnierz kotwiący PE
3. Kołnierz gumowy Frank
4. Rura WehoPipe

Kołnierz kotwiący				Grubości ścianki rury			Zakres stosowania dla średnic rur	typ profilu
				SDR26	SDR17	SDR11		
dn=de	d2	h	L	e	e	e	dn	-
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-
90	110	17	160	3,5	5,4	8,2	90-97	A
110	130	18	160	4,2	6,6	10,0	110-121	A
125	140	25	165	4,8	7,4	11,4	125-140	A
140	160	25	165	5,4	8,3	12,7	140-159	A
160	180	25	165	6,2	9,5	14,6	160-180	A
180	200	30	165	6,9	10,7	16,4	180-199	A
200	230	35	190	7,7	11,9	18,2	200-224	A
225	250	40	190	8,6	13,4	20,5	225-249	A
250	280	40	190	9,6	14,8	22,7	250-279	A
280	320	45	190	10,7	16,6	25,4	280-314	A
315	360	50	190	12,1	18,7	28,6	315-354	A
355	410	50	230	13,6	21,1	32,2	355-399	B
400	482	19-47	120	15,3	23,7	36,3	400-449	B
450	535-585	19-47	120	17,2	26,7	40,9	450-499	B
500	585	22-51	120	19,1	29,7	45,4	500-559	B
560	685-725	25-55	120	21,4	33,2	50,8	560-629	B
630	685-725	30-55	120	24,1	37,4	57,2	630-709	B
710	805	36-60	120-125	27,2	42,1		710-799	B
800	905	42-60	120-135	30,6	47,4		800-899	B
900	1005	53-65	120-140	34,4	53,3		900-999	B
1000	1100	61-89	140-160	38,2	59,3		1000-1150	B
1200	1300	65-65	160-180	45,9			1200-1350	B

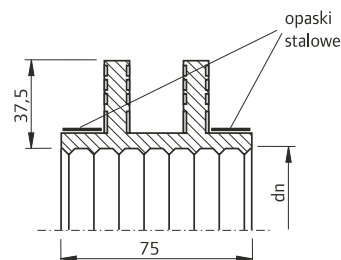
Kołnierz kotwiący PE



Profil Frank A



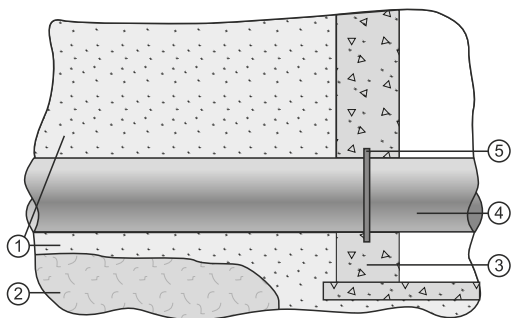
Profil Frank B



5. Montaż rur ciśnieniowych w gruncie

5.18. Łączenie z konstrukcjami sztywnymi

Kiedy rurociąg przechodzi przez konstrukcje, takie jak budynki, studnie kanalizacyjne czy bloki oporowe, należy uwzględnić w konstrukcji połączenia tolerancję dla różnic osiadania. Materiały takie jak np. polietylen, są wystarczająco elastyczne by tolerować występujące



przemieszczenia i mogą być łączone w sposób przedstawiony na rysunku 12. Aby zminimalizować naprężenia od sił tnących i momentów gnących, rurom wystającym ze sztywnych konstrukcji należy zapewnić skuteczne podparcie na podsypce

Oznaczenia:

- 1 Podsypka i obsypka
- 2 Grunt rodzimy - dobrze zagęszczony materiał (klasa W)
- 3 Ściana betonowa
- 4 Rura WehoPipe
- 5 Kołnierz kotwiący PE i profil uszczelniający

5.19. Montaż rur w długich i krótkich odcinkach

Montaż rur w długich odcinkach

Ze względu na swoją elastyczność oraz jednorodne połączenia, rury PE można układać długimi odcinkami. Rury PE łączy się wtedy na zewnątrz wykopu i cały połączony odcinek można przełożyć do przygotowanego wykopu. W ten sposób prace ziemne i zgrzewanie rur odbywa się niezależnie. Pozwala to obniżyć koszty montażu oraz przyspieszyć montaż. Ten sposób

montażu jest często praktykowany podczas wykorzystania rur PE.

Montaż rur w krótkich odcinkach

W miejscach mocno zabudowanych, gdzie nie ma możliwości łączenia rur w długie odcinki, zgrzewanie rur można wykonywać wewnątrz wykopu. Taki montaż wymaga pełnej synchronizacji prac ziemnych i łączenia rur

5.20. Odległości pomiędzy podporami

Najbardziej korzystnym podparciem rurociągów PE prowadzonych na estakadach jest podparcie wzdłużne. Jeśli jednak nie ma możliwości technicznych wykonania

podparcia wzdłużnego poniższy algorytm na przykładzie rury DN (OD)500 SDR21 umożliwi obliczenie maksymalnych odległości pomiędzy podporami.

$$w_f = w_L \cdot \frac{\pi \cdot ID^2}{4}$$

$$L_{max} = \sqrt{\frac{3 \cdot (OD^4 - ID^4) \cdot \pi \cdot \sigma_m}{8 \cdot (w_p + w_f) \cdot OD}}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (OD^4 - ID^4)$$

DANE (zakładane maksymalne ugięcie y, obliczyć odległość pomiędzy podporami Lmax):

- OD = 500 Średnica zewnętrzna, mm
- SDR = 21 Standard Dimension Ratio
- E = 200 Moduł Younga, N/mm², (dla 50 lat)
- wL = 1000 Ciężar właściwy cieczy, kg/m³
- σm = 0,7 Naprężenia materiału od ugięcia (0,7 dla rurociągów ciśnieniowych), N/mm²
- y = 25 ugięcie (zalecane 25mm)

WYNIKI:

- ID = 452,2 Średnica wewnętrzna, mm
- I_a = 1,015E+09 Moment bezwładności, mm⁴
- w_p = 37,1 Ciężar rury, kg/m pipe
- w_f = 160,6 Ciężar cieczy, kg/m pipe
- Lmax = 4194 Odległość pomiędzy podporami, mm

Moduł Younga E przyjmuje się w zależności od przewidywanego okresu eksploatacji rurociągu. Poniższa Tabela pozwala odnaleźć potrzebne wartości modułu E w funkcji temperatury i czasu. Wartości modułu E zależą od rodzaju materiału PE. Poniższa tabela pokazuje wartości przybliżone opracowane na podstawie konkretnego rodzaju PE.

Moduł (E) w funkcji czasu dla rur PE. (N/mm ²)				
Temp. (C)	0h	1 h	10 lat	>=50lat
-15	1668	892	432	386
5	1161	622	305	272
15	952	507	252	224
23	805	426	214	190
37	593	306	158	140
50	448	218	118	105

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

Do najczęściej stosowanych metod łączenia rur ciśnieniowych należą:

Sposób łączenia rur	Zakres średnic	Zastosowanie
Zgrzewanie doczołowe	Dn 63- 1800mm	Rury PE łączone w długie odcinki
Połączenia kołnierzowe	Dn 63- 1800mm	Połączenia z armaturą lub innymi rodzajami rur, również łączenie długich odcinków rur PE ze sobą
Elekrozłączki	Dn 63- 630 mm (do Dn1200 na zamówienie)	Łączenie rur PE w miejscach trudnodostępnych, wąskich gdzie nie można zgrzać rur PE za pomocą zgrzewarki

6.1. Zgrzewanie doczołowe

Zgrzewanie doczołowe jest procesem, w trakcie, którego materiał dwu łączonych końców rur pod wpływem wysokiej temperatury i docisku przenika się, tworząc w miejscu zetknięcia jednolitą strukturę.

Jest to metoda stosunkowo prosta, ale aby uzyskać wysokiej jakości zgrzeiny o parametrach łączonych rur, wymagana jest duża precyzja w wykonaniu.

Celem niniejszego opracowania jest przekazanie podstawowych wiadomości na temat zgrzewania doczołowego i pomoc w zrozumieniu zachodzących

podczas stosowania tej metody procesów, oraz opis bezpiecznego i poprawnego wykonania zgrzein.

Tworzywa termoplastyczne, takie jak PE, rozgrzane do temperatury 200° - 220° C i poddane odpowiedniemu naciskowi zmieniają stan skupienia ze stałego w plastyczny. Końcówki obu poprawnie uciętych i rozgrzanych rur zetknięte i poddane dociskowi łączą się, tworząc po ostygnięciu jednolite i szczelne połączenie. Właściwie wykonany zgrzew posiada parametry wytrzymałościowe takie same, jak łączone rury.

Proces zgrzewania rur PE przebiega następująco:

- Końcówki dwóch przewodów są mocowane w zgrzewarce wyposażonej w system hydrauliczny umożliwiający przesuwanie się jednej części maszyny i wytwarzający siłę docisku.
- Końce rur są fazowane przy pomocy specjalnych noży.
- Podgrzewana elektrycznie metalowa płyta umieszczana jest między końcami rur.
- Końce rur dociskane są do gorącej płyty z odpowiednim naciskiem i przez określony czas.

- Kiedy końce rur dostatecznie zmiękną, płyta jest usuwana, a końcówki rur zostają połączone i poddane naciskowi w celu uzyskania zgrzeiny. Nacisk, jakim poddane są końcówki rur podczas zgrzewania i czas trwania operacji są ściśle określone.
- Po ostygnięciu połączenia rury są usuwane ze zgrzewarki i można rozpocząć przygotowania do wykonania następnego połączenia.

Typowe odcinki rur PE mają długość: L = 12,5 m

6.1.1. Parametry procesu zgrzewania.

Poszczególne fazy procesu zgrzewania charakteryzują się różnymi parametrami, z których wiele zależy od nominalnej grubości ścianki rury "e" i od nominalnej

średnicy rury "OD", z oznaczeniem de.

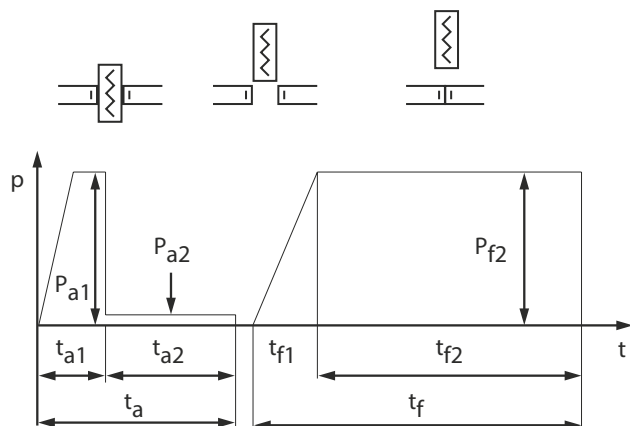
Zgrzewarki dostarczane przez Uponor Infra są przystosowane dołączenia rur: **PE DN od 63 do 1800 mm**

Wykaz parametrów technicznych stosowanych podczas zgrzewania. (Uwaga: poniższe dane należy traktować jedynie jako informacje ogólne.)

I. Temperatura zgrzewania	nie może odbiegać od: $T = 210^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ mierzona w sposób ciągły przy pomocy czujnika termicz.
II. Docisk w czasie rozgrzewania	$P = 0,17 \text{ N/mm}^2 \pm 0,02 \text{ N/mm}^2$ W praktyce, do ciśnienia P dodawane jest ciśnienie wywołwane przez siłę oporu materiału.
III. Czas potrzebny na rozgrzanie (czas formowania wyplwki)	Czas konieczny do wytworzenia wyplwki opisanego jako "A" (szerokość zgrubienia po jednej stronie płyty), jest określony w zależności od rodzaju rury.
IV. Szerokość zgrubienia "A"	$A = 0,5 \text{ mm} + 0,1 \times e$ (około)
V. Docisk w czasie wygrzewania.	powinien wynosić 0, max. $0,01 \text{ N/mm}^2$
VI. Czas potrzebny na wygrzewanie	$t = 15 \times e \pm e$ (sek)
VII. Maksymalny czas przełączania pomiędzy wygrzewaniem a rozpoczęciem docisku końcówek rur	Czas przełączania jest parametrem krytycznym, zależnym od średnicy rur "de" $t \leq 3 \text{ sek} + 0,01 \times de$ (sek)
VIII. Maksymalny czas wytworzenia odpowiedniego docisku	$t \leq 3 \text{ sek} + 0,03 \times de$ (sek)
IX. Wielkość docisku występującego podczas zgrzewania	$Pa1 = 0,18 \text{ N/mm}^2 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ (dla PE)
X. Wielkość docisku występująca podczas stygnięcia	$Pa3 = 0,18 \text{ N/mm}^2$ (dla PE)
XI. Czas stygnięcia przy jednoczesnym docisku (czas zgrzewania)	$t_{\text{min}} = 10 + 0,5 \times e$ (min)

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

Na rysunku 6.1.2.1. pokazano w ogólnym zarysie poszczególne fazy procesu zgrzewania, przebieg zmian ciśnienia (docisku) w funkcji czasu podczas zgrzewania rur.



- Pa1 (MPa) docisk podczas rozgrzewania końców rur,
- Pa2 wielkość duża i mała;
- Pf2 (MPa) docisk podczas zgrzewania;
- ta1, (s) czas potrzebny na docisk (dwie fazy)
- ta2 podczas rozgrzewania;
- ta (s) łączny czas rozgrzewania;
- tf1 (s) czas wytworzenia docisku;
- tf2 (s) czas stygnięcia (podczas docisku);
- tf (s) całkowity czas stygnięcia;
- tu (s) czas przełączenia.

Parametry procesu, takie jak:

- temperatura
- ciśnienie (docisk)
- współczynniki czasu z wyjątkiem temperatury płyty rozgrzewającej są związane ze średnicą i ciśnieniem nominalnym rurociągu.

Proces zgrzewania używany jest do łączenia:

- prostych odcinków rurociągów;
- prostych odcinków rurociągu z kształtkami umożliwiającymi połączenia kołnierzowe.

6.1.2. Sprzęt do zgrzewania

Do zgrzewania rur o różnych średnicach używa się następujących typów zgrzewarek:

Typ maszyny	Zakres średnic rur PE
KWH Tech 160	40 do 160 mm
KWH Tech 250	63 do 250 mm
KMT 315	90 do 315 mm
KWH Tech 500	200 do 500 mm
KMT 630	355 do 630 mm
WHA 800	450 do 800 mm
WHA 1200	710 do 1200 mm
PT 1600	1000 do 1600 mm



Szczegółowe dane na temat zgrzewarek Uponor Infra są zawarte w ofercie Uponor Infra.

Kompletny sprzęt firmy Uponor Infra do zgrzewania składa się z następujących elementów:

- Rama zgrzewarki umożliwiająca dokładne osiowe umieszczenie końców zgrzewanych rur;
- Obrotowe urządzenie skrawające (strug) zapewniające wyrównanie końców rur,
- Płyta grzewcza z elementami kontrolnymi, umożliwiającymi utrzymanie odpowiedniej temperatury zgrzewania;
- Specjalny uchwyt umożliwiający zgrzewanie kształtek kołnierzowych do końców rur;

- Część ruchoma (sanie), służąca do przesuwania i stykania zgrzewanych rur;
 - Instrukcja obsługi zgrzewarki oraz sposobu zgrzewania (na wyposażeniu wszystkich typów zgrzewarek Uponor Infra).
- Zgrzewarka do doczołowego łączenia rur produkcji Uponor Infra jest dostarczana z tabelą określającą parametry procesu technologicznego, tzn. nacisk, temperaturę i czas operacji. Wszystkie parametry zostały określone w oparciu o dokładne badania, które pozwoliły ustalić optymalne wartości stosowane następnie w praktyce. W rezultacie uzyskujemy najwyższą możliwą wytrzymałość zgrzeiny, porównywalną z wytrzymałością rury.

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

6.1.3. Połączenia rur PE metodą zgrzewania doczołowego w niskich temperaturach

Oprócz przestrzegania zasad ujętych w „OGÓLNYCH WARUNKACH PRACY GRUPY SERWISOWEJ FIRMY UPONOR INFRA SP. Z O.O.” należy spełnić poniższe warunki:

1. Miejsce wykonywania połączenia powinno być osłonięte przed wpływem warunków atmosferycznych (deszcz, grad, śnieg, wiatr) poprzez namiot.

2. Przy bardzo niskich temperaturach należy przestrzeń pod namiotem ogrzać do temperatury powyżej zera za pomocą dmuchawy gorącego powietrza. Przestrzeganie powyższych warunków gwarantuje uzyskanie połączenia spełniającego wymagania wytrzymałości i szczelności. Grupa serwisowa Uponor Infra Sp. z o.o. dysponuje sprzętem niezbędnym do pracy w warunkach zimowych.

6.1.4. Kolejność czynności podczas zgrzewania.

Przed rozpoczęciem zgrzewania należy wykonać następujące prace przygotowawcze, dokładnie według instrukcji obsługi:

- Przygotowanie stanowiska pracy, ustawienie zgrzewarki, ewentualne zastosowanie osłon przeciwsłonecznych lub przeciwdeszczowych, miejsce wykonywania połączenia

powinno być osłonięte przed wpływem warunków atmosferycznych (deszcz, grad, śnieg, wiatr) poprzez namiot

- Przygotowanie karty kontrolnej parametrów technicznych występujących podczas zgrzewania;
- Przygotowanie specjalnego oznakowania (jeżeli jest to wymagane kontraktem).

Po zakończeniu przygotowań, można rozpocząć zgrzewanie rurociągów. Zgrzewanie przeprowadza się wykonując kolejne czynności (opisane poniżej), zgodnie z instrukcją załączoną do każdej zgrzewarki dostarczanej przez firmę Uponor Infra:

1. Końce rur umieszcza się w elementach mocujących zgrzewarki, dostosowanych do średnicy zgrzewanego rurociągu. Śruby powłoki zaciskowej są zaciskane po przekątnej, ustawiając rury w odpowiedniej pozycji. Końce rur wystają około 30 - 100 mm poza powłoką zaciskową. W celu uniknięcia wyginania, zgrzewane rurociągi są podparte na obu końcach. Aby maksymalnie zmniejszyć siły oporu, ruchoma część zgrzewarki wyposażona jest w specjalne łożyska.

2. Pomiędzy rurami umieszcza się strug. Następnie końce rur są dociskane do tarczowej głowicy nożowej przy pomocy siłowników hydraulicznych. W celu uzyskania odpowiednio gładkich powierzchni, siłę docisku należy stopniowo zmniejszać.

3. Pomiędzy wyrównanymi końcami rur umieszcza się płytę grzewczą, która je uplastycznia, aż do uformowania po obwodzie zgrubienia (wstępna wypływka) o szerokości 1,0 - 7,0 mm (w zależności od grubości

ścianki rury). Siłę nacisku (łącznie z siłą oporu), którą należy zastosować, można znaleźć w tabeli załączonej do każdej zgrzewarki. Po uformowaniu zgrubienia siłę docisku zmniejsza się prawie do zera, po czym następuje bezciśnieniowe wygrzewanie.

4. Następnie odsuwa się końce rur od płyty grzewczej i ostrożnie ją usuwa, nie dotykając przy tym roztopionych powierzchni. Końce rur należy połączyć z odpowiednią siłą docisku. Siła docisku rośnie w ciągu czasu t_{f1} , następnie w ciągu czasu t_{f2} (czas stygnięcia) utrzymuje stałą wartość. Procesu stygnięcia nie wolno przyspieszać przez polewanie wodą.

5. Kiedy upłynie czas stygnięcia, pokrywy zaciskowe zostają otwarte, a rury usunięte ze zgrzewarki. Należy unikać gwałtownego manipulowania rurociągiem, oraz wykonywania prób ciśnieniowych przed całkowitym ostygnięciem materiału (do temperatury otoczenia).

6.1.5. Karta kontrolna parametrów technicznych zgrzewania doczołowego.

Podczas zgrzewania, ważne parametry techniczne procesu muszą być zapisywane w karcie kontrolnej. Po zakończeniu procesu zgrzewania, wszystkie zapisane parametry powinny być porównane z wartościami ustalonymi przez wymagania

techniczne. Każda zgrzeina jest numerowana i musi być zaakceptowana (w karcie kontrolnej wpisujemy "tak"). W wypadku, gdy połączenie nie uzyska akceptacji, należy je usunąć i wykonać nowe.

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

6.2. Połączenia kołnierzowe.

Połączenia kołnierzowe stosuje się do łączenia rur PE z armaturą lub z innymi rodzajami rur (np. stal, żeliwo) oraz rur długich odcinków rur PE pomiędzy sobą.

W skład końcówki kołnierzowej rury PE wchodzi 3 elementy:

- Tuleje kołnierzowe (Stub-end)- element PE dogrzewany do rury
- Kołnierz stalowy lub żeliwny
- Komplet śrub z nakrętkami

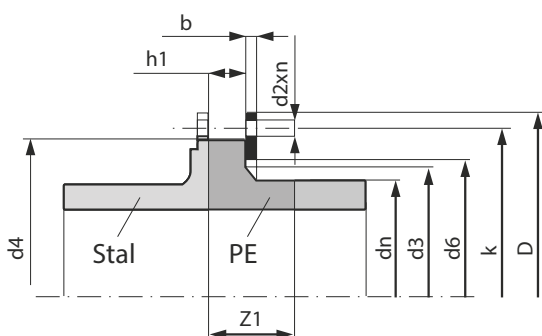
Kołnierze metalowe oraz śruby z nakrętkami dostarczane przez Uponor Infra Sp. z o.o. są zabezpieczone

antykorozyjnie metodą galwanizacji ogniowej.

Uponor Infra Sp. z o.o. oferuje kołnierze stalowe.

W przypadku rurociągów układanych w gruncie można stosować zarówno kołnierze stalowe jak i żeliwne. W rurociągach układanych poza gruntem (rurociągi podwieszane, podwodne) tam gdzie mogą wystąpić duże naprężenia i momenty nące w miejscu połączeń zaleca się stosowanie tylko kołnierzy stalowych.

Widok połączenia kołnierzowego



tuleje kołnierzowe				SDR 17		SDR 11	
dn=de mm	d3 mm	d4 mm	z1* mm	e mm	h1 mm	e mm	h1 mm
25	33	58	50			2,3	9
32	40	68	50			3,0	10
40	50	78	50			3,7	11
50	61	88	50	3,0	12	4,6	12
63	75	102	50	3,8	14	5,8	14
75	89	122	50	4,5	16	6,9	16
90	105	138	80	5,4	17	8,2	17
110	125	158	80	6,6	18	10,0	18
125	132	158	80	7,4	18	11,4	25
140	155	188	80	8,3	18	12,7	25
160	175	212	80	9,5	18	14,6	25
180	180	212	80	10,7	20	16,4	30
200	232	268	100	11,9	24	18,2	32
225	235	268	100	13,4	24	20,5	32
250	285	320	100	14,8	25	22,7	35
280	291	320	100	16,6	25	25,4	35
315	335	370	100	18,7	25	28,6	35
355	373	430	120	21,1	30	32,2	40
400	427	482	120	23,7	33	36,3	46
450	514	585	120	26,7	46	40,9	60
500	530	585	120	29,7	46	45,4	60
560	615	685	120	33,2	60	50,8	80
630	642	685	120	37,4	64	57,2	82
710	737	805	120	42,1	70	64,6	85
800	840	900	120	47,4	85	72,6	95
900	944	1005	120	53,3	90	81,7	100
1000	1047	1110	140	59,3	100	90,2	120
1200	1245	1330	140	67,8	120		

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

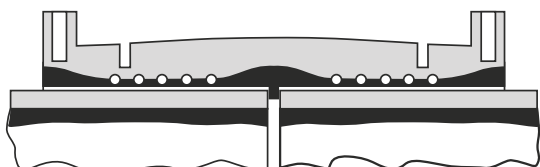
dn	DN	PN 10							PN 16						
		kołnierz				śruby			kołnierz				śruby		
		D	d6	k	b	d2	n	M	D	d6	k	b	d2	n	M
mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	mm	mm			
20	15	95	28	65	14	14	4	M12	95	28	65	14	14	4	M12
25	20	105	34	75	14	14	4	M12	105	34	75	14	14	4	M12
32	25	115	42	85	14	14	4	M12	115	42	85	14	14	4	M12
40	32	140	51	100	16	18	4	M12	140	51	100	14	18	4	M12
50	40	150	62	110	16	18	4	M16	150	62	110	16	18	4	M16
63	50	165	78	125	16	18	4	M16	165	78	125	16	18	4	M16
75	65	185	92	145	16	18	4	M16	185	92	145	16	18	4	M16
90	80	200	108	160	18	18	4	M16	200	108	160	18	18	8	M16
110	100	220	128	180	18	18	8	M16	220	128	180	18	18	8	M16
125	100	220	135	180	18	18	8	M16	220	135	180	18	18	8	M16
140	125	250	158	210	18	18	8	M16	250	158	210	18	18	8	M16
160	150	285	178	240	18	22	8	M20	285	178	240	18	22	8	M20
180	150	285	188	240	18	22	8	M20	285	188	240	18	22	8	M20
200	200	340	235	295	20	22	8	M20	340	235	295	20	22	12	M20
225	200	340	238	295	20	22	8	M20	340	238	295	20	22	12	M20
250	250	395	288	350	22	22	12	M20	405	288	355	24	26	12	M24
280	250	395	294	350	22	22	12	M20	405	294	355	24	26	12	M24
315	300	445	338	400	26	22	12	M20	460	338	410	32	26	12	M24
355	350	505	376	460	28	22	16	M20	520	376	470	35	26	16	M24
400	400	565	430	515	32	26	16	M24	580	430	525	38	30	16	M27
450	500	670	517	620	38	26	20	M24	715	517	650	46	33	20	M30
500	500	670	533	620	38	26	20	M24	715	533	650	46	33	20	M30
560	600	780	618	725	42	30	20	M27	840	618	770	55	36	20	M33
630	600	780	645	725	42	30	20	M27	840	645	770	55	36	20	M33
710	700	895	740	840	50	30	24	M27	910	740	840	63	36	24	M33
800	800	1015	843	950	56	33	24	M30	1025	843	950	74	39	24	M36
900	900	1115	947	1050	62	33	28	M30	1125	947	1050	82	39	28	M36
1000	1000	1230	1050	1160	68	36	28	M33	1255	1050	1170	90	42	28	M39
1200	1200	1455	1260	1380	80	39	32	M36	1485	1260	1390	*	48	32	M45

6. Połączenia rur ciśnieniowych PE

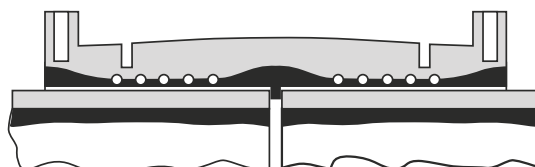
6.3. Elektrozłączki.

Elektrozłączki posiadają wbudowany elektryczny przewód grzewczy. Przepuszczenie przez ten przewód energii elektrycznej powoduje roztopienie otaczającego

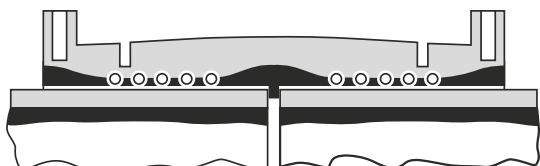
tworzywa, które stykając się z powierzchnią rurociągu również ją roztopia. Następuje połączenie elektrozłączki z rurociągiem.



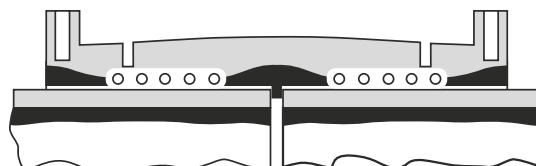
1. Umieszczenie końcówek rur w złączce przed rozpoczęciem łączenia.



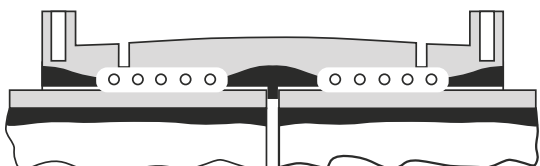
2. Włączenie energii elektrycznej.



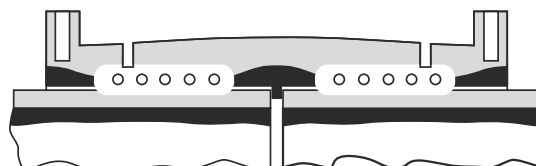
3. Materiał otaczający przewód grzewczy zaczyna się topić.



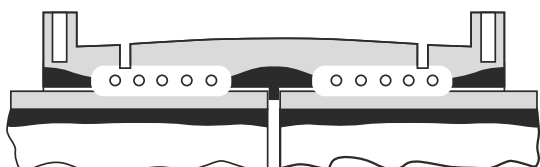
4. Przestrzeń roztopionego materiału powiększa się, zbliżając się do powierzchni rurociągu.



5. Ciepło przenika do ścian rurociągu i materiał zaczyna się topić.



6. Roztopiony materiał zastyga na granicy chłodnej strefy, uszczelniając w ten sposób obszar roztopionego materiału. Dalsze podgrzewanie powoduje podwyższenie ciśnienia w roztopionym materiale.



7. Ciśnienie roztopionego materiału osiąga optymalną wartość przy końcu fazy podgrzewania. Pokazanie się roztopionego materiału w otworach kontrolnych wskazuje na zakończenie procesu zgrzewania.



7. Próba szczelności rurociągów ciśnieniowych

7.1. Zasady ogólne

Próba szczelności rurociągów PE powinna uwzględniać zjawisko pełzania materiału. Prawidłowo prowadzona próba powinna spełniać wymagania zawarte w PN-EN 805.

Procedura próby szczelności obejmuje następujące etapy:

- fazę wstępną zawierającą okres relaksacji
- próbę spadku ciśnienia
- zasadniczą próbę szczelności

Faza wstępna:

Rurociąg należy przepłukać, odpowietrzyć wyrównując ciśnienie wewnątrz rurociągu do ciśnienia atmosferycznego i odczekać 60 min celem relaksacji naprężeń w rurociągu.

Po tym okresie należy szybko (nie dłużej niż 10 min) i w sposób ciągły podnieść ciśnienie do poziomu STP (System Test Pressure- oznaczające ciśnienie próbne; najczęściej $STP = 1,5 \times PN$). Utrzymywać ciśnienie STP przez 30 min przez dopompowywanie wody w sposób ciągły lub z krótkimi przerwami. W tym czasie należy przeprowadzić wzrokową inspekcję rurociągu aby zidentyfikować ewentualne nieszczelności. Przez okres 1h nie pompować wody i pozwolić badanemu odcinkowi na rozciąganie na skutek lepkosprężystego pełzania. Na koniec fazy wstępnej zmniejszyć poziom ciśnienia w rurociągu.

Jeśli ciśnienie podczas fazy wstępnej spadnie o ponad 30% STP, to należy przerwać próbę i ustalić przyczyny nadmiernego spadku ciśnienia, które mogą być związane z nieszczelnością lub ze zmianą temperatury. Po ustaleniu przyczyn nadmiernego spadku ciśnienia, ciśnienie należy obniżyć do ciśnienia atmosferycznego i odczekać 60 min przed powtórzeniem próby.

Zintegrowana próba szczelności

Próbkę szczelności należy wykonywać przy odpowiednio odpowietrzonym rurociągu. Zawartość powietrza we wnętrzu badanego odcinka można ocenić wykonując następujące działania:

- w końcu fazy wstępnej gwałtownie obniżyć ciśnienie w rurociągu o $Dp=10-15\%$ STP poprzez upuszczenie wody z badanego odcinka;
- dokładnie zmierzyć objętość upuszczonej wody DV
- obliczyć dopuszczalny ubytek wody DVmax

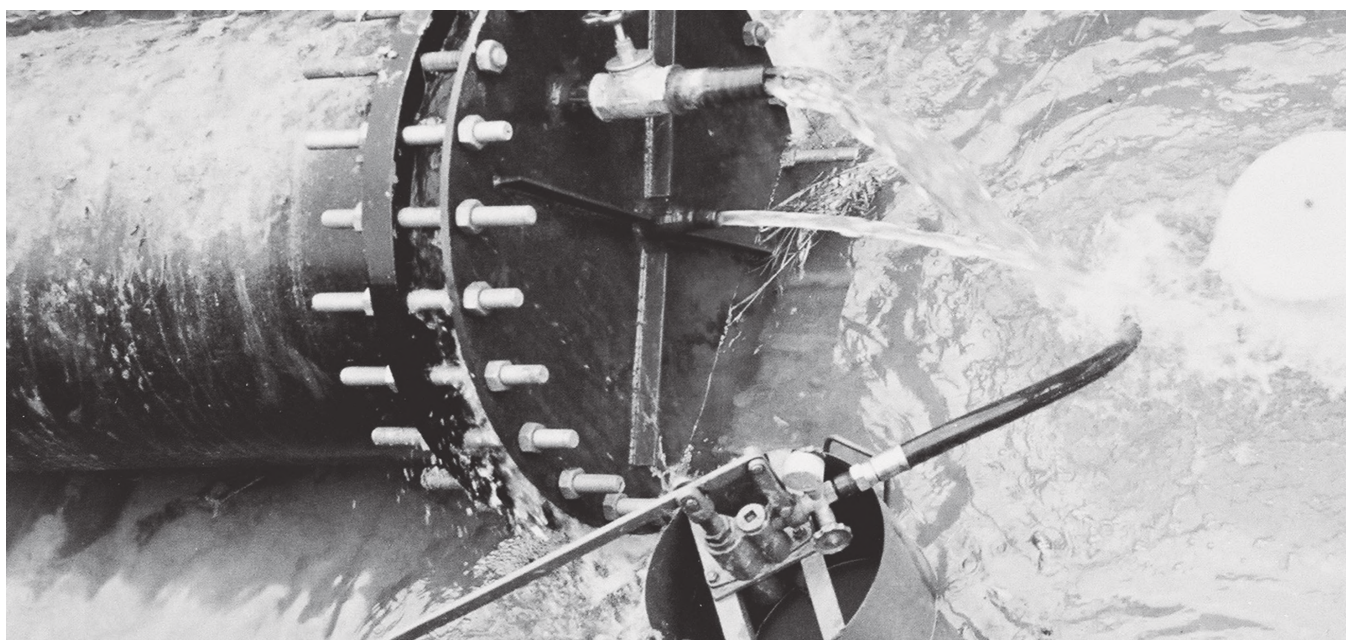
$$DV_{max} = 1,2 \times D_p \times (1/E_w + D/(e+Er))$$

Jeżeli DV jest większe niż DVmax to należy przerwać badanie i po obniżeniu ciśnienia do ciśnienia atmosferycznego jeszcze raz dokładnie odpowietrzyć rurociąg.

Zasadnicza próba szczelności

Lepkosprężyste pełzanie materiału wywołane naprężeniami ciśnienia próbnego STP jest przerwane przez zintegrowany test spadku ciśnienia. Nagły spadek ciśnienia wewnętrznego prowadzi do kurczenia się rurociągu PE. Należy przez okres ok. 30 min (zasadnicza próba szczelności) obserwować i rejestrować wzrost ciśnienia wewnętrznego wywołany tym kurczeniem się rurociągu. Zasadniczą próbę szczelności można uznać za udaną jeśli linia zmian ciśnienia wykazuje tendencję wzrostową i w ciągu 30 min nie wykazuje spadku. Jeżeli linia zmian ciśnienia wykaże spadek oznacza to nieszczelności badanego odcinka.

Wówczas zaleca się sprawdzenie wszystkich połączeń mechanicznych przed inspekcją wizualną połączeń zgrzewanych i po usunięciu nieszczelności całą próbę (włącznie z fazą wstępną) powtórzyć.



8. Relining rurociągów ciśnieniowych rurami PE

Relining polega na wprowadzeniu do remontowanego przewodu połączonych ze sobą rur PE, które w ten sposób tworzą nową, całkowicie szczelny przewód.. W ciągu ostatnich 10 lat problem usprawnienia rurociągów nabierał coraz większego znaczenia. Służące różnym potrzebom systemy rurociągów muszą przez cały okres użytkowania spełniać określone wymagania natury eksploatacyjnej (fizycznej, chemicznej, biologicznej i biochemicznej). Zależy to od wieku czynników, takich,

jak: właściwe projektowanie, wykonawstwo, rodzaj użytych materiałów i okres eksploatacji. Utrzymanie rurociągów w ruchu wymaga też dobrze zorganizowanego zarządzania. Poza kontrolą stanu urządzeń i ich bieżącą konserwacją, może zająć potrzeba wykonania robót usprawniających. Usprawnienia przeprowadza się, kiedy zachodzi potrzeba polepszenia parametrów pracy przewodów. Może to oznaczać konieczność naprawy, odnowy lub wymiany starych rurociągów.

Naprawa rurociągów ciśnieniowych rurami PE można prowadzić w zakresie średnic od 90 do 1800mm. Tego typu renowacji poddawane są najczęściej rurociągi STALOWE lub ŻELIWNIE. Celem renowacji jest

przywrócenie parametrów technicznych (ciśnienie, przepustowość), które uległy pogorszeniu ze względu na korozję, uszkodzenia struktury przewodu lub rozszczelnienie połączeń.

8.1. Prace przygotowawcze

- Analiza przebiegu trasy rurociągu na podstawie projektu oraz profilu istniejącego rurociągu i wizji lokalnej
- Określenie lokalizacji oraz liczby wykopów montażowych. Wielkość wykopów montażowych będzie zależna od głębokości posadowienia rurociągu oraz wyboru rodzaju umocnienia wykopu: wykop szerokoprzestrzenny lub wąskoprzestrzenny.
- Ocena stanu technicznego odcinka rurociągu przeznaczonego do naprawy (czy nie ma przesunięć poprzecznych rur, zapadnięć, deformacji przekroju itp.).
- Oczyszczenie rurociągu z ewentualnych załamania konstrukcji, nawisów korozyjnych, nawisów pospawalniczych itd.
- Wybór rury PE o odpowiednich parametrach technicznych – średnica zewnętrzna, przepustowość, klasa ciśnienia
- Kalibracja starego przewodu w celu upewnienia się, czy wciągania rura PE ma odpowiedni rozmiar zewnętrzny
- Podział prac naprawczych na etapy (rurociąg należy podzielić na odcinki prostoliniowe, które będą poddane renowacji. Zasadniczo punkty, w których następuje zmiana kierunku są punktami wprowadzenia nowej rury)
- Wybór miejsc wprowadzenia

8.2. Zakres robót montażowych

- Wykonanie wykopów punktowych dla wprowadzenia kamery CCTV wraz z wycięciem fragmentów istniejących rur
- Kamerowanie CCTV trasy rurociągu
- Wykonanie wykopów montażowych
- Odwodnienie wykopów (jeśli zaistnieje taka potrzeba)
- Czyszczenia mechaniczne czyszczakiem stalowym (w przypadku znacznych miejscowych narośli na ściankach rurociągu, które mogłyby uniemożliwić lub znacznie utrudnić wciąganie rurociągu PE).
- Kalibracja rurociągu:
- Wykonanie głowicy rurociągu do rury PE
- Przeciąganie głowicy PE z odcinkiem rurociągu PE o długości kilku metrów
- Zgrzewanie rur w odcinki odpowiadające długości rurociągu poddanego renowacji między kolejnymi wykopami montażowymi
- Wciąganie rurociągów
- Odcięcie głowicy po przeciągnięciu odcinka rur między wykopami, dogrzenie końcówek kołnierzowych z luźnymi kołnierzami stalowymi
- Montaż kształtek (trójników i kolan) w wykopach oraz połączenie wciągniętych odcinków rur na kołnierze
- Ewentualne wykonanie punktów stałych rurociągów przez obetonowanie bloków oporowych
- Próba ciśnieniowa rurociągu
- Wprowadzenie masy iniekcyjnej w przestrzeń między rurą (jeśli jest takie zalecenie)
- Zасыpywanie wykopów
- Rekonstrukcja nawierzchni

8. Relining rurociągów ciśnieniowych rurami PE

8.3. Standardowy sprzęt potrzebny do wykonania reliningu

- Zgrzewarka Uponor Infra (w zależności od DN rury PE)
- Zadaszenie – namiot ochronny dla zgrzewarki przed warunkami atmosferycznymi pełniący swoją funkcję zarówno podczas postoju jak i wykonywania prac
- Rolki do przesuwania rur
- W zależności od warunków gruntowych – płyta do posadowienia zgrzewarki
- Koparka przedsiębiorna
- Ciągnik
- Generator prądu
- Dźwig 6 ton (lub 12 ton w zależności od dostępu do wykopów)
- Wciągarka
- Kompresor
- Młoty pneumatyczne

8.4. Połączenia rur

Rury PE ciśnieniowe łączone są ze sobą metodą zgrzewania doczołowego (opis: patrz rozdział Metody Połączeń). Wykonane w ten sposób

połączenie jest jednorodne, szczelne i charakteryzuje się tą samą wytrzymałością na rozrywanie, co rura PE.

8.5. Głowice do wciągania rur

Rurociąg PE należy wciągać poprzez specjalnie skonstruowaną głowicę prowadzącą, wykonaną ze stalowych elementów (łączyących uchwyt mocujący

linę wciągającą z rurą PE) połączonych przez skręcanie z końcówką rury PE. Przykładowe głowice do reliningu przedstawiono na fotografii.



Po wciągnięciu całego odcinka rury PE do naprawianej rury, pomiędzy wykopami startowym i końcowym głowica jest odcinana od wciągniętej rury i może być wykorzystana ponownie przez jej dogrzenie do następnego wciąganego odcinka.



W trakcie wciągania należy zabezpieczyć rury PE przed kontaktem z ostrymi krawędziami rury osłonowej i innymi ostrymi elementami, jeżeli takie mogą wystąpić na drodze przeciąganych rur.

8.6. System Uponor Infra i sposób montażu

Sposób wykonania i wielkość komory montażowej zależy od sposobu montażu rury PE w naprawianym przewodzie. Rury PE można łączyć na zewnątrz wykopu w długie odcinki i po połączeniu wciągać jednorazowo cały połączony przewód do starego rurociągu

lub można te rury łączyć w wykopie montażowym i po każdym dogrzeniu odcinka rury (przeważnie o długości kilku metrów) łączony rurociąg PE wciągać do zniszczonego przewodu. Sposób prowadzenia prac zależy od warunków terenowych.

System Uponor Infra	Sposób montażu
WehoPipe	<ul style="list-style-type: none">• Łączenie rur na zewnątrz komory montażowej (zewnątrz wykopu)• Łączenie rur wewnątrz wykopu (komory montażowej)

8. Relining rurociągów ciśnieniowych rurami PE

8.7. Łączenie rur na zewnątrz wykopu (komory montażowej)

Kryterium wyboru metody łączenia rur na zewnątrz wykopu:

- Potrzeba naprawy długich odcinków kanalizacji – duża odległość pomiędzy studzienkami lub ich brak
- Dostępność miejsca (pasa gruntu o odpowiedniej długości) do łączenia rur na zewnątrz wykopu
- Brak możliwości całkowitego odwodnienia/lub wyłączenia kolektora z eksploatacji
- Szybkość prowadzenia prac – niezależnienie czasowe i funkcyjne procesu zgrzewania od reszty prac przygotowawczo-remontowych

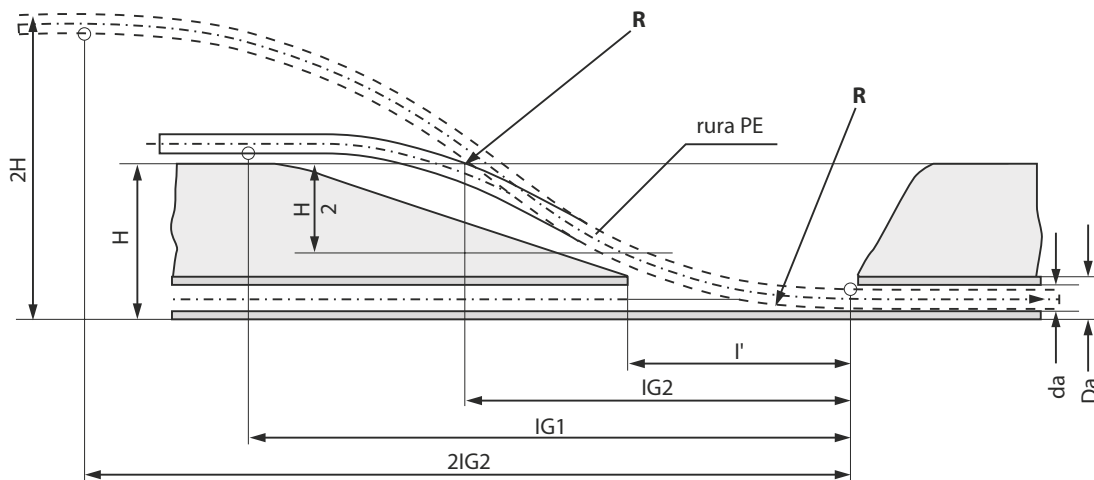
Technologia ta polega na wciągnięciu rury PE o średnicy zewnętrznej mniejszej od rzeczywistej średnicy wewnętrznej starego przewodu z uwzględnieniem przewężenia, deformacji i przesunięcia.

System	Zalecana długość wprowadzanych odcinków
WehoPipe	W zależności od stanu starego rurociągu i parametrów wprowadzanej rury (DN, SDR) możliwe jest wciąganie odcinków o długościach nawet powyżej 1000 m.

Zazwyczaj miejsca wykonania komory montażowej wyznacza się w punktach zmiany kierunku trasy. Wykonuje się tam wykop startowy o długości uzależnionej od głębokości posadowienia rurociągu i dopuszczalnego promienia gięcia rury. Z jednego wykopu startowego może odbywać się wprowadzanie

połączonego rurociągu w dwóch kierunkach. W przypadku wciągania rur długimi odcinkami zgrzewanymi na powierzchni terenu konieczne jest zachowanie wymiarów wykopów / lub komór startowych/ pozwalających zachować dopuszczalny promień gięcia rurociągu.

Rys.8.7.1. Schemat profilu wykopu startowego wprowadzania długiego odcinka rur PE do starego przewodu



Minimalny promień gięcia R dla rur PE

R= 30 DN	Krótkookresowy (na czas montażu)
R= 50 DN	Długookresowy (wygięcie dłuższe niż 12h)

Siła ciągu dla rurociągów PE.

Maksymalna siła z jaką można rurociąg PE ciągnąć bez ryzyka uszkodzenia go, jest obliczana na podstawie naprężenia projektowanego tzw σ_d . (patrz rozdział Ciśnienie Nominalne)

Dla C= 1,25 (wg ISO 12 126)	MRS 10,0 [MPa]	MRS 8,0 [MPa]
σ_d	8,0	6,3

/podane wartości dotyczą temp. 20st. C/

8. Relining rurociągów ciśnieniowych rurami PE

Dopuszczalna siła ciągu:

$$F_{\max} = \sigma_d A$$

gdzie: A – powierzchnia przekroju ścianki rury.

Przy określaniu sił potrzebnych do wciągania rury należy uwzględnić masę rury oraz współczynnik tarcia rur o podłoże.

$$F = q L (\mu \cos \varphi \pm \sin \varphi)$$

gdzie:

q – jednostkowa waga rury [N/m]

L – długość wciąganego odcinka

μ – wsp. tarcia (max.0,8)

φ – kąt spadku rurociągu

Wymiary wykopu startowego

Wymiary wykopu startowego są funkcją głębokości posadowienia rurociągu i jego promienia gięcia: gdzie H – głębokość posadowienia rurociągu R – promień gięcia	$L_{G1} = \sqrt{H(4R - H)}$
W przypadku możliwości podniesienia wprowadzanej rury na wys. H powyżej rzędnej terenu długość wykopu startowego może ulec zredukowaniu do wartości:	$L_{G1} = \sqrt{H(2R - H)}$
Długość otwartego kanału:	$L' = \sqrt{Dn(2R - Dn)}$
Kąt spadku wykopu startowego można określić z zależności:	$\text{tg } \varphi = (H - Dn) / (L_G - L')$

8.8. Łączenie rur w wykopie (w komorze montażowej)

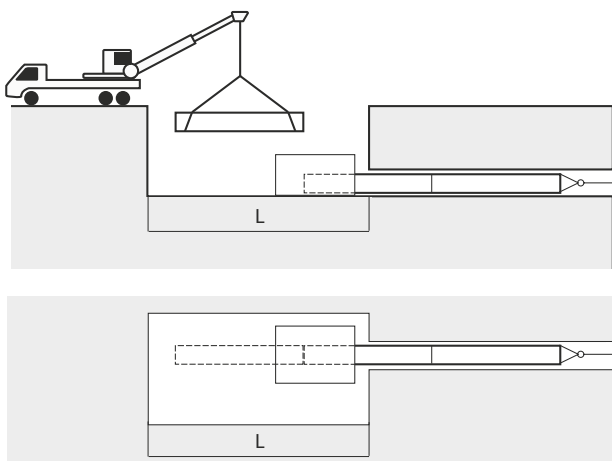
W sytuacji, gdy brakuje miejsca na wykonanie długiego odcinka na zewnątrz wykopu, rury należy łączyć wewnątrz uprzednio przygotowanej komory montażowej.

W tym celu należy pamiętać o:

- Prawidłowym zabezpieczeniu ścian wykopu
- Prawidłowym posadowieniu maszyny do zgrzewania (płyta fundamentowa)

- Zapewnieniu minimalnych operacyjnych wymiarów komory (wymiary zgrzewanych odcinków rur- standardowo 12,5m, oraz wymiary maszyny i ciągi komunikacyjne dla spawaczy)
- Zadaszeniu zgrzewarki przed trudnymi warunkami atmosferycznymi zarówno na czas zgrzewania jak i czas postoju
- Stałym odwodnieniu wykopu

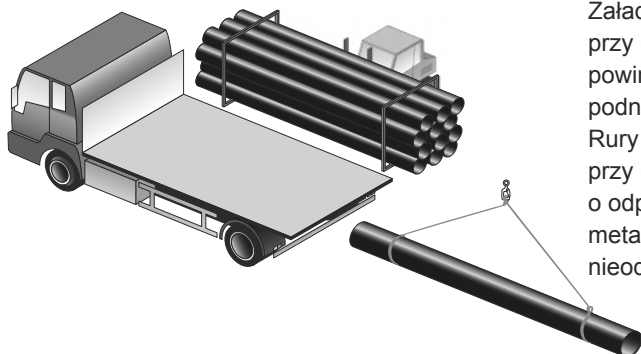
Schemat montażu rur w wykopie lub komorze montażowej przedstawiono na poniższym schemacie:



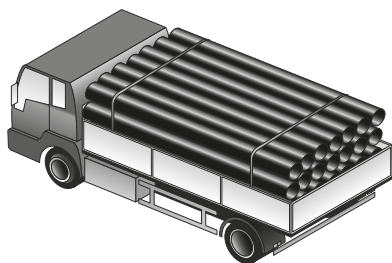
Parametry wykonania prac typu: siła ciągu, typ sprzętu analogicznie jak w przypadku łączenia rur na zewnątrz wykopu.

9. Transport i składowanie rur PE

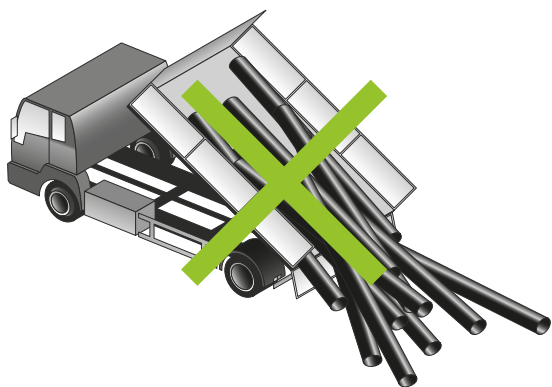
9.1. Transport



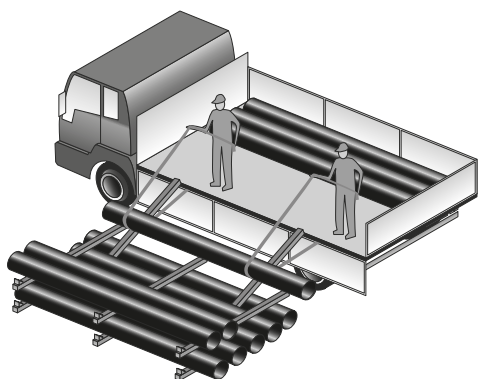
Załadunek i rozładunek rur w paletach należy wykonywać przy użyciu wózków widłowych o gładkich widłach. Palety powinny być nieuszkodzone i na tyle mocne, aby podczas podnoszenia nie stwarzały zagrożenia dla pracowników. Rury ładowane pojedynczo muszą być przenoszone przy użyciu miękkich zawiesz- typu pasy poliestrowe o odpowiedniej wytrzymałości. Pręty, haki, łańcuchy metalowe mogą doprowadzić do uszkodzenia w przypadku nieodpowiedniego obchodzenia się z rurą.



Do celów transportowych powinny być stosowane ciężarówki o płaskiej platformie lub specjalne pojazdy do transportu rur. Na platformie nie powinny znajdować się żadne gwoździe bądź inne wystające elementy. Wszelkie burty boczne powinny być płaskie i pozbawione ostrych krawędzi. Rury o największej średnicy powinny być ułożone na spodzie stosu transportowego bezpośrednio na platformie ciężarówki. Układane pojedynczo rury powinny być przekładane listwami drewnianymi tak, aby można było przeciągnąć pomiędzy nimi zawieszia do ich rozładunku. W przypadku załadunku rur kielichowych, należy tak ułożyć stos rur, aby nie następował bezpośredni kontakt między kielichami poszczególnych rur. Rury należy mocno związać, aby uniknąć przesuwania podczas transportu. Rury nie powinny być przewieszane poza platformę pojazdu na długość nie większą niż pięciokrotność ich nominalnej średnicy i nie więcej niż 2m (mniejsza wartość miarodajna)



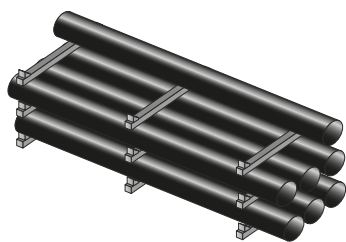
Rur nie wolno zrzucać na miejsce składowania w sposób niekontrolowany. Rury powinny być przenoszone na skład. Zrzucanie rur może powodować ich mechaniczne uszkodzenia. Wytrzymałość na uderzenia rur plastikowych maleje wraz ze spadkiem temperatury otoczenia, co wiąże się z koniecznością zachowania szczególnej ostrożności podczas rozładunku w niskich temperaturach.



Do rozładunku ręcznego można wykorzystać zawieszia poliestrowe. Rury rozładowywane ręcznie nie mogą swoim ciężarem powodować zagrożenia dla pracowników. W przypadku rur ciężkich do rozładunku należy stosować dźwig i odpowiednie zawieszia. Podczas rozładunku nie wolno dopuścić, aby ktokolwiek znajdował się pod rurą lub na drodze jej przenoszenia.

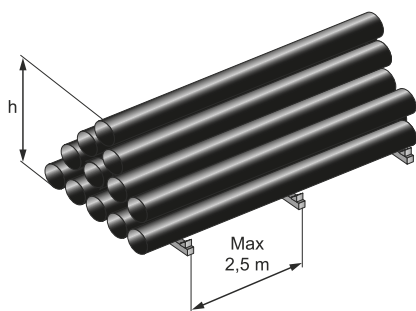
9. Transport i składowanie rur PE

9.2. Składowanie

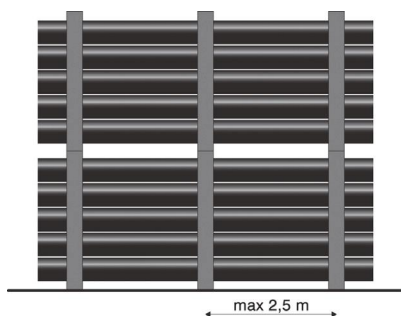


Skład rur powinien być dostępny dla pracowników np. kontroli jakości. Skład powinien być również dostępny dla celów łatwego dalszego transportu. Nie wolno składować rur w pobliżu ognia, źródeł ciepła lub niebezpiecznych substancji typu: paliwa, rozpuszczalniki, oleje, lakiery itd.

Rury powinny być składowane w taki sposób jak podczas transportu, z przekładkami drewnianymi. Przekładki drewniane powinny być płaskie i odpowiednio szerokie, aby nie powodowały deformacji rury. Rury o największych średnicach należy składować najniżej.



Rury nie powinny być składowane bezpośrednio na podłożu. W tym celu należy zastosować podkładki analogicznie jak te stosowane pomiędzy rurami. Odstępy pomiędzy podkładkami nie powinny przekraczać 2,5m. Podłoże składu powinno być płaskie i pozbawione ostrych przedmiotów. Wysokość h składowanych rur nie powinna przekraczać 3-4 m.



10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Oznaczenia:	PE-HD - polietylen o dużej gęstości, PE-MD - polietylen o średniej gęstości PP - polipropylen s.s. - roztwór nasycony	1 - odporne 2 - częściowo odporne 3 - nieodporne
-------------	--	--

Zamieszczone niżej dane pochodzą z dokumentacji ISO TR 10358, ISO TR 7472, 7474.

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Aceton	CH ₃ -CO-CH ₃	100	20	2	1
			60	2	1
Aldehyd benzoesowy	C ₆ H ₅ CHO	100	20	2	
			60	3	
Aldehyd octowy	CH ₃ CHO	100	20	1	
			60	2	
Alkohol allilowy	CH ₂ =CH-CH ₂ OH	96	20	1	
			60	1	
Alkohol amyłowy	C ₅ H ₁₁ OH	100	20	1	1
			60	2	1
Alkohol furfuryłowy	CHC CH ₂ OH	100	20	1	
			60	2	
Ałun	Al ₂ (SO ₄) ₃ K ₂ SO ₄ -4H ₂ O	<10	20	1	1
			60	1	
Amoniak (roztw.)	NH ₃	<10	20	1	1
			60	1	
Amoniak (gaz)	NH ₃	100	20	1	1
			60	1	
Amoniak (ciekły)	NH ₃	100	20	1	
			60	1	
Anilina	C ₆ H ₅ -NH ₂	100	20	1	1
			60	2	1
Azotan amonu	NH ₄ NO ₃	s.s.	20	1	1
			60	1	1
Azotan magnezu	Mg(NO ₃) ₂		20	1	
			60	1	
Azotan miedzi	Cu(NO ₃) ₂		20	1	1
			60	1	1
Azotan niklu	Ni(NO ₃) ₂		20	1	1
			60	1	1
Azotan potasu	KNO ₃		20	1	1
			60	1	1
Azotan rtęci	Hg(NO ₃) ₂	>10	20	1	1
			60	1	1
Azotan sodu	NaNO ₃		20	1	1
			60	1	1
Azotan srebra	AgNO ₃		20	1	1
			60	1	1
Azotan wapnia	Ca(NO ₃) ₂		20	1	1
			60	1	1
Azotan żelazawww	Fe(NO ₃) ₃	>10	20	1	
			60	1	
Azotyn sodu	NaNO ₂		20	1	
			60	1	
Benzen	C ₆ H ₆	100	20	2	2
			60	3	3
Benzyna			20	1	3
			60	2	3
Benzoesan sodu	C ₆ H ₅ COONa		20	1	1
			60	1	
Bezwodnik octowy	CH ₃ CO-O-COCH ₃	100	20	1	1
			60	2	
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇		20	1	1
			60	1	1
Brom (gaz)	Br ₂	100	20	3	3
			60	3	3
Brom (ciecz)	Br ₂	100	20	3	3
			60	3	3
Bromek potasu	KBr		20	1	1
			60	1	1
Bromek sodu	NaBr		20	1	
			60	1	

10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Bromian potasu	KBrO ₃		20	1	1
			60	1	1
Butan	C ₄ H ₁₀	100	20	2	1
			60	2	
Butanol	C ₄ H ₉ OH	100	20	1	1
			60	1	2
Chlor (roztwór)	Cl ₂		20	2	1
			60	3	2
Chlor (gaz)	Cl ₂	100	20	2	3
			60	3	3
Chloran potasu	KClO ₃		20	1	1
			60	1	1
Chloran wapnia	Ca(ClO ₃) ₁₀		20	1	
			60	1	
Chloran sodu	NaClO ₃		20	1	1
			60	1	
Chlorek amonu	NH ₄ Cl	s.s.	20	1	1
			60	1	
Chlorek baru	BaCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek cynku	ZnCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek cyny	SnCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek glinu	AlCl ₃	s.s.	20	1	
			60	1	
Chlorek magnezu	MgCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek miedzi	CuCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek niklu	NiCl ₂		20	1	1
			60	1	
Chlorek rtęci	HgCl ₂		20	1	1
			60	1	1
Chlorek potasu	KCl		20	1	1
			60	1	
Chlorek sodu	NaCl		20	1	1
			60	1	1
Chlorek tionylu	SOCl ₂	100	20	3	
			60	3	
Chlorek wapnia	CaCl ₂		20	1	
			60	1	
Chlorek żelaza	FeCl ₃		20	1	
			60	1	
Chloroform	Cl ₃ CH	100	20	3	2
			60	3	3
Chlorometan	CH ₃ Cl	100	20	2	
			60		
Chromian potasu	K ₂ CrO ₄		20	1	1
			60	1	1
Chromianka	CrO ₃ ·H ₂ O	>10	20	1	1
			60	2	1
Cyjanek potasu	KCN	>10	20	1	1
			60	1	
Cyjanek rtęci	Hg(CN) ₂		20	1	1
			60	1	1
Cyjanek sodu	NaCN		20	1	
			60	1	
Cyjanek srebra	AgCN		20	1	
			60	1	
Cyjanowodór	HCN	10	20	1	
Cykloheksanol	C ₆ H ₁₁ OH	100	20	1	1
			60	2	3
Cykloheksanon	C ₆ H ₁₀ O	100	20	2	2
			60	2	3
Dekalina	C ₁₀ H ₁₈	100	20	1	3
			60	2	3
Dekstryna	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	>10	20	1	1
			60	1	1

10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Drożdże		>10	20	1	
			60	1	
Dwuchromian potasu	K ₂ CrO ₄		20	1	
			60	1	
Dwuoksolan	C ₄ H ₃ O ₂	100	20	1	2
			60	1	2
Dwusiarczek węgla	CS ₂	100	20	2	1
			60	3	3
Dwutlenek chloru	ClO ₂	100	20	1	1
			60	1	1
Dwutlenek siarki	SO ₂	100	20	1	1
			60	1	
Etanol	C ₂ H ₅ OH	40	20	1	1
			60	2	1
Eter dietylowy	C ₂ H ₅ -O-C ₂ H ₅	100	20	2	1
			60	3	2
Fenol	C ₆ H ₅ OH	>10	20	2	1
			60	2	
Fluor	F ₂	100	20	3	
			60	3	
Fluorek amonu	NH ₄ F	>10	20	1	1
			60	1	
Fluorek glinu	AlF ₃	s.s.	20	1	
			60	1	
Fluorek potasu	KF		20	1	1
			60	1	1
Fluorek sodu	NaF		20	1	
			60	1	
Formaldehyd	HCHO	40	20	1	1
			60	1	
Ftalan oktylu	C ₆ H ₄ (COOC ₈ H ₁₇) ₂	100	20	1	2
			60	2	2
Glicerol	CHOH	100	20	1	1
	CH ₂ OH		60	1	1
Glikol etylenowy	OHCH ₂ CH ₂ OH	100	20	1	1
			60	1	
Glukoza	C ₆ H ₁₂ O ₆		20	1	1
	CH ₂ OH		60	1	1
Heptan	C ₇ H ₁₆	100	20	1	3
			60	3	3
Hydrohinon	C ₆ H ₄ (OH) ₂		20	1	
			60	1	
Ksylen	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	100	20	2	2
Kwas adypinowy	COOH(CH ₂) ₄ COOH	s.s.	20	1	
			60	1	
Kwas arsenowy	H ₃ AsO ₄		20	1	
			60	1	
Kwas azotowy	HNO ₃	25	20	1	1
			60	1	
Kwas azotowy	HNO ₃	50	20	2	2
			60	3	3
Kwas azotowy	HNO ₃	75	20	3	3
			60	3	3
Kwas azotowy	HNO ₃	100	20	3	3
			60	3	3
Kwas benzoesowy	C ₆ H ₅ COOH		20	1	1
			60	1	
Kwas bromowodorowy	HBr	10	20	1	1
			60	1	2
Kwas borowy	H ₃ BO ₃		20	1	1
			60	1	
Kwas chlorooctowy	ClCH ₂ -COOH	>10	20	1	1
			60	1	
Kwas cytrynowy	HOO-CH ₂ -C(H)		20	1	1
	(COOH)-CH ₂ COOH		60	1	1
Kwas fluorowodorowy	HF	4	20	1	1
			60	1	
Kwas fluorowodorowy	HF	60	20	1	2
			60	2	

10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Kwas glukonowy	OHCH ₂ COOH	>10	20	1	1
			60	1	
Kwas maleinowy	HOOCCH=CHCOOH		20	1	1
			60	1	1
Kwas masłowy	C ₃ H ₇ COOH	100	20	1	
Kwas mlekowy	CH ₃ CH(OH)COOH	100	20	1	1
			60	1	1
Kwas mrówkowy	HCOOH	50	20	1	1
			60	1	1
Kwas mrówkowy	HCOOH	98-100	20	1	1
	CH CH		60	1	3
Kwas nikotynowy		<=10	20	1	
			60		
Kwas octowy	CH ₃ COOH	10	20	1	1
			60	1	1
Kwas octowy	CH ₃ COOH	96	20	1	1
			60	2	2
Kwas oleinowy	C ₈ H ₁₇ CH=CH- (CH ₂) ₇ COOH	100	20	1	2
			60	2	3
Kwas ortofosforowy	H ₃ PO ₄	50	20	1	
			60	1	
Kwas pikrynowy	(NO ₂) ₃ C ₆		20	1	1
			60		
Kwas propionowy	CH ₃ CH ₂ COOH	50	20	1	1
			60	1	
Kwas propionowy	CH ₃ CH ₂ COOH	100	20	1	1
			60	2	
Kwas salicylowy	C ₆ H ₄ OHCOOH		20	1	
			60	1	
Kwas siarkawy	H ₂ SO ₃	30	20	1	1
			60	1	
Kwas siarkowy	H ₂ SO ₄	10	20	1	1
			60	1	1
Kwas siarkowy	H ₂ SO ₄	50	20	1	1
			60	1	1
Kwas siarkowy	H ₂ SO ₄	98	20	1	2
			60	3	3
Kwas siarkowy dymiący	H ₂ SO ₄	fuming	20	3	
			60	3	
Kwas solny	HCl	10	20	1	1
			60	1	1
Kwas solny	HCl	Concentr.	20	1	1
			60	1	2
Kwas szczawiowy	(COOH) ₂		20	1	1
			60	1	2
Kwas toliłowy	C ₆ H ₃ COOH		20	2	
			60		
Kwas winowy	COOH(CHOH) ₂ COOH	>10	20	1	1
			60	1	1
Melasa		using. conc.	20	1	
			60	1	
Metanol	CH ₃ OH	100	20	1	1
			60	1	2
Mleko	(Krowie i owcze)	100	20	1	1
			60	1	1
Mocz			60	1	
Mocznik	(NH ₂) ₂ CH	>10	20	1	1
			60	1	
Nadchloran potasu	KClO ₄		20	1	1
			60	1	1
Nadmanganian potasu	KMnO ₄	20	20	1	1
			60	1	
Nadsiarczan potasu	K ₂ S ₂ O ₈	20	20	1	1
			60	1	
Ocet winny	see vinegar		20	1	1
			60	1	1
Octan amylu	CH ₃ COO(CH ₂) ₄ CH ₃	100	20	2	2
			60	3	

10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Octan etylu	CH ₃ COOC ₂ H ₅	100	20	1	2
			60	3	3
Octan srebra	CH ₃ COOAg		20	1	1
			60	1	1
Oleje i smary			20	1	
			60	2	
Oleje mineralne			20	1	
			60	2	
Ortofosforan sodu	Na ₃ PO ₄		20	1	
			60	1	
Ortofosforan potasu	K ₃ PO ₄		20	1	
			60	1	
Ozon	O ₃	100	20	2	
			60	3	
Perhydrol	H ₂ O ₂	30	20	1	1
			60	1	2
Perhydrol	H ₂ O ₂	90	20	1	
			60	3	
Pirydyna	C ₅ H ₅ N	100	20	1	2
			60	2	
Piwo			20	1	
			60	1	
Podchloryn potasu	KClO	>10	20	1	
			60	2	
Podchloryn sodu	NaClO	5	20	1	1
			60	1	1
Podchloryn wapnia	Ca(ClO) ₂ 4H ₂ O	<10	20	1	
			60	1	
Rtęć	Hg	100	20	1	1
			60	1	1
Siarczan amonu	(NH ₄) ₂ SO ₄	s.s.	20	1	1
			60	1	1
Siarczan baru	BaSO ₄		20	1	1
			60	1	
Siarczan cynku	ZnSO ₄		20	1	1
			60	1	1
Siarczan glinu	Al ₂ SO ₄	s.s.	20	1	
			60	1	
Siarczan miedzi	CuSO ₄		20	1	1
			60	1	1
Siarczan niklu	NiSO ₄		20	1	1
			60	1	1
Siarczan potasu	K ₂ SO ₄		20	1	1
			60	1	
Siarczan sodu	Na ₂ SO ₄		20	1	1
			60	1	1
Siarczan wapnia	CaSO ₄		20	1	
			60	1	
Siarczan żelaza	Fe ₂ (SO ₄) ₃		20	1	
			60	1	
Siarczek amonu	(NH ₄) ₂ S	>10	20	1	
			60	1	
Siarczek baru	BaS	>10	20	1	
			60	1	
Siarczek potasu	K ₂ S	>10	20	1	
			60	1	
Siarczek wapnia	CaS	<10	20	2	
			60	2	
Siarczyn sodu	Na ₂ SO ₃		20	1	1
			60	1	
Siarkowodór (gaz)	H ₂ S	100	20	1	1
			60	1	
Tanina	C ₁₄ H ₁₀ O ₉	>10	20	1	
Tetrachlorek węgla	CCl ₄	100	20	2	3
			60	3	3
Tlen	O ₂	100	20	1	1
			60	2	
Tlenek cynku	ZnO		20	1	
			60	1	

10. Tablice odporności chemicznej PE i PP

Związek:	Wzór:	Zaw. (%)	Temp. (°C)	PE	PP
Tlenek węgla	CO	100	20	1	
			60	1	
Toluen	C ₆ H ₅ -CH ₃	100	20	2	2
			60	3	3
Trójchlorek antymonu	SbCl ₃	90	20	1	
			60	1	
Trójchlorek fosforu	PCl ₃	100	20	1	
			60	2	
Trójchloroetylen	Cl ₂ C=CHCl	100	20	3	
			60	3	
Trójetanoloamina	N(CH ₂ CH ₂ OH) ₃	>10	20	1	1
			60	2	
Trójtlenek siarki	SO ₃	100	20	3	
			60	3	
Węglan baru	BaCO ₃		20	1	1
			60	1	1
Węglan cynku	ZnCO ₃		20	1	
			60	1	
Węglan magnezu	MgCO ₃		20	1	1
			60	1	1
Węglan potasu	K ₂ CO ₃		20	1	1
			60	1	
Węglan sodu	Na ₂ CO ₃		20	1	1
			60	1	1
Węglan wapnia	CaCO ₃		20	1	1
			60	1	1
Wina i alkohole (stężenia handlowe)			20	1	1
			60	1	1
Woda	H ₂ O		20	1	1
			60	1	1
Woda królewska	HCl + HNO ₃	3/1	20	3	3
			60	3	3
Wodór	H ₂	100	20	1	1
			60	1	
Wodorofosforan sodowy	Na ₂ HPO ₄		20	1	
			60	1	
Wodorosiarczan potasowy	KHSO ₄		20	1	
			60	1	
Wodorosiarczyn potasowy	KHSO ₃	>10	20	1	
			60	1	
Wodorosiarczyn sodowy	NaHSO ₃	>10	20	1	1
			60	1	
Wodorotlenek baru	Ba(OH) ₃		20	1	1
			60	1	1
Wodorotlenek magnezu	Mg(OH) ₂		20	1	
			60	1	
Wodorowęglan potasu	KHCO ₃		20	1	
			60	1	
Wodorotlenek sodowy	NaOH	>10	20	1	1
			60	1	1
Wodorotlenek sodowy	NaOH	40	20	1	1
			60	1	1
Wodorotlenek potasowy	KOH	10	20	1	1
			60	2	
Wodorotlenek potasowy	KOH	>10	20	1	
			60	1	
Wodorotlenek wapnia	Ca(OH) ₂		20	1	1
			60	1	1
Wodorowęglan sodowy	NaHCO ₃		20	1	1
			60	1	1
Wywoływacz fot.		norm. conc.	20	1	
			60	1	
Żelazocyjanek potasu	K ₃ Fe(CN) ₆		20	1	
			60	1	
Żelazocyjanek potasu	K ₂ Fe(CN) ₆		20	1	
			60	1	
Żelazocyjanek sodu	N ₃ Fe(CN) ₆		20	1	
			60	1	
Żelazocyjanek sodu	N ₄ Fe(CN) ₆		20	1	
			60	1	

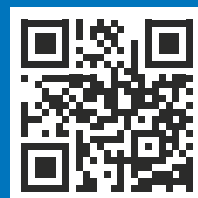
uponor

Uponor Infra Sp. z o.o.

ul. Kolejowa 5/7
01-217 Warszawa
POLAND
T +48 22 864 52 25
F +48 22 835 00 59

Dział Sprzedaży

ul. Przemysłowa 5
97-410 Kleszczów
POLAND
T +48 44 731 34 00
F +48 44 731 34 10



www.uponor.pl/infra