

## SPIS TREŚCI

1. Obliczenia dla rury proj. PE Ø355 – istn. stal DN500
2. Obliczenia dla rury proj. PE Ø280 – istn. stal DN400
3. Obliczenia dla rury proj. PE Ø250 – istn. stal DN350
4. Obliczenia dla rury proj. PE Ø225 – istn. stal DN350
5. Obliczenia dla rury proj. PE Ø225 – istn. żeliwo DN300
6. Obliczenia dla rury proj. PE Ø200 – istn. żeliwo DN300
7. Obliczenia dla rury proj. PE Ø200 – istn. żeliwo DN250
8. Obliczenia dla rury proj. PE Ø180 – istn. żeliwo DN250
9. Obliczenia dla rury proj. PE Ø140 – istn. żeliwo DN250
10. Obliczenia dla rury proj. PE Ø180 – istn. żeliwo DN200
11. Obliczenia dla rury proj. PE Ø140 – istn. żeliwo DN200
12. Obliczenia dla rury proj. PE Ø125 – istn. żeliwo DN150



# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Stal				
Średnica nominalna	ND	=	500	mm
Średnica wewnętrzna	di	=	500,00	mm
Grubość ścianki	t	=	20,0	mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35	
Moduł sprężystości	ER	=	50000	N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/8bZ	=	200,0/200,0	N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ			III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE				
Promień (zewnątrzny)	rL	=	177,5	mm
Grubość ścianki	tL	=	32,20	mm
Długość modułu elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200	N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35	
Długość wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Długość wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50	

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejsce odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00	%
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	40,0	°
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	3,00	°
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	8,00	%
Moduł deformacji gleby	E2	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	2,00	

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60	
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00	bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00	m
Współczynnik śpiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75	
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50	kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00	m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00	bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udu	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50	

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	161,4	mm
Rura projektowana, długość sztywności, związana z rL	SN	=	1,32E-01	N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0	



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	4,8	mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4	N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,7	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4	kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	68,5	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,9	kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,8	mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia

[cm]:

it	11	0,2312	it	0,3029	0,3029
it	12	-0,3096	it	0,3044	0,3044
it	13	-0,3166	it	0,3049	0,3049
it	14	0,2972	it	0,3050	0,3050

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości =

belka 19a, najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-45,93	-18,03	171,44	3	-47,53	-17,98	146,05
4	-49,15	-17,80	120,73	5	-50,75	-17,48	95,67
6	-52,34	-17,02	71,06	7	-53,88	-16,43	47,10
8	-55,38	-15,72	23,96	9	-56,81	-14,89	1,82
10	-58,17	-13,95	-19,14	11	-59,44	-12,90	-38,78
12	-60,61	-11,76	-56,94	13	-61,68	-10,53	-73,50
14	-62,63	-9,23	-88,33	15	-63,46	-7,87	-101,33
16	-64,16	-6,45	-112,40	17	-64,72	-4,99	-121,48
18	-65,13	-3,80	-128,51	19	-65,11	4,44	-133,47
20	-64,73	5,60	-127,68	21	-64,19	7,01	-119,79
22	-63,53	8,34	-109,93	23	-62,74	9,60	-98,18
24	-61,83	10,76	-84,67	25	-60,82	11,83	-69,52
26	-59,71	12,80	-52,86	27	-58,51	13,65	-34,84
28	-57,24	14,38	-15,62	29	-55,91	14,99	4,63
30	-54,53	15,47	25,74	31	-53,11	15,82	47,53
32	-51,67	16,04	69,81	33	-49,58	17,81	92,40
34	-46,98	19,99	117,46	35	-45,21	19,70	145,51
36	-44,65	16,95	172,97	37	-44,34	17,83	-197,88

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-44,34	17,83	-171,44

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-44,3	-65,1	-44,6	N/cm
$\Sigma Md$	197,9	-133,5	197,9	Ncm/cm



\*\*\*Wynik

\* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
N parametr $n_q$	-0,310	-0,456	-0,313	(dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,086	-0,058	0,086	DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z $p_i$ Nd( $p_i$ )	242,1	242,1	242,1	N/mm
Siła normalna Nd	-4,434	-6,513	-4,465	N/mm
Moment zginający Md	197,876	-133,467	197,905	Nmm/mm
$\sigma_i, d(p_i)$	7,519	7,519	7,519	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,602	6,493	8,601	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,312	8,037	6,311	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,473</b>	0,422	0,473	
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,268</b>	0,284	<b>0,268</b>	

\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
Siła normalna Nd	-8,370	-13,733	-8,640	N/mm
Moment zginający Md	27,831	-47,368	28,930	Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-5,150	0,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$ $\delta$	-3,139	0,000	-3,240	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-	
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,024	0,039	<b>0,024</b>	

\* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>115</b> kN / m <sup>2</sup>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_p g h^* q_v$	<b>63,7</b> kN / m <sup>2</sup>

\* Analiza odkształceń ( $\gamma_m F = \gamma_m M = 1.0$ )

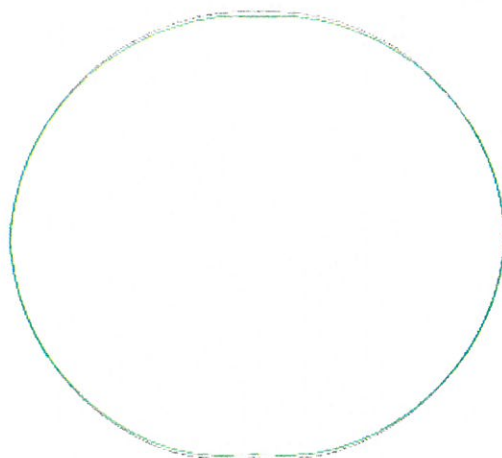
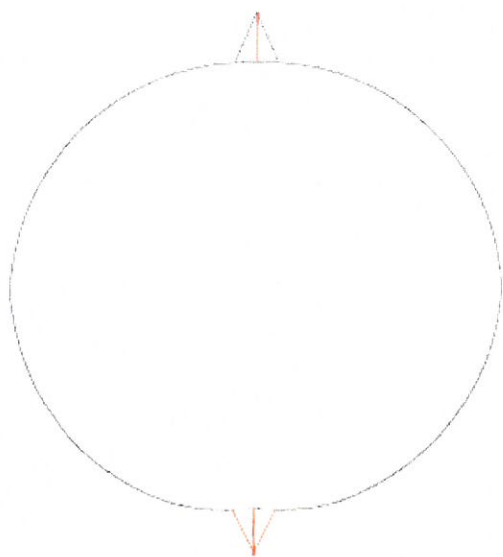
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	3,23 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	4,84 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		1,63
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	1,53 mm
w najniższym punkcie	win	0,98 mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	6 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm	9,62 %
	$\delta v, el$	
c) odkształcenie całkowite	w	4,98 mm
związany z ND/2	$\delta v$	10 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	3,23 %

\* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	994,33 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	68,51 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	149,42 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	0,46



# Rura projektowana

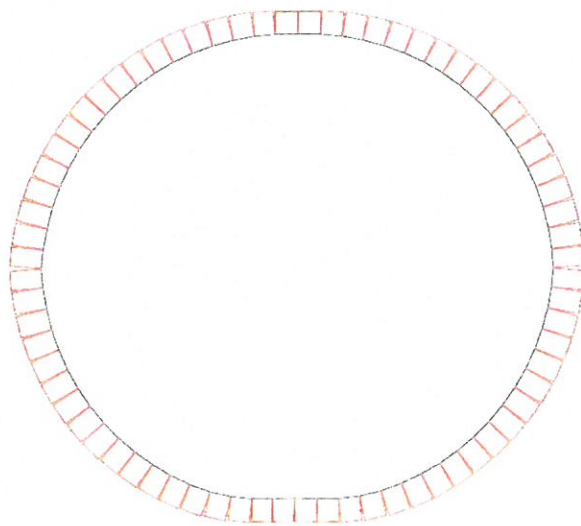
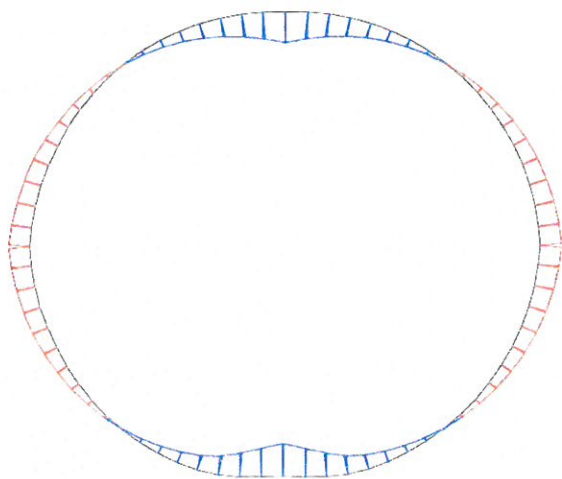


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 31,531 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 197,90 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

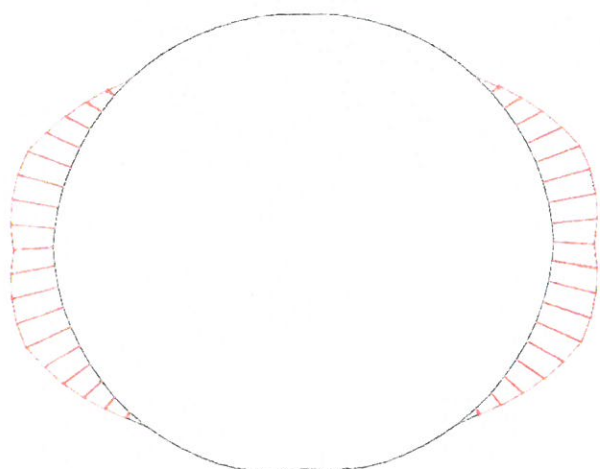
ugięcie,  $\max |d| = 0,305 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 65,13 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



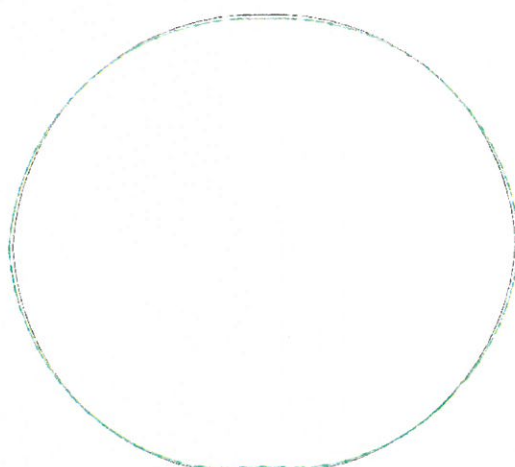


## Rura macierzysta



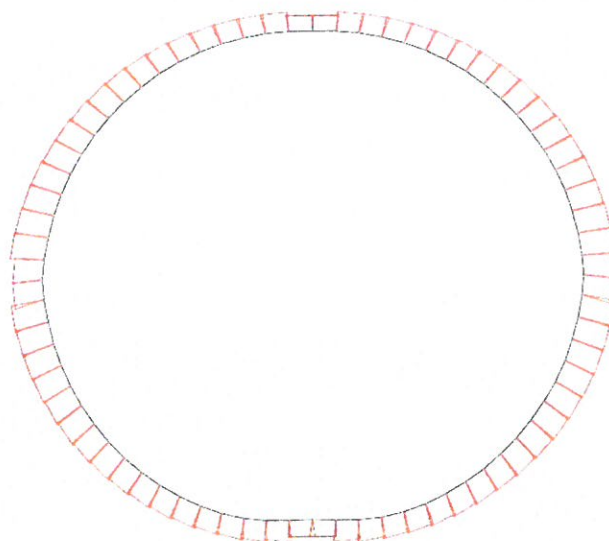
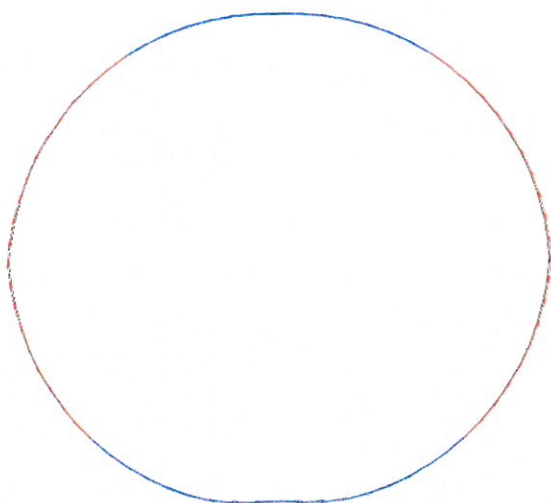
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 10,012 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = 0,305 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 136,65 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Stal	ND	=	400	mm
Średnica nominalna	di	=	400,00	mm
Średnica wewnętrzna	t	=	18,0	mm
Grubość ścianki	eG/t	=	0,35	
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)				
Moduł sprężystości	ER	=	50000	N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/βbZ	=	200,0/200,0	N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ			III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE				
Promień (zewnątrzny)	raL	=	140,0	mm
Grubość ścianki	tL	=	25,40	mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200	N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35	
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50	

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00	%
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	40,0	°
Kąt rozwarcia	2ΦI	=	3,00	°
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	8,00	%
Moduł deformacji gleby	E2	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	2,00	

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60	
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00	bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00	m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75	
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50	kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00	m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00	bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50	

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	127,3	mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,32E-01	N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0	



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	3,8	mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4	N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,7	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4	kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,8	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,5	kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,6	mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia

[cm]:

it	9	-0,2607	it	13	-0,2396
it	10	-0,2429	it	14	-0,2403
it	11	-0,2301	it	15	-0,2405
it	12	0,2365	it	16	0,2406

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii  
nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości =

belka 19a, najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-36,31	-13,78	104,09	3	-37,54	-13,76	88,79
4	-38,77	-13,64	73,51	5	-40,01	-13,41	58,36
6	-41,22	-13,08	43,46	7	-42,41	-12,65	28,93
8	-43,56	-12,12	14,88	9	-44,66	-11,50	1,42
10	-45,70	-10,79	-11,35	11	-46,69	-10,00	-23,34
12	-47,59	-9,14	-34,45	13	-48,42	-8,20	-44,59
14	-49,15	-7,21	-53,70	15	-49,79	-6,17	-61,71
16	-50,33	-5,08	-68,55	17	-50,77	-3,96	-74,19
18	-51,09	-3,06	-78,59	19	-51,08	3,44	-81,72
20	-50,78	4,31	-78,21	21	-50,36	5,40	-73,42
22	-49,84	6,44	-67,42	23	-49,23	7,42	-60,27
24	-48,52	8,33	-52,04	25	-47,73	9,16	-42,79
26	-46,87	9,92	-32,61	27	-45,94	10,59	-21,60
28	-44,95	11,17	-	29	-43,91	11,66	2,57
			9,83				
30	-42,83	12,04	15,52	31	-41,72	12,33	28,89
32	-40,60	12,52	42,59	33	-38,96	13,92	56,48
34	-36,93	15,64	71,93	35	-35,54	15,43	89,24
36	-35,10	13,29	106,21	37	-35,10	13,60	-120,01

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-35,1	13,60	-104,09

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-35,1	-51,1	-35,1	N/cm
$\Sigma Md$	120,0	-81,7	121,6	Ncm/cm



\*\*\*Wynik

**\* Analiza naprężeń, projektowana rura**

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
N parametr $n_q$	-0,314	-0,457	-0,314	(dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,084	-0,057	0,085	DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi Nd(pi)	191,0	191,0	191,0	N/mm
Siła normalna Nd	-3,510	-5,109	-3,510	N/mm
Moment zginający Md	120,005	-81,719	121,634	Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(pi)$	7,518	7,518	7,518	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,570	6,506	8,586	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,338	8,026	6,324	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,470</b>	0,421	<b>0,471</b>	
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,271</b>	0,286	<b>0,269</b>	

**\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)**

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
Siła normalna Nd	-6,565	-10,905	-6,778	N/mm
Moment zginający Md	21,416	-37,154	22,270	Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-4,090	0,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-2,462	0,000	-2,542	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-	
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,018	0,031	<b>0,019</b>	

**\* Stan graniczny nośności gruntu**

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>113</b> kN / m <sup>2</sup>
bierność poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>60,9</b> kN / m <sup>2</sup>

**\* Analiza odkształceń ( $\gamma_{amF} = \gamma_{amM} = 1.0$ )**

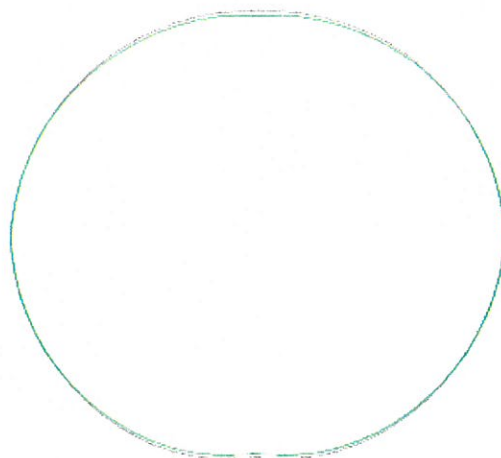
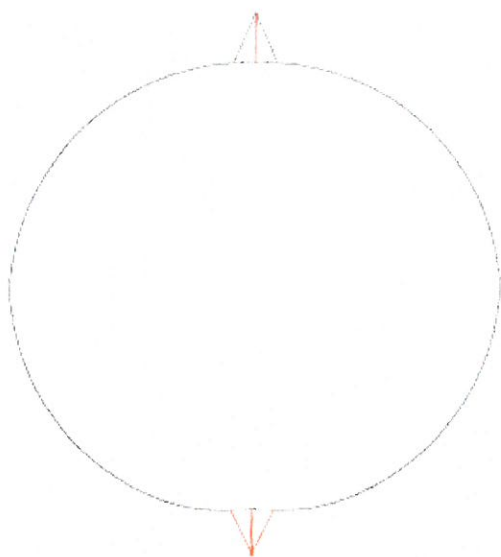
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	2,55 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	3,82 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		1,28
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	<b>1,18</b> mm
w najniższym punkcie	w <sub>in</sub>	0,97 mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	6 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm	7,55 %
	$\delta v, el$	
c) odkształcenie całkowite	w	4,97 mm
związany z ND/2	$\delta v$	10 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	3,23 %

**\* Analiza stabilności**

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	994,60 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	67,79 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	163,61 kN / m <sup>2</sup>
złącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,41</b>



## Rura projektowana

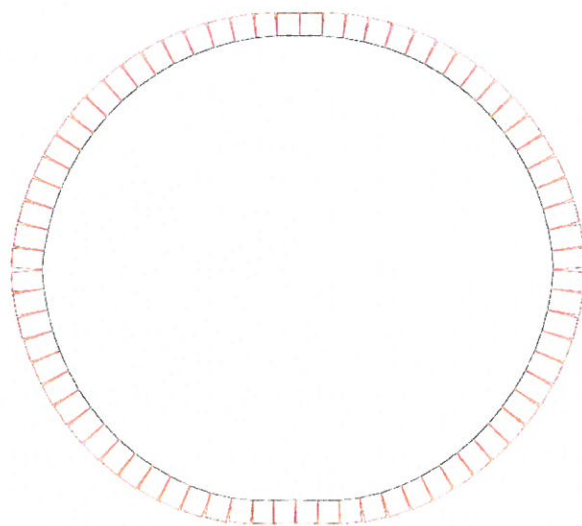
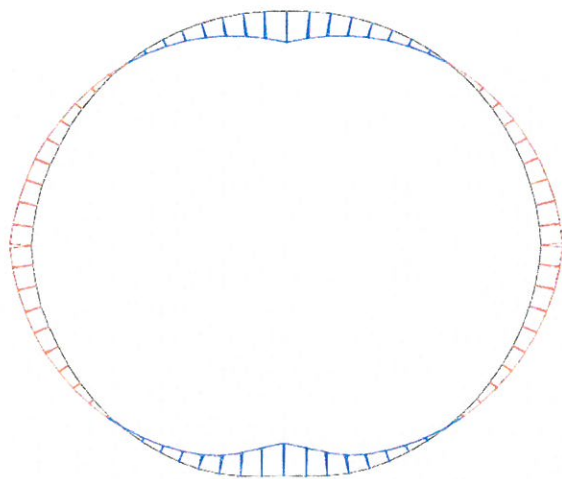


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 23,928 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 121,63 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

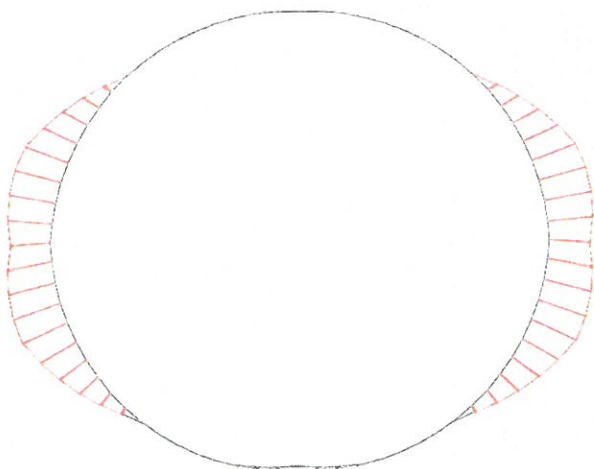
ugięcie,  $\max |d| = 0,241 \text{ cm}$  (nie  
powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 51,09 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



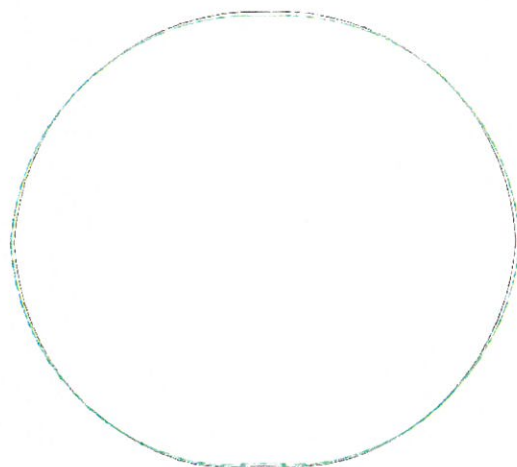
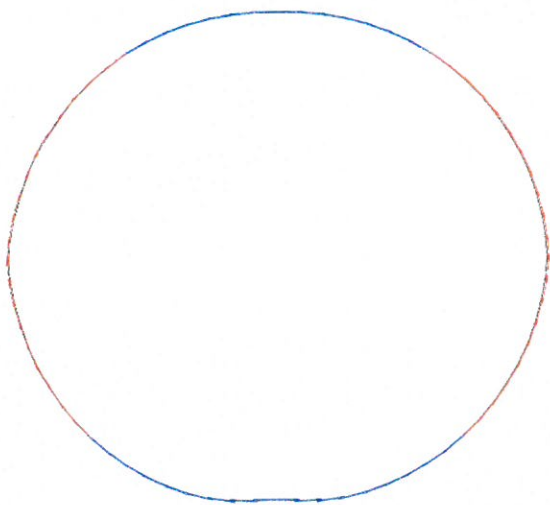


## Rura macierzysta



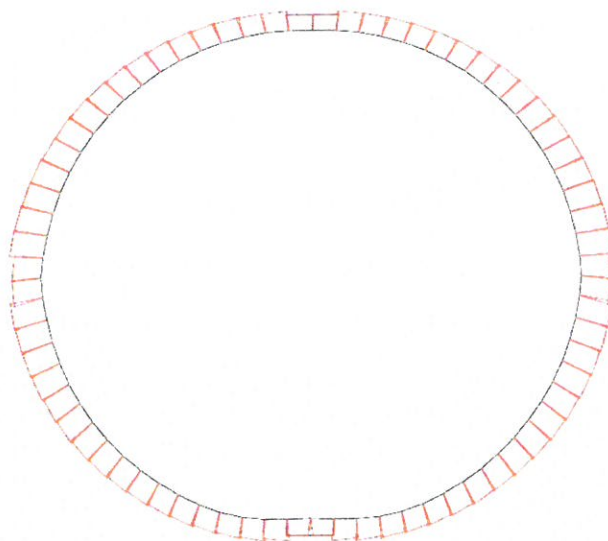
powyżej: odpór podłoża, maks  $|qh^*| = 7,848 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = 0,241 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 108,38 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Stal				
Średnica nominalna	ND	=	350	mm
Średnica wewnętrzna	di	=	350,00	mm
Grubość ścianki	t	=	16,0	mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35	
Moduł sprężystości	ER	=	50000	N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0	N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ			III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE				
Promień (zewnątrzny)	raL	=	125,0	mm
Grubość ścianki	tL	=	22,70	mm
Długość modułu elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200	N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	$\mu$	=	0,35	
Długość wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	$\sigma_{bz,k}$	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	$\sigma_{bz,d}$	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Długość wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	$\sigma_{D,k}$	=	14,0	N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	$\sigma_{D,d}$	=	11,2	N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	$\gamma_M$	=	1,25	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	$\gamma_M$	=	1,00	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	$\gamma_M(pi)$	=	1,50	

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejsce odształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	$\omega_v$	=	2,00	%
Położenie odształcenia początkowego	$\Phi_V$	=	180,0	°
Kąt rozwarcia	$2\Phi_1$	=	40,0	°
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	$\omega_{GR,v}$	=	3,00	%
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00	%
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20	N/mm <sup>2</sup>

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60	
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00	bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00	m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	$\lambda_R$	=	0,75	
Waga jednostkowa rury macierzystej	$\gamma_R$	=	70,50	kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00	m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00	bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	$\gamma_{F,G} / \gamma_{F,Q}$	=	1,35 / 1,50	
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	$\gamma_{pi}$	=	1,50	

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	113,7	mm
Rura projektowana, długość sztywności, związana z rL	SN	=	1,33E-01	N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0	



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	3,4	mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4	N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,7	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4	kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,5	kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,4	kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,6	mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia

[cm]:

it	14	-0,2021	it	18	-0,2235
it	15	-0,2029	it	19	-0,2135
it	16	-0,2096	it	20	-0,2134
it	17	-0,2182	it	21	-0,2134

Sily osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie sily osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości =

belka 19a, najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-32,45	-12,09	81,79	3	-33,53	-12,08	69,81
4	-34,61	-11,98	57,83	5	-35,69	-11,79	45,95
6	-36,76	-11,51	34,26	7	-37,81	-11,14	22,85
8	-38,82	-10,68	11,80	9	-39,79	-10,14	1,22
10	-40,71	-9,52	-8,84	11	-41,57	-8,83	-18,27
12	-42,37	-8,07	-27,03	13	-43,10	-7,26	-35,03
14	-43,75	-6,38	-42,23	15	-44,31	-5,47	-48,56
16	-44,79	-4,51	-53,98	17	-45,18	-3,53	-58,45
18	-45,46	-2,75	-61,95	19	-45,45	3,04	-64,45
20	-45,18	3,80	-61,69	21	-44,82	4,76	-57,92
22	-44,36	5,67	-53,20	23	-43,81	6,54	-47,58
24	-43,19	7,34	-41,10	25	-42,49	8,09	-33,81
26	-41,72	8,76	-25,80	27	-40,90	9,35	-17,11
28	-40,02	9,87	-7,84	29	-39,10	10,30	1,94
30	-38,15	10,65	12,16	31	-37,17	10,90	22,71
32	-36,18	11,07	33,52	33	-34,73	12,33	44,50
34	-32,93	13,87	56,71	35	-31,69	13,69	70,42
36	-31,31	11,78	83,85	37	-31,38	11,93	-94,26

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-32,38	11,93	-81,79

#### \* Odpowiednie projektowe sily osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-31,4	-45,5	-31,3	N/cm
$\Sigma Md$	94,3	-64,5	96,1	Ncm/cm



\*\*\*Wynik

\* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
N parametr $n_q$	-0,316	-0,457	-0,315	(dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,083	-0,057	0,085	DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	170,5	170,5	170,5	N/mm
Siła normalna $N_d$	-3,138	-4,546	-3,131	N/mm
Moment zginający $M_d$	94,257	-64,450	96,070	Nmm/mm
$\sigma_i, d(p_i)$	7,510	7,510	7,510	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,542	6,509	8,565	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,347	8,010	6,328	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,468</b>	0,420	<b>0,470</b>	
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,272</b>	0,286	<b>0,270</b>	

\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
Siła normalna $N_d$	-5,852	-9,788	-6,042	N/mm
Moment zginający $M_d$	18,868	-33,071	19,623	Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-3,671	0,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	-2,194	0,000	-2,266	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-	
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,016	0,028	<b>0,017</b>	

\* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>111,8</b> kN / m <sup>2</sup>
bierność poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>59,7</b> kN / m <sup>2</sup>

\* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mF} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

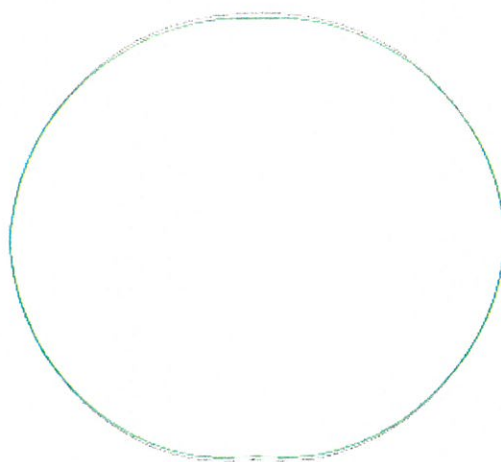
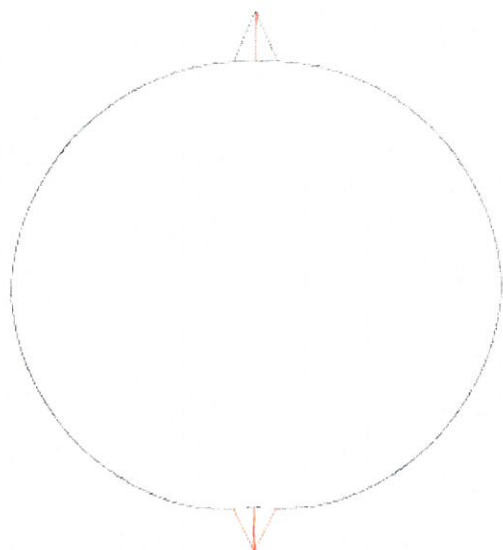
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	2,27 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	3,41 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		1,14
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	<b>1,03</b> mm
w najniższym punkcie	w <sub>in</sub>	0,96 mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	6 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm	6,72 %
	$\delta v, el$	%
c) odkształcenie całkowite	w	4,96 mm
związany z ND/2	$\delta v$	10 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	3,23 %

\* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	996,87 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	67,51 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	170,79 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,40</b>



# Rura projektowana

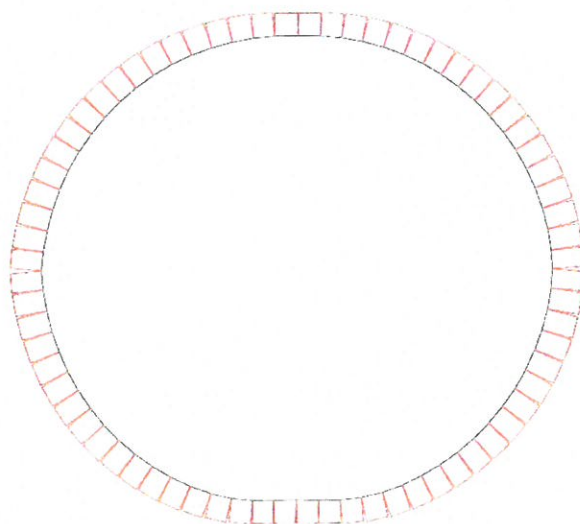
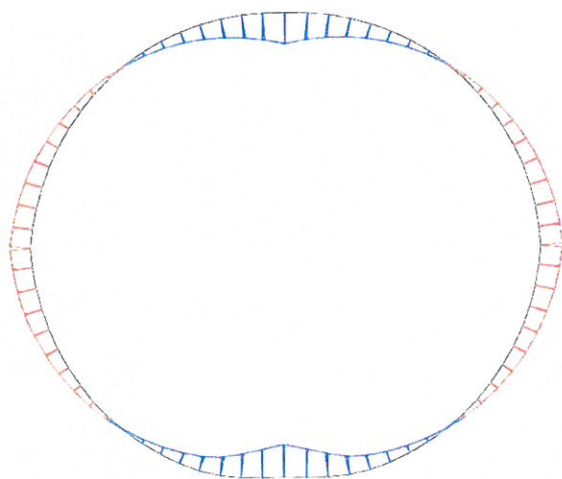


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 20,932 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 96,07 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

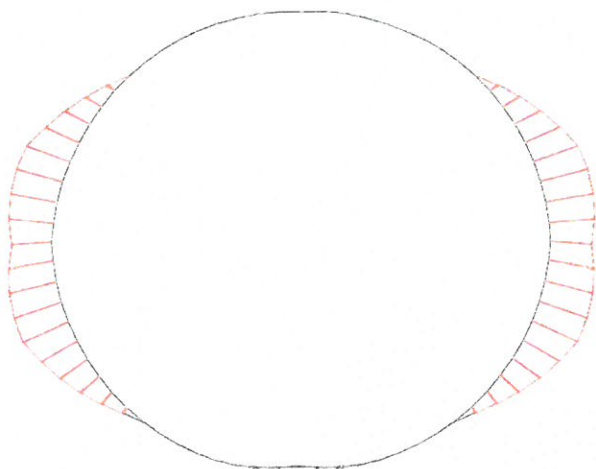
ugięcie,  $\max |d| = 0,213 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 45,46 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



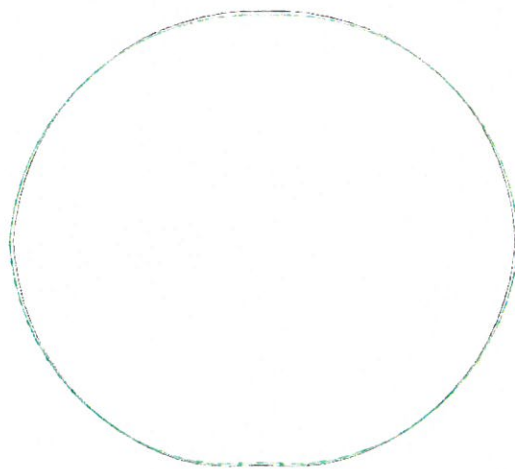
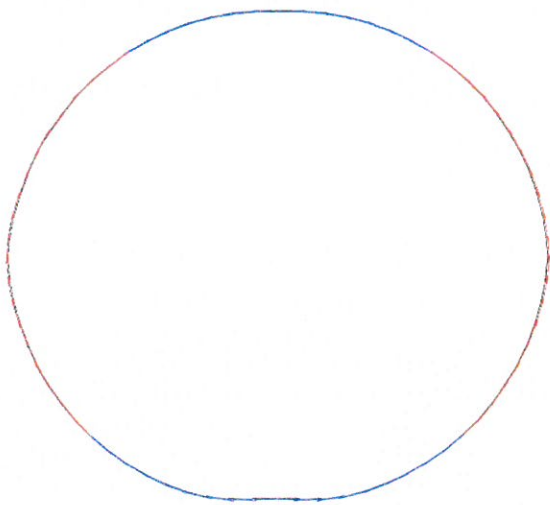


## Rura macierzysta



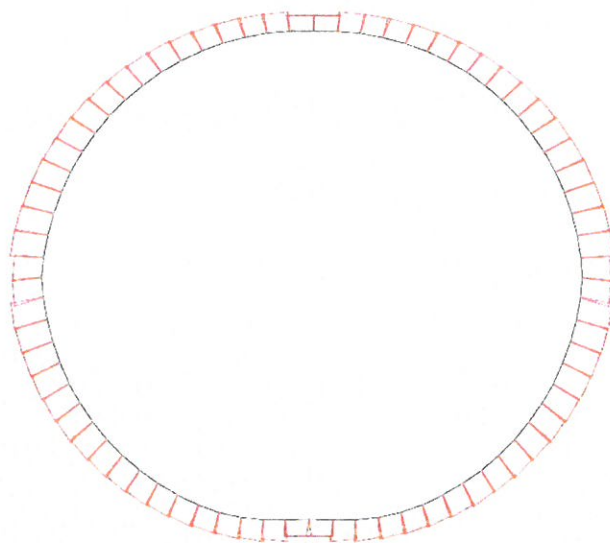
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 6,982 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = 0,213 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(p_i)$ , maks  $|N| = 97,23 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Stal	ND	=	350 mm
Średnica nominalna	di	=	350,00 mm
Średnica wewnętrzna	t	=	16,0 mm
Grubość ścianki	eG/t	=	0,35
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Moduł sprężystości	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	AZ	=	III
Stan rury macierzystej			

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE	raL	=	112,5 mm
Promień (zewnątrzny)	tL	=	20,5 mm
Grubość ścianki	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Długostrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)			
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długostrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długostrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW	=	60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	102,3 mm
Rura projektowana, długostrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	3,1 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,3 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,3 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,5 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	7	0,1736	it	11	0,1891
it	8	0,1808	it	12	0,1896
it	9	0,1890	it	13	0,1898
it	10	0,1942	it	14	0,1899

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-29,23	-10,73	65,45	3	-30,18	-10,73	55,88
4	-31,15	-10,64	46,31	5	-32,11	-10,48	36,82
6	-33,05	-10,23	27,47	7	-33,98	-9,91	18,35
8	-34,88	-9,50	9,51	9	-35,74	-9,03	1,03
10	-36,56	-8,48	-7,02	11	-37,33	-7,87	-14,58
12	-38,04	-7,20	-21,61	13	-38,69	-6,48	-28,03
14	-39,26	-5,71	-33,81	15	-39,77	-4,89	-38,90
16	-40,19	-4,04	-43,26	17	-40,54	-3,17	-46,87
18	-40,79	-2,49	-49,69	19	-40,78	2,71	-51,71
20	-40,55	3,38	-49,51	21	-40,22	4,23	-46,50
22	-39,81	5,05	-42,72	23	-39,32	5,82	-38,22
24	-38,77	6,54	-33,03	25	-38,14	7,20	-27,19
26	-37,46	7,81	-20,76	27	-36,72	8,34	-13,80
28	-35,94	8,80	-6,36	29	-35,12	9,19	1,49
30	-34,27	9,51	9,69	31	-33,40	9,74	18,17
32	-32,51	9,89	26,86	33	-31,21	11,03	35,68
34	-29,60	12,42	45,51	35	-28,50	12,26	56,55
36	-28,15	10,55	67,37	37	-28,28	10,58	-75,39
Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]				
37	-28,28	10,58	-65,45				

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-28,3	-40,8	-28,1	N/cm
$\Sigma Md$	75,4	-51,7	77,2	Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,317	-0,457	-0,315 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,083	-0,057	0,085 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	153,4	153,4	153,4 N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,828	-4,079	-2,815 N/mm
Moment zginający $M_d$	75,395	-51,715	77,217 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(p_i)$	7,482	7,482	7,482 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,492	6,495	8,521 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,339	7,972	6,316 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,464</b>	0,418	<b>0,467</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,272</b>	0,286	<b>0,270</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-5,254	-8,856	-5,425 N/mm
Moment zginający $M_d$	16,723	-29,636	17,394 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-3,321	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-1,970	0,000	-2,035 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,015	0,025	<b>0,015</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>110,4</b> kN / m <sup>2</sup>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>58,8</b> kN / m <sup>2</sup>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mF} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

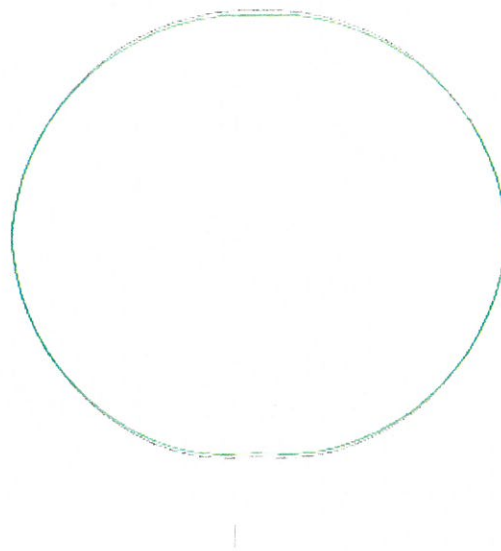
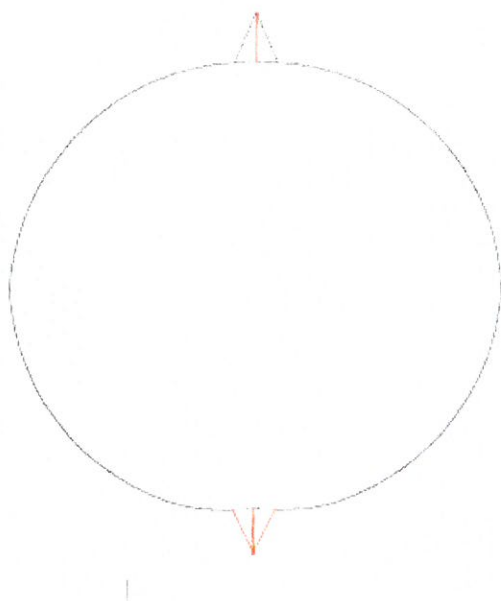
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	2,05 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	3,07 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	1,01 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,91</b> mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,94 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	6,02 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,94 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1005,16 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	67,27 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	177,69 kN / m <sup>2</sup>
złącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,38</b>



## Rura projektowana

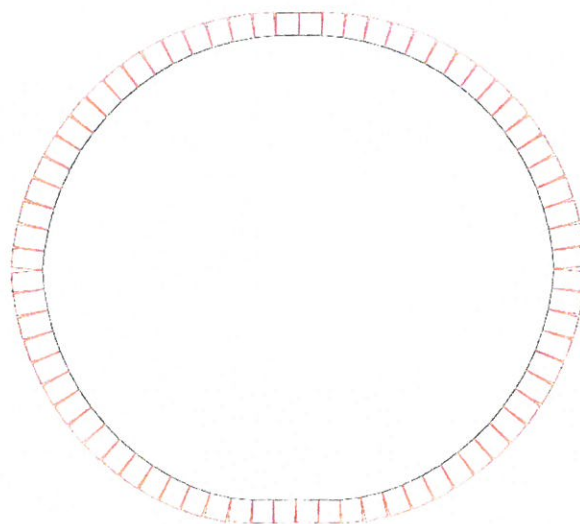
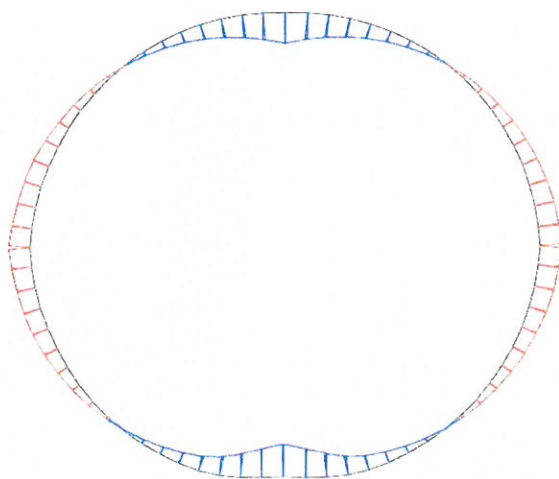


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 18.534 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 77.22 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

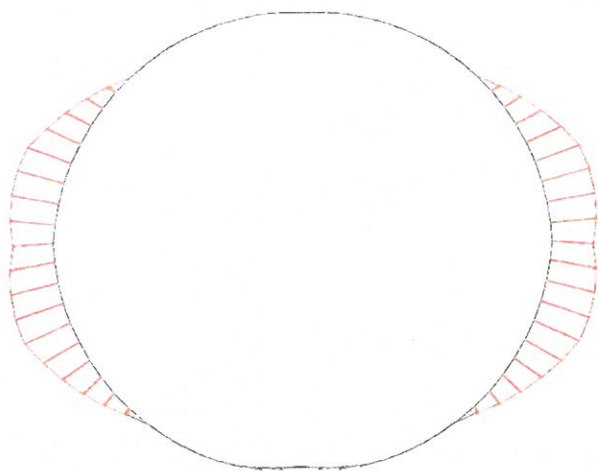
ugięcie,  $\max |d| = .19 \text{ cm}$  (nie  
powiększone)

Linia N bez N(pi),  $\max |N| = 40.79 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



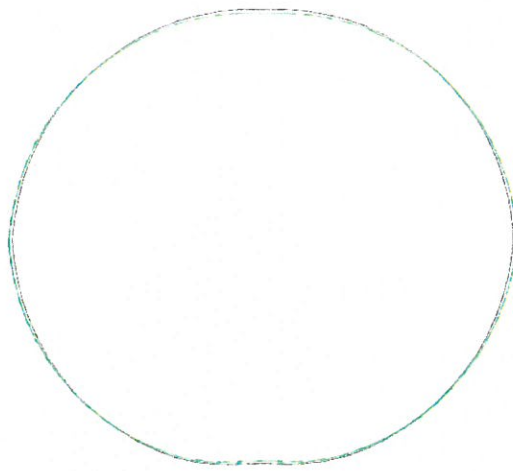
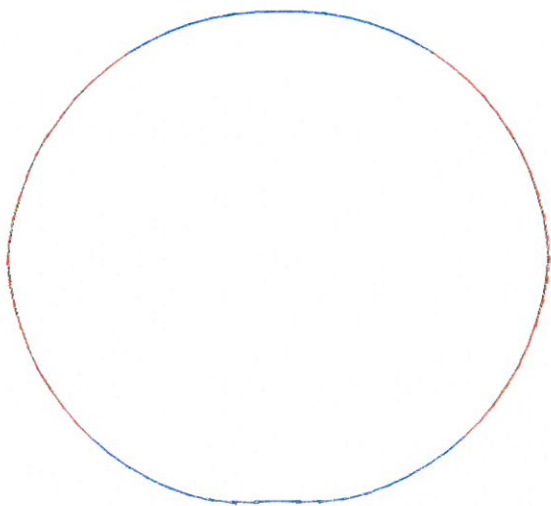


## Rura macierzysta



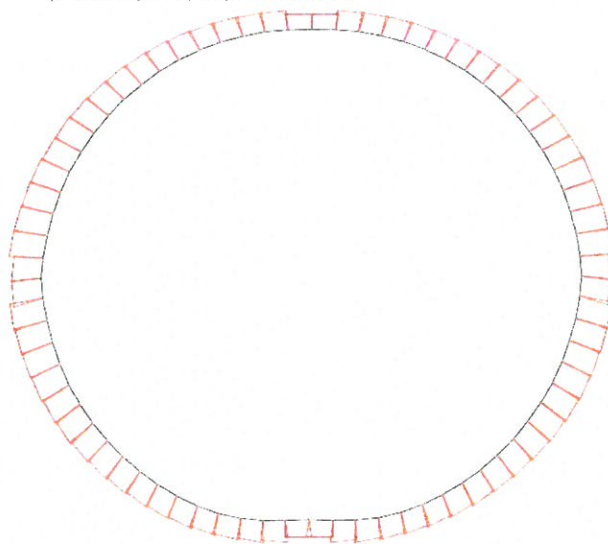
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 6.245 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = .19 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 87.93 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	300 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	300,00 mm
Grubość ścianki	t	=	15,0 mm
Względna mierzalność przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	112,5 mm
Grubość ścianki	tL	=	20,5 mm
Długość modułu elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	$\mu$	=	0,35
Długość wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	$\sigma_{bz,k}$	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	$\sigma_{bz,d}$	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długość wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	$\sigma_{D,k}$	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	$\sigma_{D,d}$	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	$\gamma_M$	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	$\gamma_M$	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	$\gamma_M(pi)$	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	$\omega_v$	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	$\Phi_V$	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	$2\Phi_1$	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	$\omega_{GR,v}$	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	$\lambda_R$	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	$\gamma_R$	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	$\gamma_{F,G} / \gamma_{F,Q}$	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	$\gamma_{pi}$	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	102,3 mm
Rura projektowana, długość sztywności, związana z rL	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	3,1 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,3 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,3 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,5 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	7	0,1736	it	11	0,1891
it	8	0,1808	it	12	0,1896
it	9	0,1890	it	13	0,1898
it	10	0,1942	it	14	0,1899

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-29,23	-10,73	65,45	3	-30,18	-10,73	55,88
4	-31,15	-10,64	46,31	5	-32,11	-10,48	36,82
6	-33,05	-10,23	27,47	7	-33,98	-9,91	18,35
8	-34,88	-9,50	9,51	9	-35,74	-9,03	1,03
10	-36,56	-8,48	-7,02	11	-37,33	-7,87	-14,58
12	-38,04	-7,20	-21,61	13	-38,69	-6,48	-28,03
14	-39,26	-5,71	-33,81	15	-39,77	-4,89	-38,90
16	-40,19	-4,04	-43,26	17	-40,54	-3,17	-46,87
18	-40,79	-2,49	-49,69	19	-40,78	2,71	-51,71
20	-40,55	3,38	-49,51	21	-40,22	4,23	-46,50
22	-39,81	5,05	-42,72	23	-39,32	5,82	-38,22
24	-38,77	6,54	-33,03	25	-38,14	7,20	-27,19
26	-37,46	7,81	-20,76	27	-36,72	8,34	-13,80
28	-35,94	8,80	-6,36	29	-35,12	9,19	1,49
30	-34,27	9,51	9,69	31	-33,40	9,74	18,17
32	-32,51	9,89	26,86	33	-31,21	11,03	35,68
34	-29,60	12,42	45,51	35	-28,50	12,26	56,55
36	-28,15	10,55	67,37	37	-28,28	10,58	-75,39

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-28,28	10,58	-65,45

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-28,3	-40,8	-28,1	N/cm
$\Sigma Md$	75,4	-51,7	77,2	Ncm/cm



\*\*\*Wynik

\* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,317	-0,457	-0,315 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,083	-0,057	0,085 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	153,4	153,4	153,4 N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,828	-4,079	-2,815 N/mm
Moment zginający $M_d$	75,395	-51,715	77,217 Nmm/mm
$\sigma_i, d(p_i)$	7,482	7,482	7,482 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,492	6,495	8,521 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,339	7,972	6,316 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,464</b>	0,418	<b>0,467</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,272</b>	0,286	<b>0,270</b>

\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-5,254	-8,856	-5,425 N/mm
Moment zginający $M_d$	16,723	-29,636	17,394 Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-3,321	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	-1,970	0,000	-2,035 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,015	0,025	<b>0,015</b>

\* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>110,4</b> kN / m <sup>2</sup>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>58,8</b> kN / m <sup>2</sup>

\* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mf} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

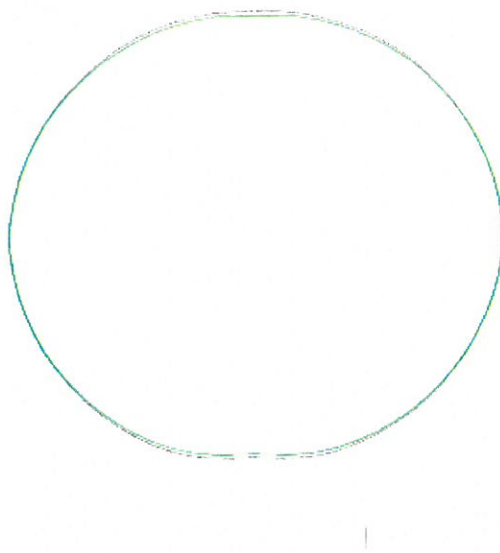
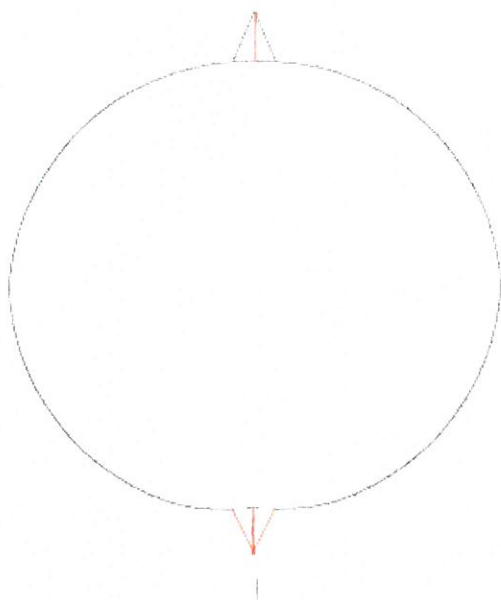
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	2,05 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	3,07 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	1,01 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,91</b> mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,94 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	6,02 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,94 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

\* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	pa,d	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1005,16 kN / m <sup>2</sup>
	pa,d	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	qv,d	67,27 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	177,69 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	qv,d	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,38</b>



## Rura projektowana

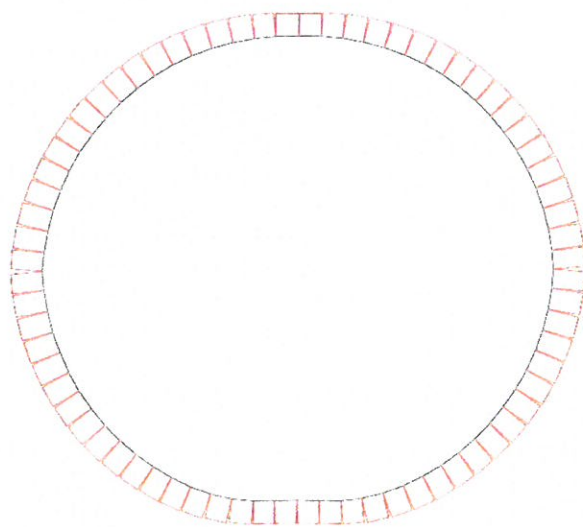
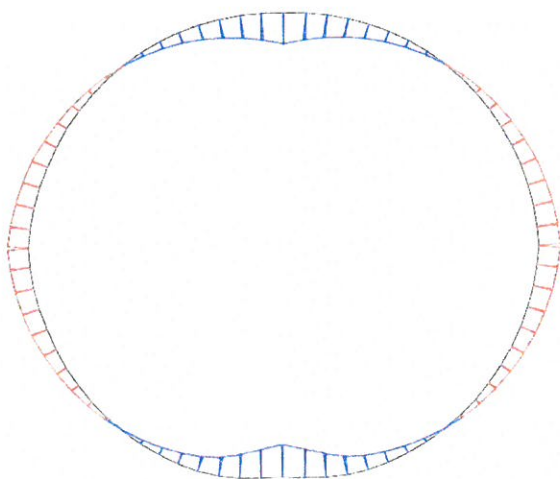


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 18.534 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 77.22 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

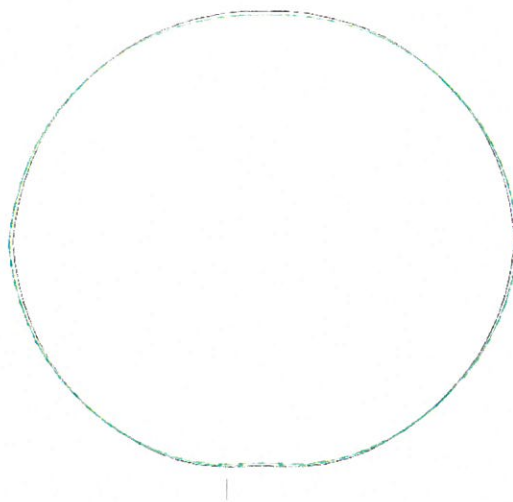
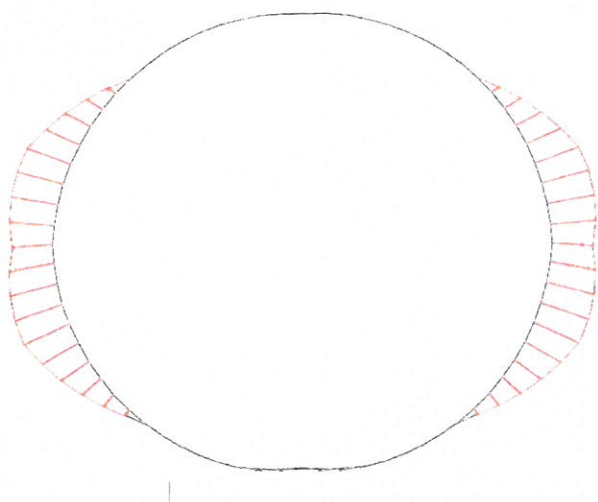
ugięcie,  $\max |d| = .19 \text{ cm}$  (nie  
powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 40.79 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





## Rura macierzysta

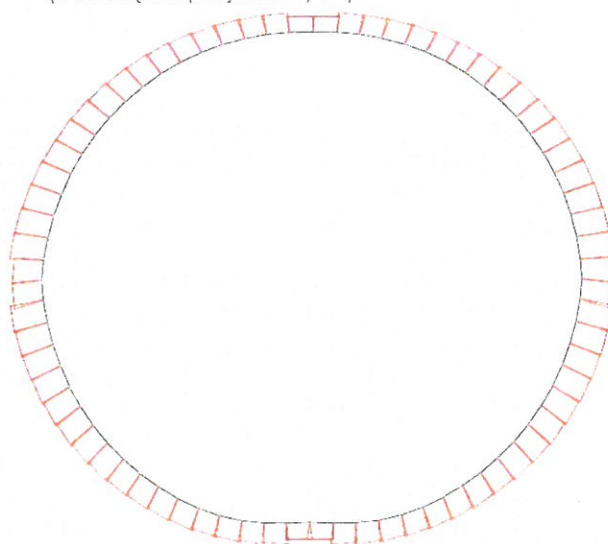
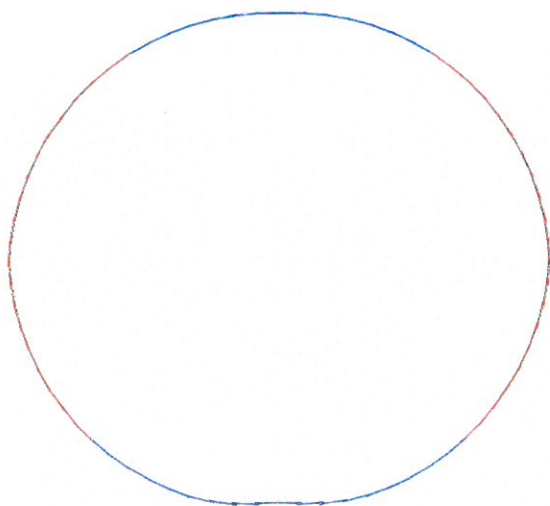


powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 6.245 \text{ N/cm}$

ugięcie, maks  $|d| = .19 \text{ cm}$  (nie powiększone)

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 87.93 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	300 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	300,00 mm
Grubość ścianki	t	=	15,0 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ	=	III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	100,0 mm
Grubość ścianki	tL	=	18,2 mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW	=	60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	90,9 mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	2,7 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,0 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,2 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,5 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	7	0,1473	it	11	0,1658
it	8	0,1524	it	12	0,1669
it	9	0,1616	it	13	0,1672
it	10	0,1669	it	14	0,1672

Sily osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie sily osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-26,00	-9,28	50,51	3	-26,83	-9,29	43,15
4	-27,66	-9,22	35,78	5	-28,49	-9,08	28,47
6	-29,31	-8,88	21,27	7	-30,12	-8,60	14,23
8	-30,90	-8,26	7,41	9	-31,65	-7,85	0,86
10	-32,36	-7,38	-5,36	11	-33,03	-6,86	-11,21
12	-33,64	-6,28	-16,65	13	-34,21	-5,65	-21,63
14	-34,71	-4,99	-26,11	15	-35,15	-4,28	-30,07
16	-35,52	-3,55	-33,46	17	-35,82	-2,79	-36,28
18	-36,04	-2,21	-38,49	19	-36,04	2,38	-40,08
20	-35,83	2,95	-38,37	21	-35,54	3,69	-36,03
22	-35,18	4,40	-33,11	23	-34,76	5,07	-29,62
24	-34,27	5,70	-25,60	25	-33,73	6,27	-21,08
26	-33,13	6,80	-16,11	27	-32,49	7,26	-10,72
28	-31,81	7,67	-4,96	29	-31,10	8,01	1,12
30	-30,35	8,28	7,47	31	-29,59	8,48	14,03
32	-28,81	8,62	20,76	33	-27,69	9,62	27,59
34	-26,28	10,86	35,22	35	-25,31	10,72	43,80
36	-25,01	9,21	52,22	37	-25,18	9,14	-58,15

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-25,18	9,14	-50,51

#### \* Odpowiednie projektowe sily osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-25,2	-36,0	-25,0	N/cm
$\Sigma Md$	58,2	-40,1	59,9	Ncm/cm



\*\*\*Wynik

\* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
N parametr $n_q$	-0,318	-0,456	-0,316	(dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,081	-0,056	0,083	DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(\pi)$	136,4	136,4	136,4	N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,518	-3,604	-2,501	N/mm
Moment zginający $M_d$	58,154	-40,084	59,860	Nmm/mm
$\sigma_i, d(\pi)$	7,492	7,492	7,492	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,477	6,519	8,511	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,370	7,971	6,342	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,463</b>	0,417	<b>0,466</b>	
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,274</b>	0,288	<b>0,272</b>	

\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
Siła normalna $N_d$	-4,677	-7,946	-4,830	N/mm
Moment zginający $M_d$	14,653	-26,247	15,240	Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-2,980	0,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d \delta$	-1,754	0,000	-1,811	N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-	
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,013	0,022	<b>0,014</b>	

\* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>109,2</b> kN / m <sup>2</sup>
bierno poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>57,9</b> kN / m <sup>2</sup>

\* Analiza odkształceń ( $\gamma_{amF} = \gamma_{amM} = 1.0$ )

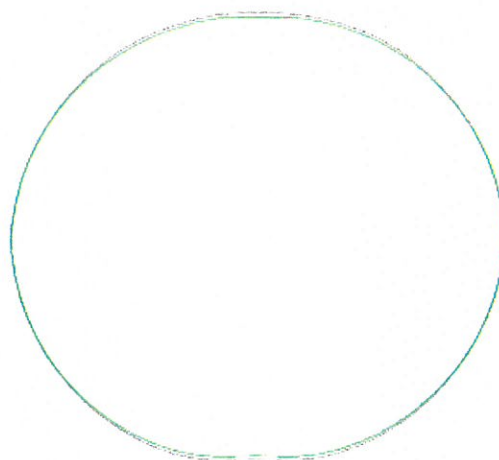
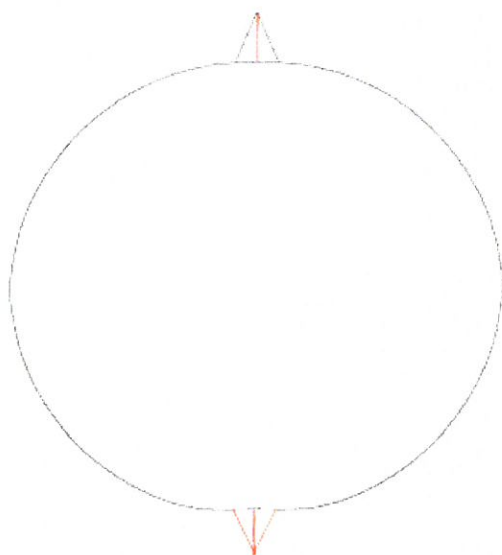
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	1,82 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	2,73 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	0,89 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,80</b> mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,93 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	5,33 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,93 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

\* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	pa,d	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1002,20 kN / m <sup>2</sup>
	pa,d	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	qv,d	67,03 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	185,61 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	qv,d	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,36</b>



## Rura projektowana

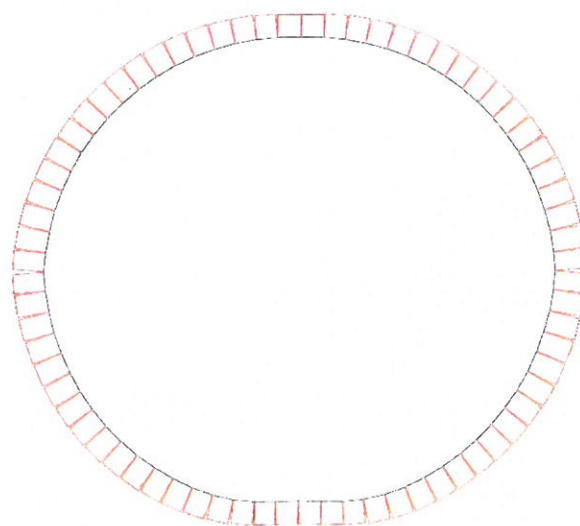
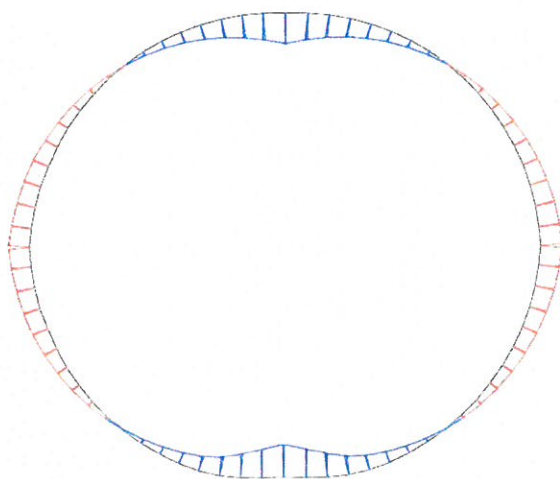


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 15.967 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 59.86 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

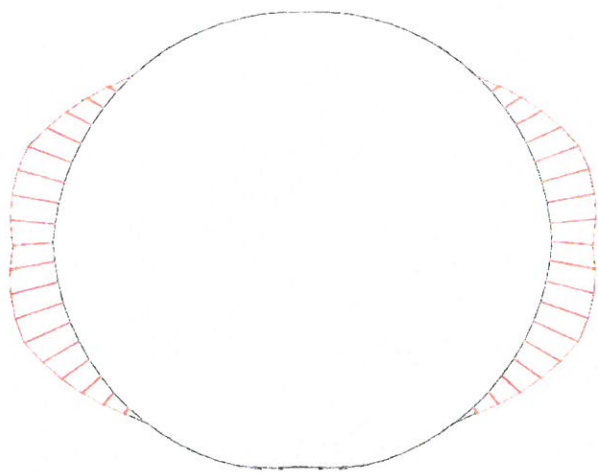
ugięcie,  $\max |d| = .167 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 36.04 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



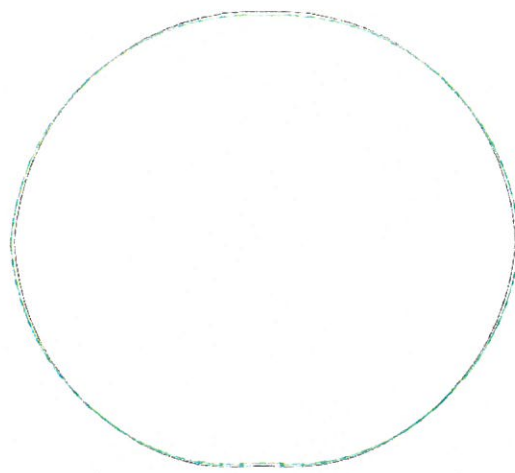
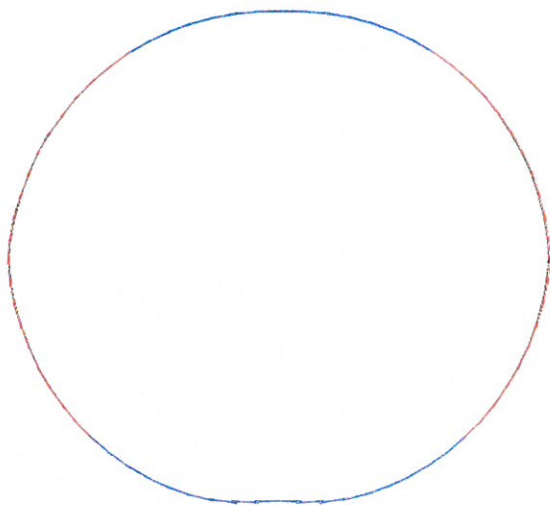


## Rura macierzysta



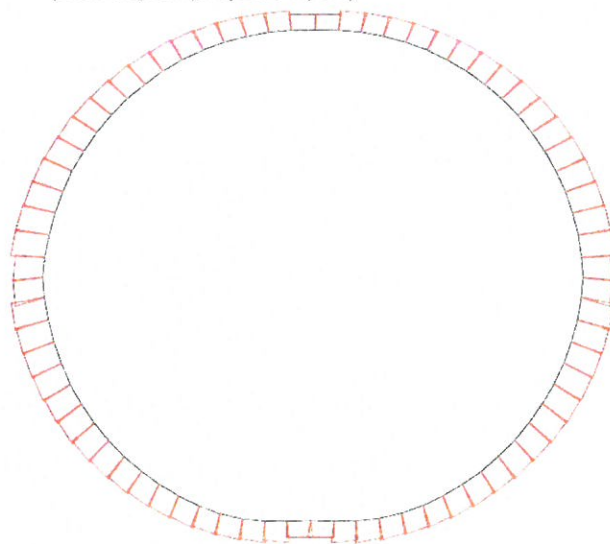
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 5.542 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = .167 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 78.86 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	250 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	250,00 mm
Grubość ścianki	t	=	5,5 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/βbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	100,0 mm
Grubość ścianki	tL	=	18,2 mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	90,9 mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	2,7 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	67,0 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,2 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,5 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	7	0,1473	it	11	0,1658
it	8	0,1524	it	12	0,1669
it	9	0,1616	it	13	0,1672
it	10	0,1669	it	14	0,1672

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-26,00	-9,28	50,51	3	-26,83	-9,29	43,15
4	-27,66	-9,22	35,78	5	-28,49	-9,08	28,47
6	-29,31	-8,88	21,27	7	-30,12	-8,60	14,23
8	-30,90	-8,26	7,41	9	-31,65	-7,85	0,86
10	-32,36	-7,38	-5,36	11	-33,03	-6,86	-11,21
12	-33,64	-6,28	-16,65	13	-34,21	-5,65	-21,63
14	-34,71	-4,99	-26,11	15	-35,15	-4,28	-30,07
16	-35,52	-3,55	-33,46	17	-35,82	-2,79	-36,28
18	-36,04	-2,21	-38,49	19	-36,04	2,38	-40,08
20	-35,83	2,95	-38,37	21	-35,54	3,69	-36,03
22	-35,18	4,40	-33,11	23	-34,76	5,07	-29,62
24	-34,27	5,70	-25,60	25	-33,73	6,27	-21,08
26	-33,13	6,80	-16,11	27	-32,49	7,26	-10,72
28	-31,81	7,67	-4,96	29	-31,10	8,01	1,12
30	-30,35	8,28	7,47	31	-29,59	8,48	14,03
32	-28,81	8,62	20,76	33	-27,69	9,62	27,59
34	-26,28	10,86	35,22	35	-25,31	10,72	43,80
36	-25,01	9,21	52,22	37	-25,18	9,14	-58,15
Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]				
37	-25,18	9,14	-50,51				

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-25,2	-36,0	-25,0	N/cm
$\Sigma Md$	58,2	-40,1	59,9	Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,318	-0,456	-0,316 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,081	-0,056	0,083 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	136,4	136,4	136,4 N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,518	-3,604	-2,501 N/mm
Moment zginający $M_d$	58,154	-40,084	59,860 Nmm/mm
$\sigma_i, d(p_i)$	7,492	7,492	7,492 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,477	6,519	8,511 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,370	7,971	6,342 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,463</b>	0,417	<b>0,466</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,274</b>	0,288	<b>0,272</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-4,677	-7,946	-4,830 N/mm
Moment zginający $M_d$	14,653	-26,247	15,240 Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-2,980	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	-1,754	0,000	-1,811 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,013	0,022	<b>0,014</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>109,2 kN / m<sup>2</sup></b>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>57,9 kN / m<sup>2</sup></b>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mF} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

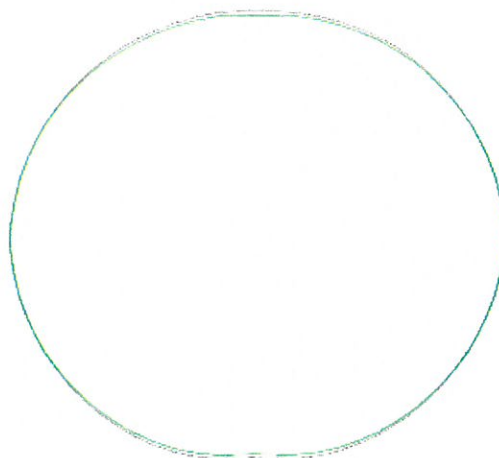
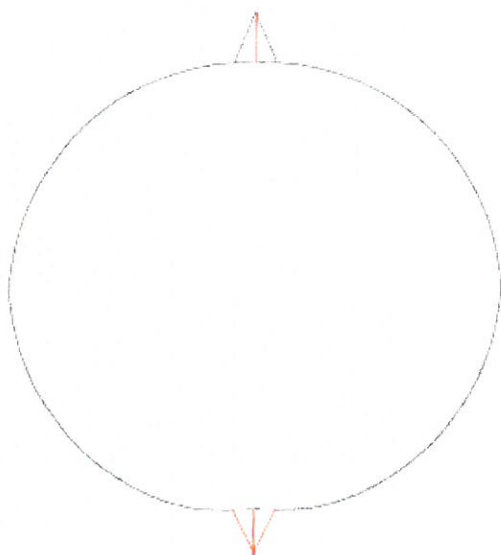
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	1,82 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	2,73 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	0,89 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,80 mm</b>
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,93 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	5,33 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,93 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	pa,d	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1002,20 kN / m <sup>2</sup>
	pa,d	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	qv,d	67,03 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	185,61 kN / m <sup>2</sup>
złącznik F	qv,d	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,36</b>



## Rura projektowana

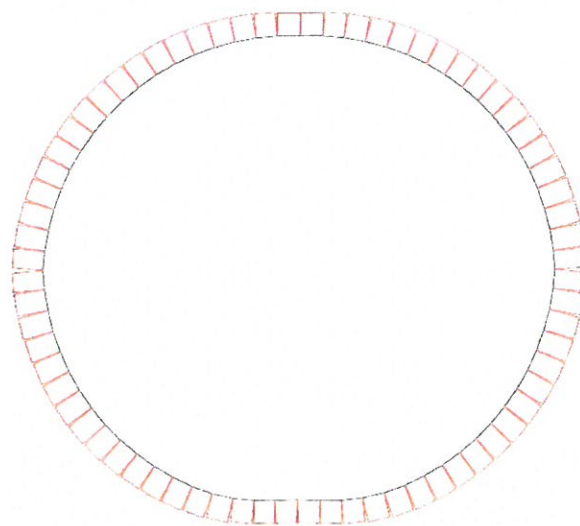
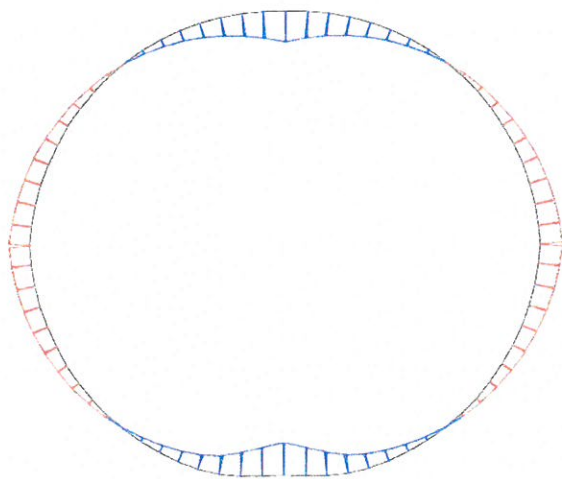


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 15.967 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 59.86 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

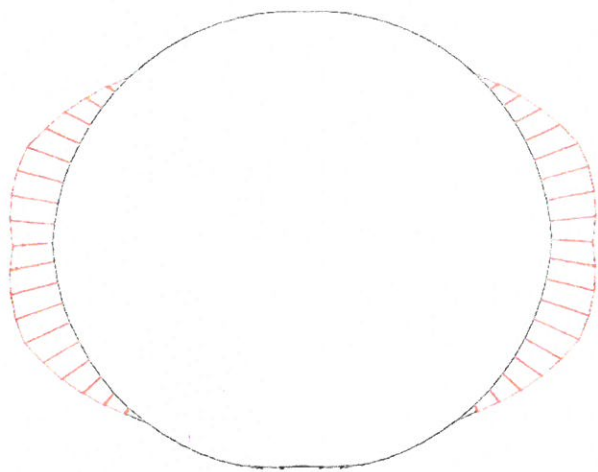
ugięcie,  $\max |d| = .167 \text{ cm}$  (nie  
powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 36.04 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



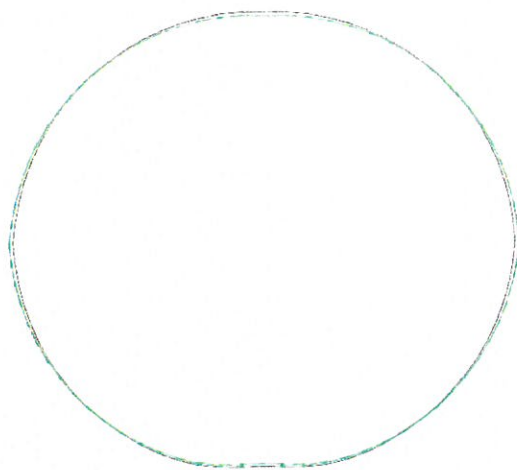
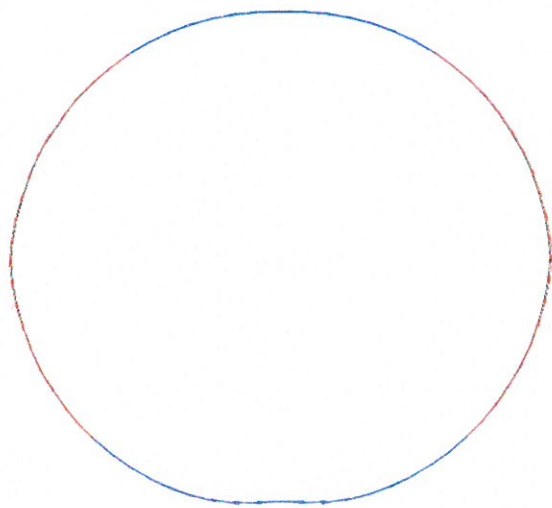


## Rura macierzysta



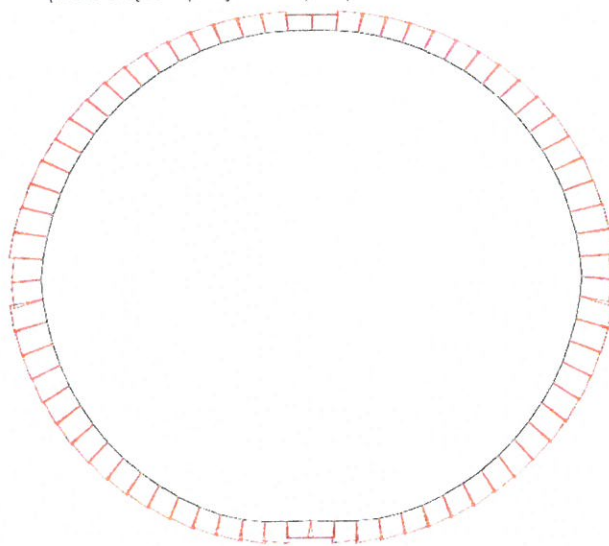
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 5.542 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = .167 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 78.86 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	250 mm
Średnica wewnętrzna	d <sub>i</sub>	=	250,00 mm
Grubość ścianki	t	=	5,5 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	90,0 mm
Grubość ścianki	tL	=	16,40 mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σ <sub>bz,k</sub>	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σ <sub>bz,d</sub>	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σ <sub>D,k</sub>	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σ <sub>D,d</sub>	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γ <sub>M</sub>	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γ <sub>M</sub>	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γ <sub>M(pi)</sub>	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ω <sub>v</sub>	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	Φ <sub>V</sub>	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ <sub>I</sub>	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ω <sub>GR,v</sub>	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E <sub>2</sub>	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K <sub>2</sub>	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	p <sub>i</sub>	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λ <sub>R</sub>	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γ <sub>R</sub>	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	h <sub>W,inv</sub>	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	p <sub>i</sub>	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γ <sub>F,G</sub> / γ <sub>F,Q</sub>	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γ <sub>pi</sub>	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	r <sub>L</sub>	=	81,8 mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z r <sub>L</sub>	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	r <sub>L</sub> /t <sub>L</sub>	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	2,5 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	66,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,1 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,4 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	8	0,1324	it	12	0,1481
it	9	0,1407	it	13	0,1484
it	10	0,1456	it	14	0,1485
it	11	0,1468	it	15	0,1486

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-23,41	-8,16	40,08	3	-24,14	-8,17	34,26
4	-24,87	-8,12	28,43	5	-25,60	-8,00	22,63
6	-26,33	-7,82	16,92	7	-27,04	-7,59	11,34
8	-27,72	-7,29	5,92	9	-28,39	-6,93	0,73
10	-29,01	-6,52	-4,22	11	-29,60	-6,06	-8,88
12	-30,15	-5,56	-13,20	13	-30,65	-5,01	-17,17
14	-31,09	-4,42	-20,74	15	-31,48	-3,80	-23,90
16	-31,81	-3,16	-26,61	17	-32,08	-2,49	-28,86
18	-32,27	-1,99	-30,64	19	-32,27	2,11	-31,93
20	-32,09	2,61	-30,56	21	-31,83	3,26	-28,70
22	-31,51	3,89	-26,37	23	-31,14	4,48	-23,59
24	-30,70	5,04	-20,39	25	-30,22	5,55	-16,80
26	-29,70	6,01	-12,84	27	-29,13	6,42	-8,55
28	-28,53	6,78	-3,97	29	-27,89	7,08	0,86
30	-27,23	7,32	5,92	31	-26,56	7,50	11,14
32	-25,87	7,62	16,94	33	-24,87	8,53	21,94
34	-23,63	9,64	28,01	35	-22,77	9,52	34,87
36	-22,50	8,16	41,60	37	-22,69	8,04	-46,14
Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]				
37	-22,69	8,04	-40,08				

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
ΣNd	-22,7	-32,3	-22,5	N/cm
ΣMd	46,1	-31,9	47,7	Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,319	-0,454	-0,317 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,079	-0,055	0,082 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(\pi)$	122,7	122,7	122,7 N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,269	-3,227	-2,250 N/mm
Moment zginający $M_d$	46,135	-31,925	47,692 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(\pi)$	7,482	7,482	7,482 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,441	6,525	8,480 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,383	7,950	6,352 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,460</b>	0,416	<b>0,463</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,276</b>	0,289	<b>0,273</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-4,212	-7,217	-4,350 N/mm
Moment zginający $M_d$	12,975	-23,496	13,495 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-2,706	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-1,580	0,000	-1,631 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,012	0,020	<b>0,012</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>107,9</b> kN / m <sup>2</sup>
bierność poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>57,1</b> kN / m <sup>2</sup>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{MF} = \gamma_{MM} = 1,0$ )

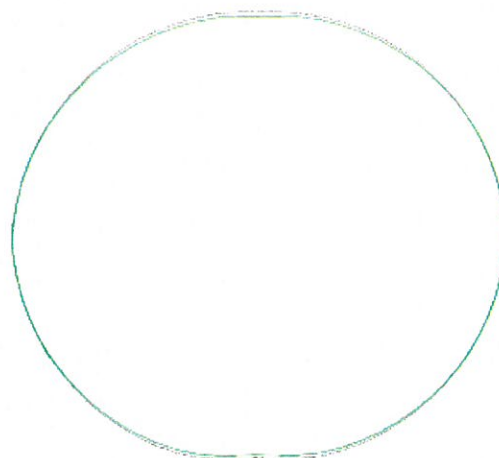
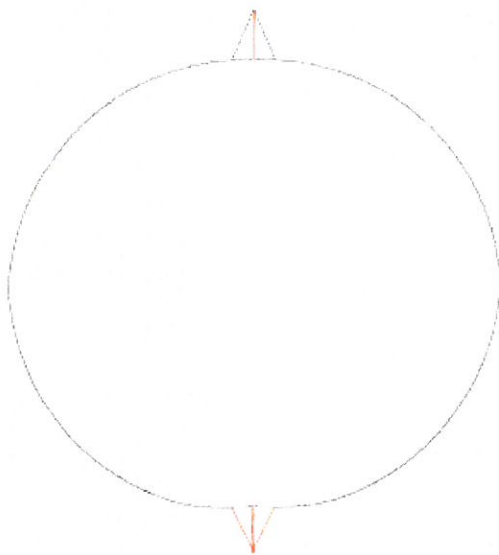
a) lokalne odkształcenie początkowe	$w_v$	1,64 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	$w_{GR,v}$	2,45 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	$w_{cr}$	0,79 mm
w najniższym punkcie	$w_{in}$	<b>0,71</b> mm
związany z $N_D/2$	$\delta_{v,el}$	0,92 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta_{v,el}$	6 %
c) odkształcenie całkowite	$w$	4,77 mm
związany z $N_D/2$	$\delta_v$	4,92 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta_v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	
	$p_{a,d}$	1005,16 kN / m <sup>2</sup>
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	66,84 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	
załącznik F	$q_{v,d}$	192,87 kN / m <sup>2</sup>
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,35</b>



# Rura projektowana

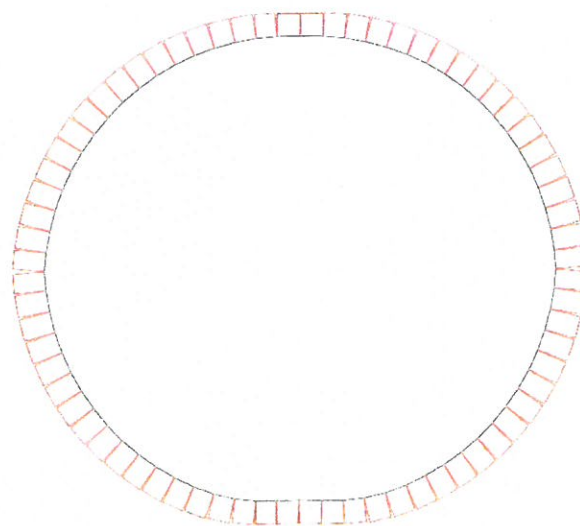
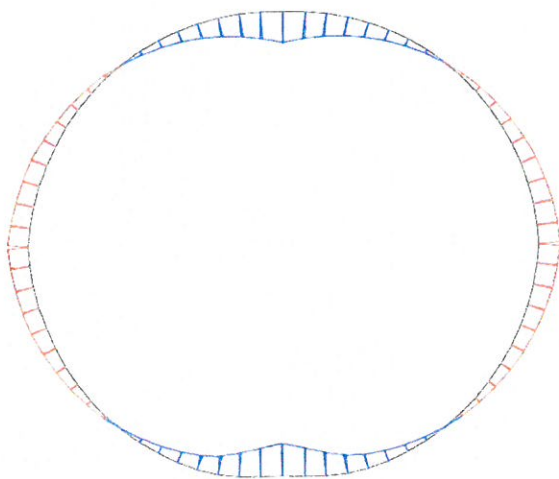


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 13.999 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 47.69 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

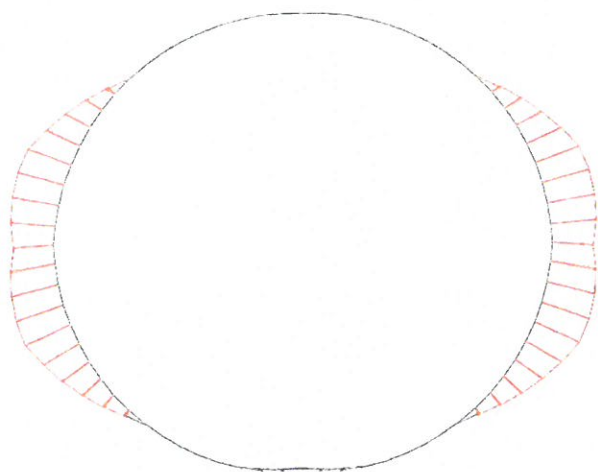
ugięcie,  $\max |d| = .149 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 32.27 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



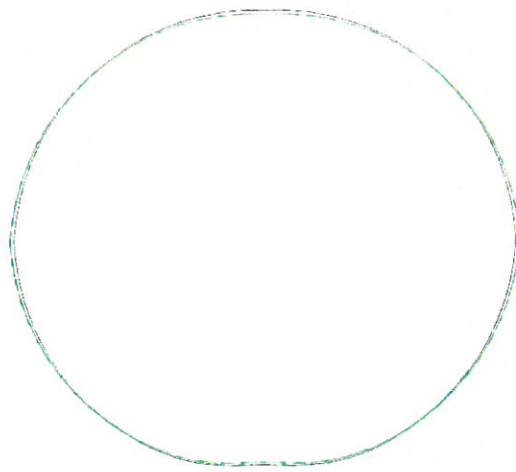
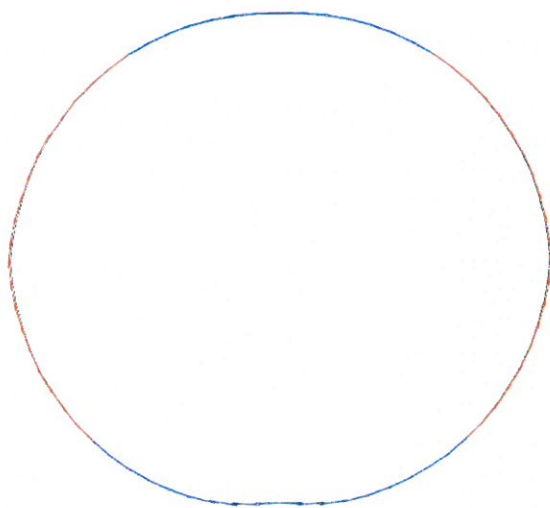


## Rura macierzysta



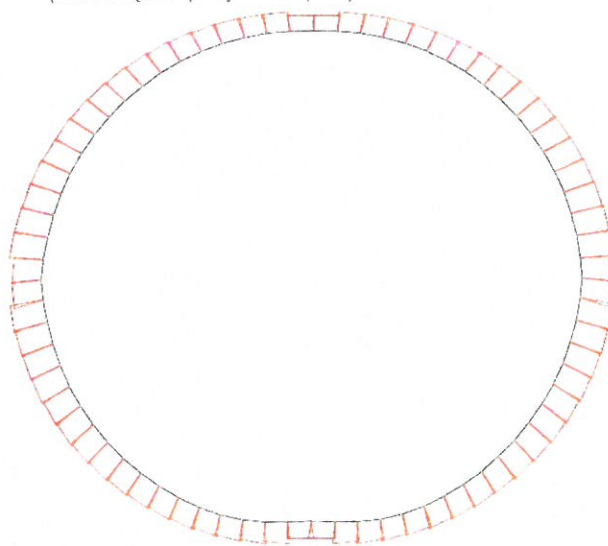
powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 4.967 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = .149 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 71.61 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	250 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	250,00 mm
Grubość ścianki	t	=	5,5 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	70,0 mm
Grubość ścianki	tL	=	12,70 mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	63,7 mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,32E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0
Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	1,9 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>



Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	$pT,k$	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	$pTh,k$	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę ( $0,75 \cdot pE,d + pT,d$ )	$qv,d$	=	66,5 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	$qh,d$	=	14,0 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	$ws$	=	0,3 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	19	0,0960	it	23	0,1113
it	20	0,1010	it	24	0,1118
it	21	0,1058	it	25	0,1119
it	22	0,1098	it	26	0,1119

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-18,22	-5,85	22,54	3	-18,74	-5,87	19,29
4	-19,27	-5,84	16,03	5	-19,80	-5,77	12,79
6	-20,32	-5,65	9,59	7	-20,83	-5,48	6,45
8	-21,33	-5,28	3,41	9	-21,81	-5,03	0,48
10	-22,27	-4,74	-2,32	11	-22,69	-4,42	-4,95
12	-23,09	-4,06	-7,40	13	-23,46	-3,67	-9,66
14	-23,78	-3,25	-11,69	15	-24,07	-2,81	-13,50
16	-24,31	-2,35	-15,06	17	-24,51	-1,87	-16,36
18	-24,65	-1,53	-17,40	19	-24,65	1,59	-18,16
20	-24,51	1,93	-17,37	21	-24,32	2,40	-16,30
22	-24,09	2,85	-14,97	23	-23,81	3,28	-13,39
24	-23,50	3,67	-11,57	25	-23,14	4,04	-9,53
26	-22,76	4,37	-7,28	27	-22,34	4,67	-4,85
28	-21,90	4,93	-2,26	29	-21,44	5,14	0,47
30	-20,96	5,32	3,33	31	-20,47	5,45	6,28
32	-19,97	5,53	9,31	33	-19,24	6,22	12,38
34	-18,33	7,09	15,83	35	-17,70	7,00	19,75
36	-17,50	5,95	23,60	37	-17,70	5,75	-25,91

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-17,70	5,75	-22,54

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
$\Sigma Nd$	-17,7	-24,7	-17,5 N/cm
$\Sigma Md$	25,9	-18,2	27,1 Ncm/cm



\*\*\*Wynik

\* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr na	-0,322	-0,448	-0,318 (dla kontroli patrz
M parametr ma	0,074	-0,052	0,077 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi Nd(pi)	95,5	95,5	95,5 N/mm
Siła normalna Nd	-1,770	-2,465	-1,750 N/mm
Moment zginający Md	25,911	-18,158	27,058 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(pi)$	7,518	7,518	7,518 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,406	6,603	8,453 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,479	7,954	6,440 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,455</b>	0,415	<b>0,459</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,283</b>	0,294	<b>0,280</b>

\* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna Nd	-3,305	-5,783	-3,412 N/mm
Moment zginający Md	9,696	-17,976	10,081 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-2,169	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-1,239	0,000	-1,279 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,009	0,016	<b>0,010</b>

\* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>104,8</b> kN / m <sup>2</sup>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>55,6</b> kN / m <sup>2</sup>

\* Analiza odkształceń ( $g_{amF} = g_{amM} = 1.0$ )

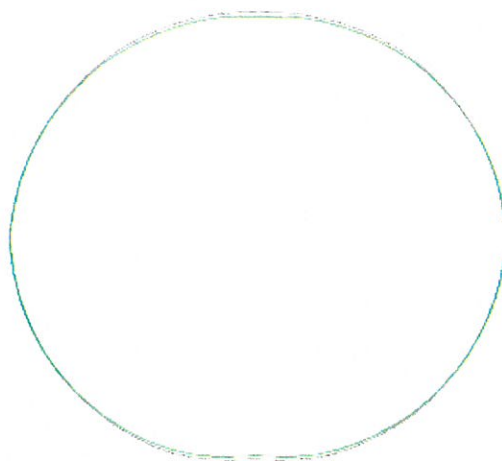
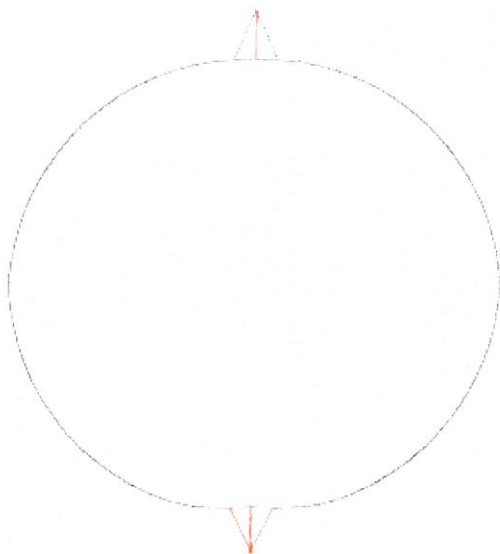
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	1,27 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	1,91 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	0,60 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,53</b> mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,88 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	3,67 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,88 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

\* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu wykładziny	pa,d	30,00 kN / m <sup>2</sup>
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	994,60 kN / m <sup>2</sup>
	pa,d	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	qv,d	66,46 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	219,28 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	qv,d	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,30</b>

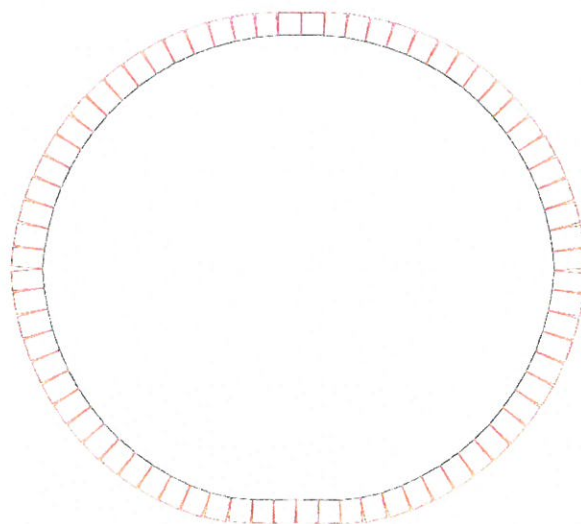
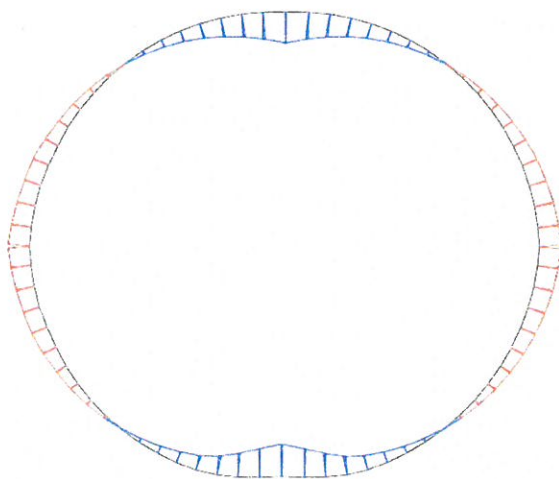


## Rura projektowana



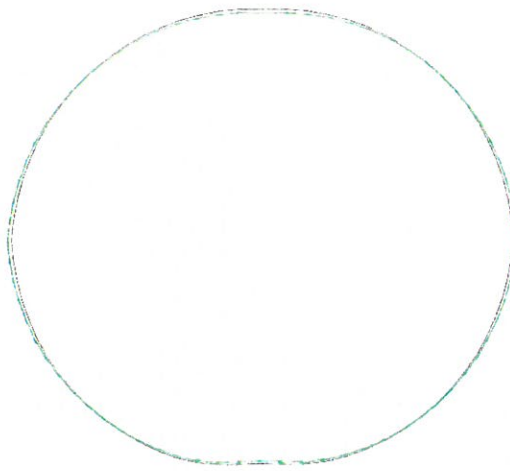
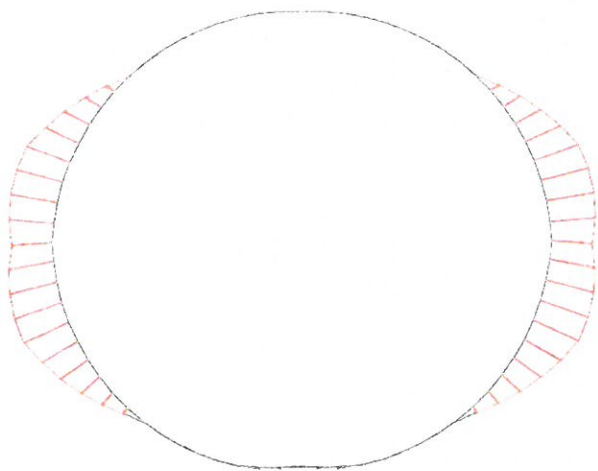
powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 9,913$   
N/cm  
poniżej: Linia M,  $\max |M| = 27,058$   
Ncm/cm  
(z obciążeń projektowych)

ugięcie,  $\max |d| = .112$  cm (nie  
powiększone)  
Linia N bez N(pi),  $\max |N| = 24,653$  N/cm  
(z obciążeń projektowych)





## Rura macierzysta

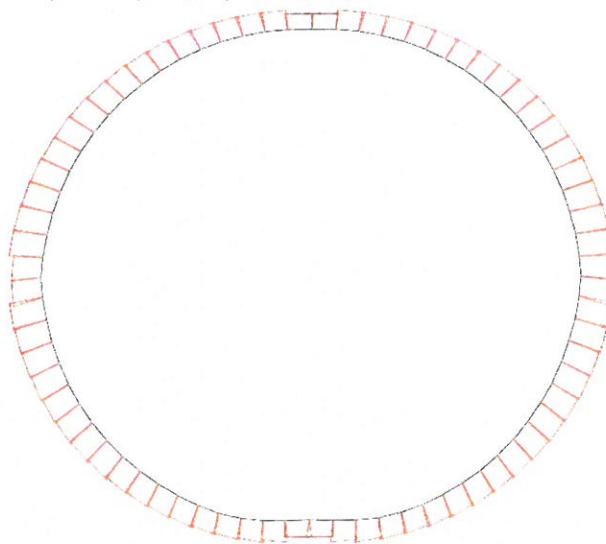
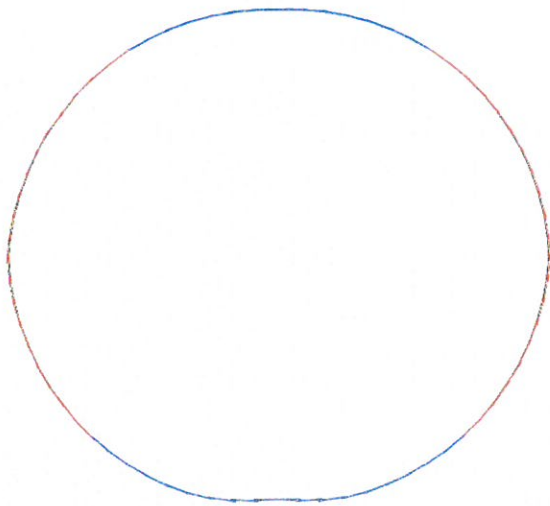


powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 3,845 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

ugięcie, maks  $|d| = .112 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 57,37 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





# Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

## \*\*\* Dane wejściowe

### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	200 mm
Średnica wewnętrzna	d <sub>i</sub>	=	200,00 mm
Grubość ścianki	t	=	5,0 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	r <sub>aL</sub>	=	90,0 mm
Grubość ścianki	t <sub>L</sub>	=	16,40 mm
Długość modułu elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długość wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σ <sub>bz,k</sub>	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σ <sub>bz,d</sub>	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długość wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σ <sub>D,k</sub>	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σ <sub>D,d</sub>	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γ <sub>M</sub>	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γ <sub>M</sub>	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γ <sub>M(pi)</sub>	=	1,50

### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ω <sub>v</sub>	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	Φ <sub>V</sub>	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ <sub>1</sub>	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ω <sub>GR,v</sub>	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E <sub>2</sub>	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K <sub>2</sub>	=	0,20

### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	p <sub>i</sub>	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λ <sub>R</sub>	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γ <sub>R</sub>	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	h <sub>W,inv</sub>	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	p <sub>i</sub>	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γ <sub>F,G</sub> / γ <sub>F,Q</sub>	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γ <sub>pi</sub>	=	1,50

### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	r <sub>L</sub>	=	81,8 mm
Rura projektowana, długość sztywności, związana z r <sub>L</sub>	SN	=	1,34E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	r <sub>L</sub> /t <sub>L</sub>	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	2,5 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	66,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,1 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,4 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	8	0,1324	it	12	0,1481
it	9	0,1407	it	13	0,1484
it	10	0,1456	it	14	0,1485
it	11	0,1468	it	15	0,1486

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-23,41	-8,16	40,08	3	-24,14	-8,17	34,26
4	-24,87	-8,12	28,43	5	-25,60	-8,00	22,63
6	-26,33	-7,82	16,92	7	-27,04	-7,59	11,34
8	-27,72	-7,29	5,92	9	-28,39	-6,93	0,73
10	-29,01	-6,52	-4,22	11	-29,60	-6,06	-8,88
12	-30,15	-5,56	-13,20	13	-30,65	-5,01	-17,17
14	-31,09	-4,42	-20,74	15	-31,48	-3,80	-23,90
16	-31,81	-3,16	-26,61	17	-32,08	-2,49	-28,86
18	-32,27	-1,99	-30,64	19	-32,27	2,11	-31,93
20	-32,09	2,61	-30,56	21	-31,83	3,26	-28,70
22	-31,51	3,89	-26,37	23	-31,14	4,48	-23,59
24	-30,70	5,04	-20,39	25	-30,22	5,55	-16,80
26	-29,70	6,01	-12,84	27	-29,13	6,42	-8,55
28	-28,53	6,78	-3,97	29	-27,89	7,08	0,86
30	-27,23	7,32	5,92	31	-26,56	7,50	11,14
32	-25,87	7,62	16,94	33	-24,87	8,53	21,94
34	-23,63	9,64	28,01	35	-22,77	9,52	34,87
36	-22,50	8,16	41,60	37	-22,69	8,04	-46,14
Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]				
37	-22,69	8,04	-40,08				

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt	
$\Sigma Nd$	-22,7	-32,3	-22,5	N/cm
$\Sigma Md$	46,1	-31,9	47,7	Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,319	-0,454	-0,317 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,079	-0,055	0,082 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	122,7	122,7	122,7 N/mm
Siła normalna $N_d$	-2,269	-3,227	-2,250 N/mm
Moment zginający $M_d$	46,135	-31,925	47,692 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(p_i)$	7,482	7,482	7,482 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,441	6,525	8,480 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,383	7,950	6,352 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,460</b>	0,416	<b>0,463</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,276</b>	0,289	<b>0,273</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-4,212	-7,217	-4,350 N/mm
Moment zginający $M_d$	12,975	-23,496	13,495 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-2,706	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-1,580	0,000	-1,631 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,012	0,020	<b>0,012</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>107,9</b> kN / m <sup>2</sup>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>57,1</b> kN / m <sup>2</sup>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mF} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

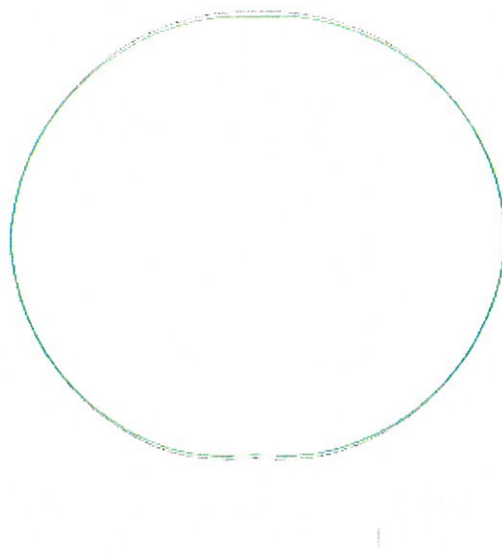
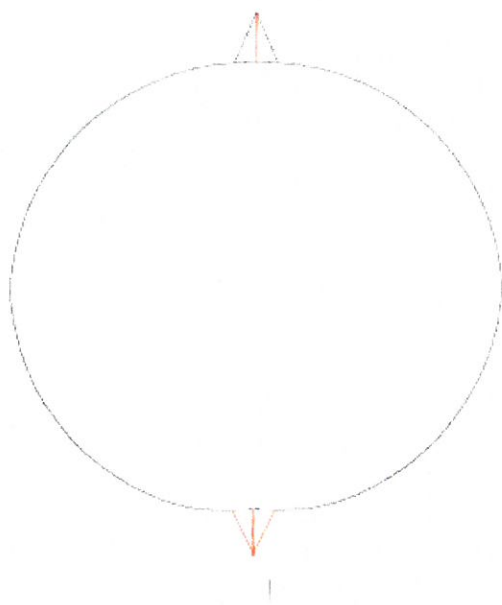
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	1,64 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	2,45 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	0,79 mm
w najniższym punkcie	win	<b>0,71</b> mm
związany z $ND/2$	$\delta v, el$	0,92 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	4,77 mm
związany z $ND/2$	$\delta v$	4,92 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1005,16 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	66,84 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	192,87 kN / m <sup>2</sup>
złącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,35</b>



## Rura projektowana

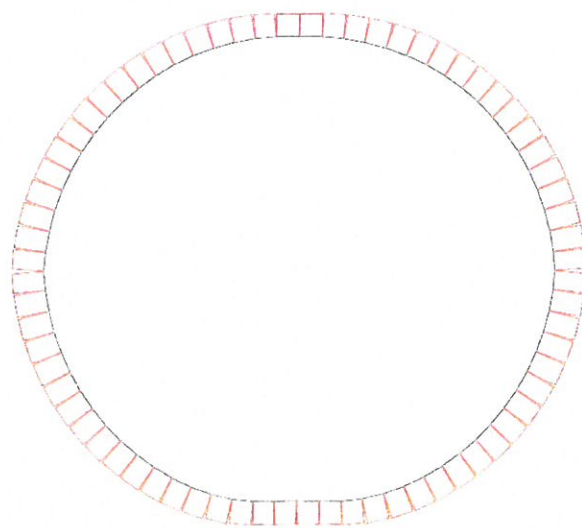
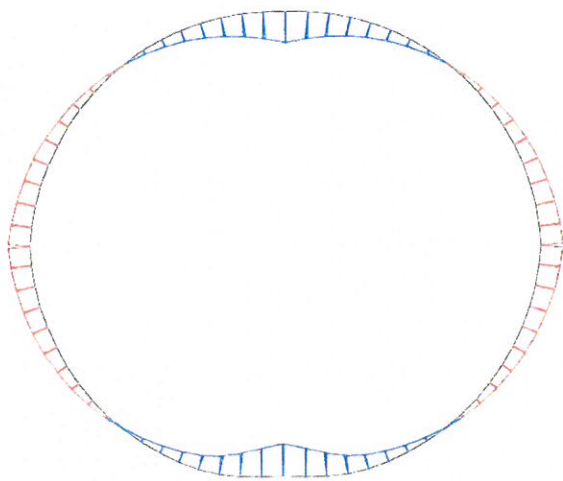


powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 13.999 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M,  $\max |M| = 47.69 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

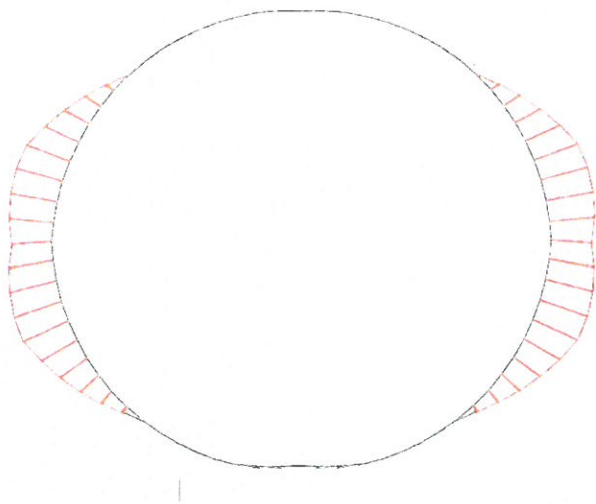
ugięcie,  $\max |d| = .149 \text{ cm}$  (nie  
powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ ,  $\max |N| = 32.27 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

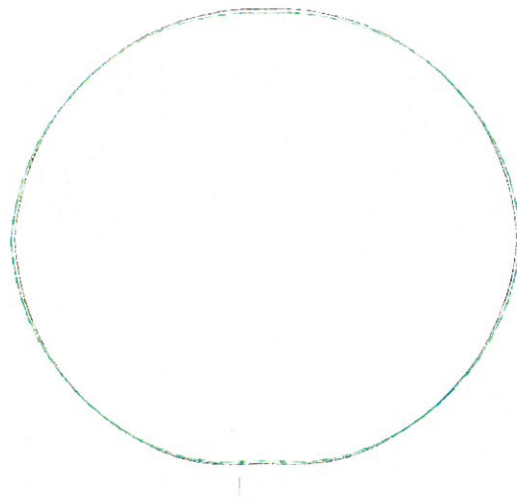




## Rura macierzysta

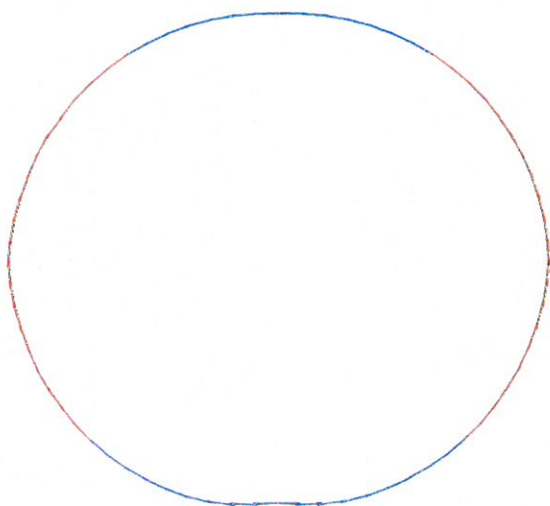


powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 4.967 \text{ N/cm}$

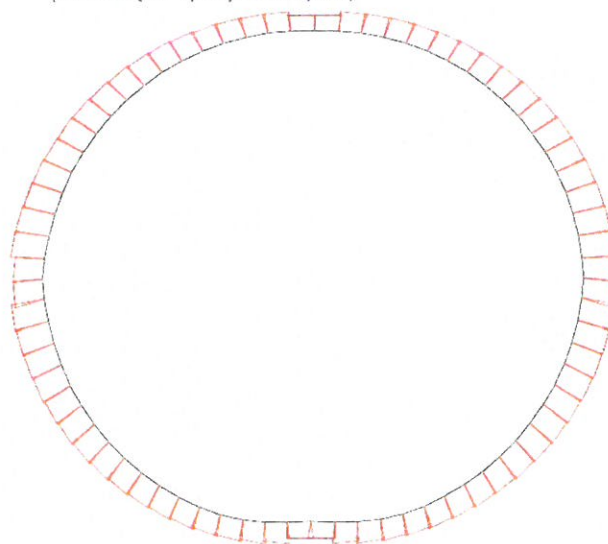


ugięcie, maks  $|d| = .149 \text{ cm}$  (nie powiększone)

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372.5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 71.61 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





## Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015

### \*\*\* Dane wejściowe

#### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	200 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	200,00 mm
Grubość ścianki	t	=	5,0 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

#### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	70,0 mm
Grubość ścianki	tL	=	12,70 mm
Długość modułu elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długość wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długość wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

#### \* Warunki instalacji, grunt

Miejsce odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

#### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurociągu)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

#### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	63,7 mm
Rura projektowana, długość sztywności, związana z rL	SN	=	1,32E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	1,9 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,4 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + p1,d)	qv,d	=	66,5 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	14,0 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,3 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	19	0,0960	it	23	0,1113
it	20	0,1010	it	24	0,1118
it	21	0,1058	it	25	0,1119
it	22	0,1098	it	26	0,1119

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości = belka 19a,

najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-18,22	-5,85	22,54	3	-18,74	-5,87	19,29
4	-19,27	-5,84	16,03	5	-19,80	-5,77	12,79
6	-20,32	-5,65	9,59	7	-20,83	-5,48	6,45
8	-21,33	-5,28	3,41	9	-21,81	-5,03	0,48
10	-22,27	-4,74	-2,32	11	-22,69	-4,42	-4,95
12	-23,09	-4,06	-7,40	13	-23,46	-3,67	-9,66
14	-23,78	-3,25	-11,69	15	-24,07	-2,81	-13,50
16	-24,31	-2,35	-15,06	17	-24,51	-1,87	-16,36
18	-24,65	-1,53	-17,40	19	-24,65	1,59	-18,16
20	-24,51	1,93	-17,37	21	-24,32	2,40	-16,30
22	-24,09	2,85	-14,97	23	-23,81	3,28	-13,39
24	-23,50	3,67	-11,57	25	-23,14	4,04	-9,53
26	-22,76	4,37	-7,28	27	-22,34	4,67	-4,85
28	-21,90	4,93	-2,26	29	-21,44	5,14	0,47
30	-20,96	5,32	3,33	31	-20,47	5,45	6,28
32	-19,97	5,53	9,31	33	-19,24	6,22	12,38
34	-18,33	7,09	15,83	35	-17,70	7,00	19,75
36	-17,50	5,95	23,60	37	-17,70	5,75	-25,91

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-17,70	5,75	-22,54

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
$\Sigma Nd$	-17,7	-24,7	-17,5 N/cm
$\Sigma Md$	25,9	-18,2	27,1 Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,322	-0,448	-0,318 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,074	-0,052	0,077 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z $p_i$ $N_d(p_i)$	95,5	95,5	95,5 N/mm
Siła normalna $N_d$	-1,770	-2,465	-1,750 N/mm
Moment zginający $M_d$	25,911	-18,158	27,058 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}(p_i)$	7,518	7,518	7,518 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{i,d}$	8,406	6,603	8,453 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	6,479	7,954	6,440 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,455</b>	0,415	<b>0,459</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,283</b>	0,294	<b>0,280</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-3,305	-5,783	-3,412 N/mm
Moment zginający $M_d$	9,696	-17,976	10,081 Nmm/mm
$\sigma_{i,d}$	0,000	-2,169	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{a,d}$	-1,239	0,000	-1,279 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,009	0,016	<b>0,010</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>104,8</b> kN / m <sup>2</sup>
bierność poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_{pgh} \cdot q_v$	<b>55,6</b> kN / m <sup>2</sup>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{mF} = \gamma_{mM} = 1.0$ )

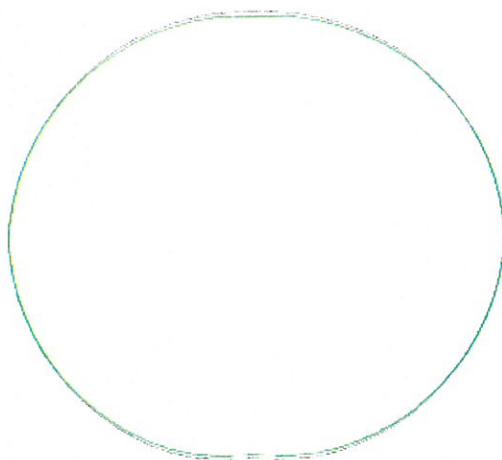
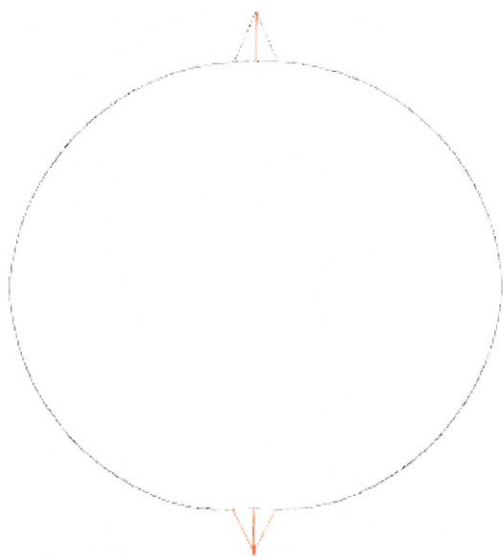
a) lokalne odkształcenie początkowe	wv	1,27 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	wGR,v	1,91 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	wcr	0,60 mm
w najniższym punkcie	w <sub>in</sub>	<b>0,53</b> mm
związany z ND/2	$\delta v, el$	0,88 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	w	3,67 mm
związany z ND/2	$\delta v$	4,88 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	994,60 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_{v,d}$	66,46 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	219,28 kN / m <sup>2</sup>
złącznik F	$q_{v,d}$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,30</b>

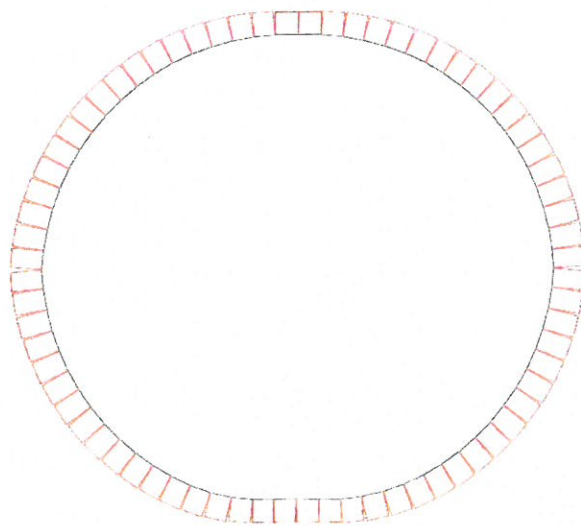
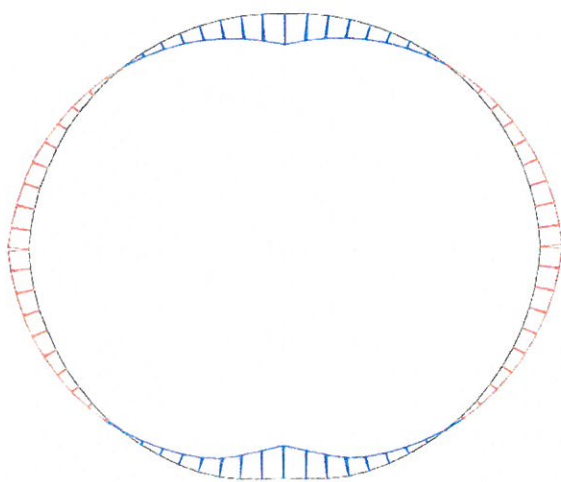


## Rura projektowana



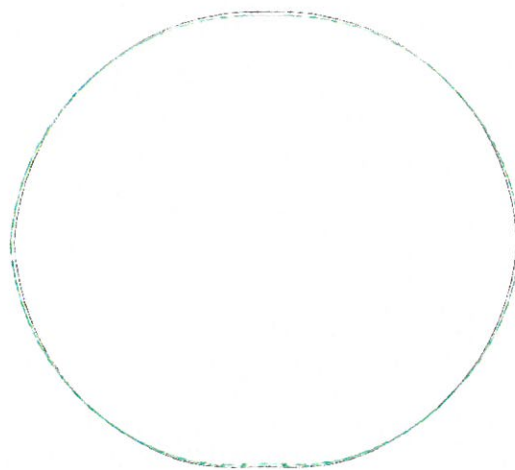
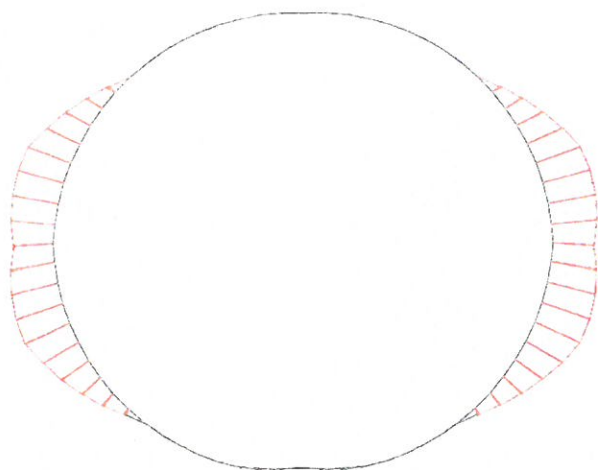
powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 9,913$   
N/cm  
poniżej: Linia M,  $\max |M| = 27,058$   
Ncm/cm  
(z obciążeń projektowych)

ugięcie,  $\max |d| = .112$  cm (nie  
powiększone)  
Linia N bez N(pi),  $\max |N| = 24,653$  N/cm  
(z obciążeń projektowych)





## Rura macierzysta

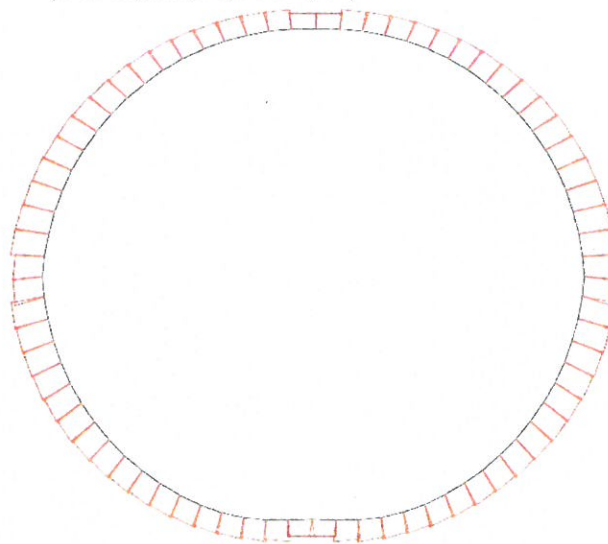
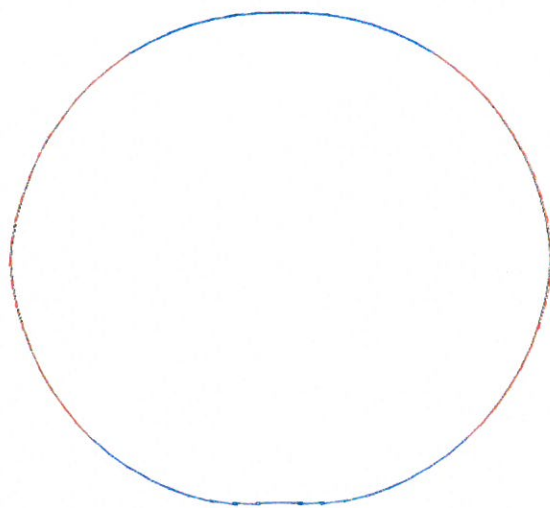


powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 3,845 \text{ N/cm}$

ugięcie, maks  $|d| = .112 \text{ cm}$  (nie powiększone)

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 57,37 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)





## Projekt konstrukcji rur według Normy nr DWA-A 143-2:2015 – Ø125 mm

### \*\*\* Dane wejściowe

#### \* Rura macierzysta - okrąg

Materiał: Żeliwo			
Średnica nominalna	ND	=	150 mm
Średnica wewnętrzna	di	=	150,00 mm
Grubość ścianki	t	=	4,0 mm
Względna mimośrodowość przegubu (patrz Tabela 14)	eG/t	=	0,35
Moduł sprężystości	ER	=	50000 N/mm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie/zginanie	BR/BbZ	=	200,0/200,0 N/mm <sup>2</sup>
Stan rury macierzystej	AZ		III

#### \* Rura projektowana - okrąg

Materiał: PE			
Promień (zewnątrzny)	raL	=	62,5 mm
Grubość ścianki	tL	=	11,40 mm
Długotrwały moduł elastyczności, wartość charakterystyczna	EL,k	=	200 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa (korzystna: częściowy współczynnik bezpieczeństwa 1,0)	EL,d	=	200 N/mm <sup>2</sup>
Liczba Poissona	μ	=	0,35
Długotrwała wytrzymałość na zginanie, wartość charakterystyczna	σbz,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σbz,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Długotrwała wytrzymałość na ściskanie, wartość charakterystyczna	σD,k	=	14,0 N/mm <sup>2</sup>
wartość projektowa	σD,d	=	11,2 N/mm <sup>2</sup>
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, niekorzystny	γM	=	1,25
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, korzystny	γM	=	1,00
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału, rura ciśnieniowa	γM(pi)	=	1,50

#### \* Warunki instalacji, grunt

Miejscowe odkształcenie wstępne starej rury lub rury projektowanej	ωv	=	2,00 %
Położenie odkształcenia początkowego	ΦV	=	180,0 °
Kąt rozwarcia	2Φ1	=	40,0 °
Deformacja rury macierzystej jako cztero-przegubowego pierścienia (owalność)	ωGR,v	=	3,00 %
Moduł deformacji gleby	E2	=	8,00 N/mm <sup>2</sup>
Współczynnik nacisku gleby	K2	=	0,20

#### \* Obciążenie

Obciążenie ruchem drogowym: Ciężkie samochody ciężarowe	SLW		60
Ciśnienie wewnętrzne (ciśnienie w rurowości)	pi	=	100,00 bar
Pokrywa nad wierzchołkiem rury	h	=	2,00 m
Współczynnik spiętrzenia naprężeń w glebie	λR	=	0,75
Waga jednostkowa rury macierzystej	γR	=	70,50 kN / m <sup>3</sup>
Woda gruntowa powyżej dolnego punktu rury projektowanej	hW,inv	=	2,00 m
Rura ciśnieniowa (wykładzina ciśnieniowa)	pi	=	10,00 bar
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla trwałego/zmiennego udaru	γF,G / γF,Q	=	1,35 / 1,50
Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla ciśnienia wewnętrznego (rury ciśnieniowe)	γpi	=	1,50

#### \* Obliczone dane

Rura projektowana, promień na osi	rL	=	56,8 mm
Rura projektowana, długotrwała sztywność, związana z rL	SN	=	1,35E-01 N / mm <sup>2</sup>
zależność r/t	rL/tL	=	5,0



Cztero-przegubowa deformacja rury projektowanej	wGR,v	=	1,7 mm
Pozioma sztywność podłoża	SBh	=	6,4 N/mm <sup>2</sup>
Pionowy nacisk na glebę przez ruch drogowy (wykres 1-4)	pT,k	=	29,8 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby przez ruch drogowy (wykres 5)	pTh,k	=	7,5 kN / m <sup>2</sup>
Pionowy nacisk gleby na starą rurę (0.75*pE,d + pT,d)	qv,d	=	66,3 kN / m <sup>2</sup>
Poziomy nacisk gleby na rurę macierzystą	qh,d	=	13,9 kN / m <sup>2</sup>
Szerokość przerwy (pierścieniowej)	ws	=	0,3 mm

### \*\*\* Wynik pośredni

#### \* Iteracje

(Obciążenia projektowe przy  $\gamma_F = 1,50$ )

maksymalna wartość odkształcenia [cm]:

it	19	0,0824	it	23	0,0967
it	20	0,0867	it	24	0,0971
it	21	0,0909	it	25	0,0972
it	22	0,0952	it	26	0,0972

Siły osiowe (prawa połowa profilu) w teorii nieliniowej

(wszystkie siły osiowe dotyczą 1 cm długości rury).

najwyższy punkt = belka 1a, środek wysokości =

belka 19a, najniższy punkt = belka 36e

Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]	Belka	Na [N]	Qa [N]	Ma [Ncm]
2	-16,27	-5,07	17,46	3	-16,72	-5,09	14,95
4	-17,18	-5,06	12,43	5	-17,64	-5,00	9,92
6	-18,09	-4,90	7,44	7	-18,53	-4,76	5,01
8	-18,97	-4,58	2,66	9	-19,38	-4,37	0,38
10	-19,78	-4,12	-1,78	11	-20,15	-3,84	-3,82
12	-20,49	-3,54	-5,73	13	-20,81	-3,20	-7,48
14	-21,09	-2,84	-9,07	15	-21,34	-2,46	-10,47
16	-21,56	-2,06	-11,69	17	-21,73	-1,64	-12,71
18	-21,86	-1,36	-13,52	19	-21,86	1,40	-14,12
20	-21,74	1,68	-13,50	21	-21,57	2,09	-12,67
22	-21,36	2,48	-11,63	23	-21,12	2,85	-10,40
24	-20,85	3,20	-8,99	25	-20,54	3,52	-7,41
26	-20,21	3,81	-5,66	27	-19,84	4,06	-3,78
28	-19,46	4,29	-1,77	29	-19,06	4,47	0,36
30	-18,64	4,62	2,57	31	-18,22	4,74	4,87
32	-17,78	4,81	7,21	33	-17,15	5,43	9,60
34	-16,35	6,20	12,28	35	-15,80	6,12	15,34
36	-15,62	5,19	18,35	37	-15,82	4,97	-20,06

Element	Ne [N]	Ve [N]	Me [Ncm]
37	-15,82	4,97	-17,46

#### \* Odpowiednie projektowe siły osiowe

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
$\Sigma Nd$	-15,8	-21,9	-15,6 N/cm
$\Sigma Md$	20,1	-14,1	21,0 Ncm/cm



### \*\*\*Wynik

#### \* Analiza naprężeń, projektowana rura

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
N parametr $n_q$	-0,323	-0,446	-0,319 (dla kontroli patrz
M parametr $m_q$	0,072	-0,051	0,076 DWA-A 143-2, E)
Siła normalna z pi $N_d(p_i)$	85,2	85,2	85,2 N/mm
Siła normalna $N_d$	-1,582	-2,186	-1,562 N/mm
Moment zginający $M_d$	20,062	-14,119	21,040 Nmm/mm
$\sigma_i, d(p_i)$	7,474	7,474	7,474 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_i, d$	8,323	6,587	8,373 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	6,471	7,890	6,430 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	<b>0,450</b>	0,411	<b>0,454</b>
Dowód naprężeń ściskających ( $\leq 1$ )	<b>0,284</b>	0,294	<b>0,281</b>

#### \* Analiza naprężeń, rura macierzysta(HPS III)

	najwyższy punkt	środek wysokości	najniższy punkt
Siła normalna $N_d$	-2,952	-5,235	-3,048 N/mm
Moment zginający $M_d$	8,417	-15,825	8,751 Nmm/mm
$\sigma_i, d$	0,000	-1,963	0,000 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_a, d$	-1,107	0,000	-1,143 N/mm <sup>2</sup>
Dowód naprężeń zginających ( $\leq 1$ )	-	-	-
Dowód ściskania ( $\leq 1$ )	0,008	0,015	<b>0,009</b>

#### \* Stan graniczny nośności gruntu

całkowity poziomy nacisk gleby	$q_h + q_h^*$	<b>102,4 kN / m<sup>2</sup></b>
biernie poziome parcie gruntu	$> 0,75 \cdot K_p g h \cdot q_v$	<b>55,1 kN / m<sup>2</sup></b>

#### \* Analiza odkształceń ( $\gamma_{aF} = \gamma_{aM} = 1.0$ )

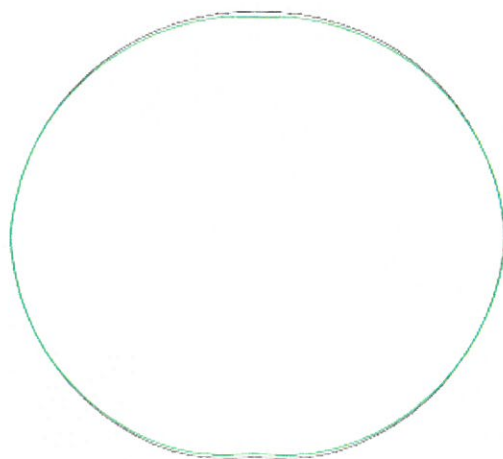
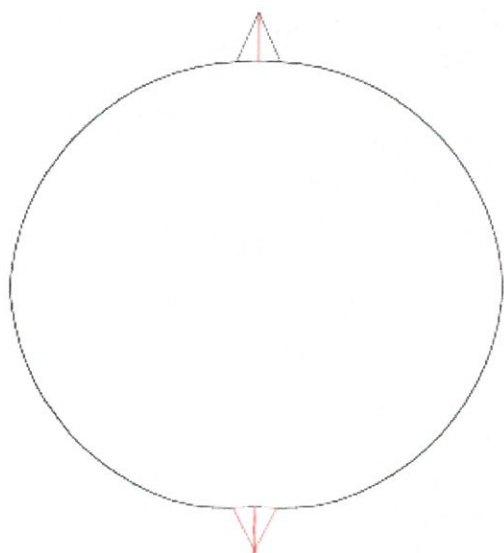
a) lokalne odkształcenie początkowe	$w_v$	1,14 mm
początkowe odkształcenie cztero-przegubowe	$w_{GR,v}$	1,70 mm
b) odkształcenie sprężyste (dodatnie = do środka)		
z teorii nieliniowej, dla najwyższego punktu	$w_{cr}$	0,52 mm
w najniższym punkcie	$w_{in}$	<b>0,45 mm</b>
związany z $N_d/2$	$\delta v, el$	0,86 %
adm. odkształcenie sprężyste (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v, el$	6 %
c) odkształcenie całkowite	$w$	3,24 mm
związany z $N_d/2$	$\delta v$	4,86 %
wartość zalecana (DWA-A 143-2, 7.6.3)	adm $\delta v$	10 %

#### \* Analiza stabilności

Projektowe ciśnienie wody gruntowej powyżej najniższego punktu	$p_{a,d}$	30,00 kN / m <sup>2</sup>
wykładziny		
projektowe ciśnienie krytyczne	crit	1007,54 kN / m <sup>2</sup>
	$p_{a,d}$	
projektowe pionowe parcie gruntu na starą rurę	$q_v, d$	66,32 kN / m <sup>2</sup>
obciążenie krytyczne układu stara rura-grunt (bez wykładziny),	crit	232,08 kN / m <sup>2</sup>
załącznik F	$q_v, d$	
dowód układu stara rura-grunt ( $\leq 1$ )	Proof	<b>0,29</b>

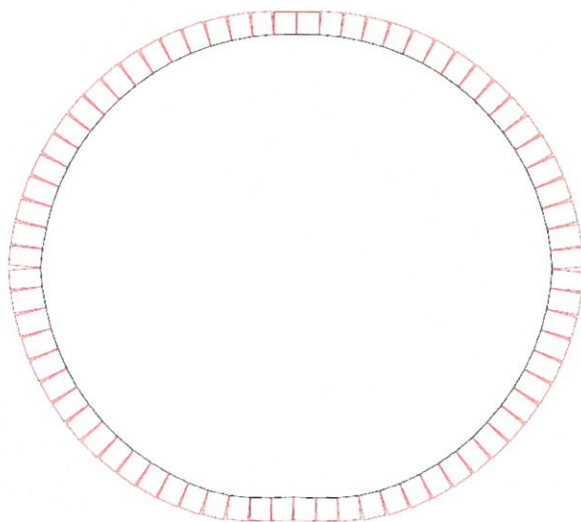
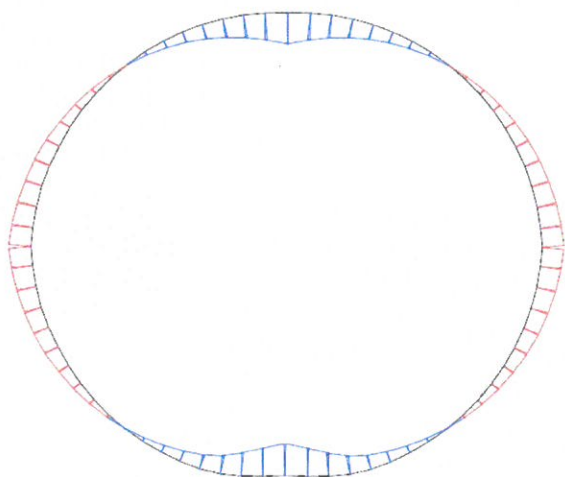


## Rura projektowana



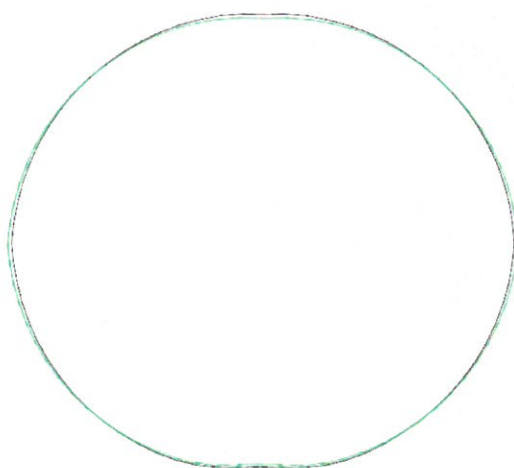
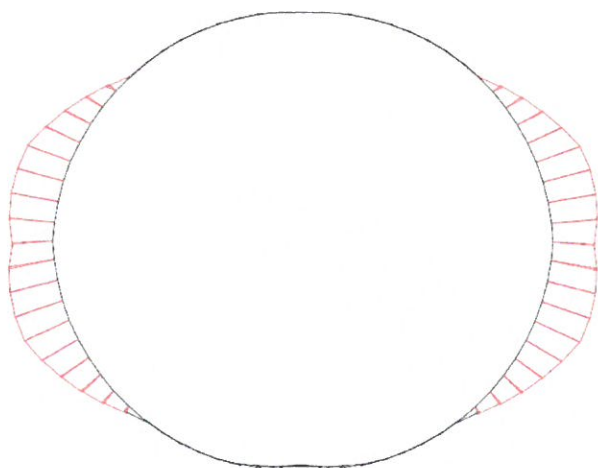
powyżej: siły nacisku,  $\max |K| = 8,551$  N/cm  
poniżej: Linia M,  $\max |M| = 21,04$  Ncm/cm  
(z obciążeń projektowych)

ugięcie,  $\max |d| = .097$  cm (nie powiększone)  
Linia N bez N(pi),  $\max |N| = 21,856$  N/cm  
(z obciążeń projektowych)



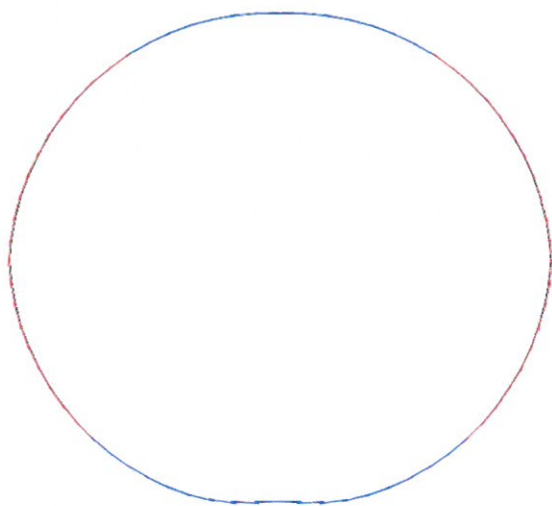


## Rura macierzysta



powyżej: odpór podłoża, maks  $|q_h^*| = 3,398 \text{ N/cm}$

poniżej: Linia M, maks  $|M| = 372,5 \text{ Ncm/cm}$   
(z obciążeń projektowych)



ugięcie, maks  $|d| = .097 \text{ cm}$  (nie powiększone)

Linia N bez  $N(\pi)$ , maks  $|N| = 51,92 \text{ N/cm}$   
(z obciążeń projektowych)

