

KONFERENCJA
„PROBLEMY EKSPLOATACYJNE BAZ MAGAZYNOWYCH PRODUKTÓW NAFTOWYCH”
POZNAŃ, 11 – 12 maja 1999

JAKOŚCIOWA I ILOŚCIOWA OCENA ODCHYLEK WYKONANIA PŁASZCZY ZBIORNIKÓW STALOWYCH

mgr inż. Dariusz Kowalski

Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Lądowego

Jakościowa i ilościowa ocena odchyłek wykonania płaszczy zbiorników stalowych

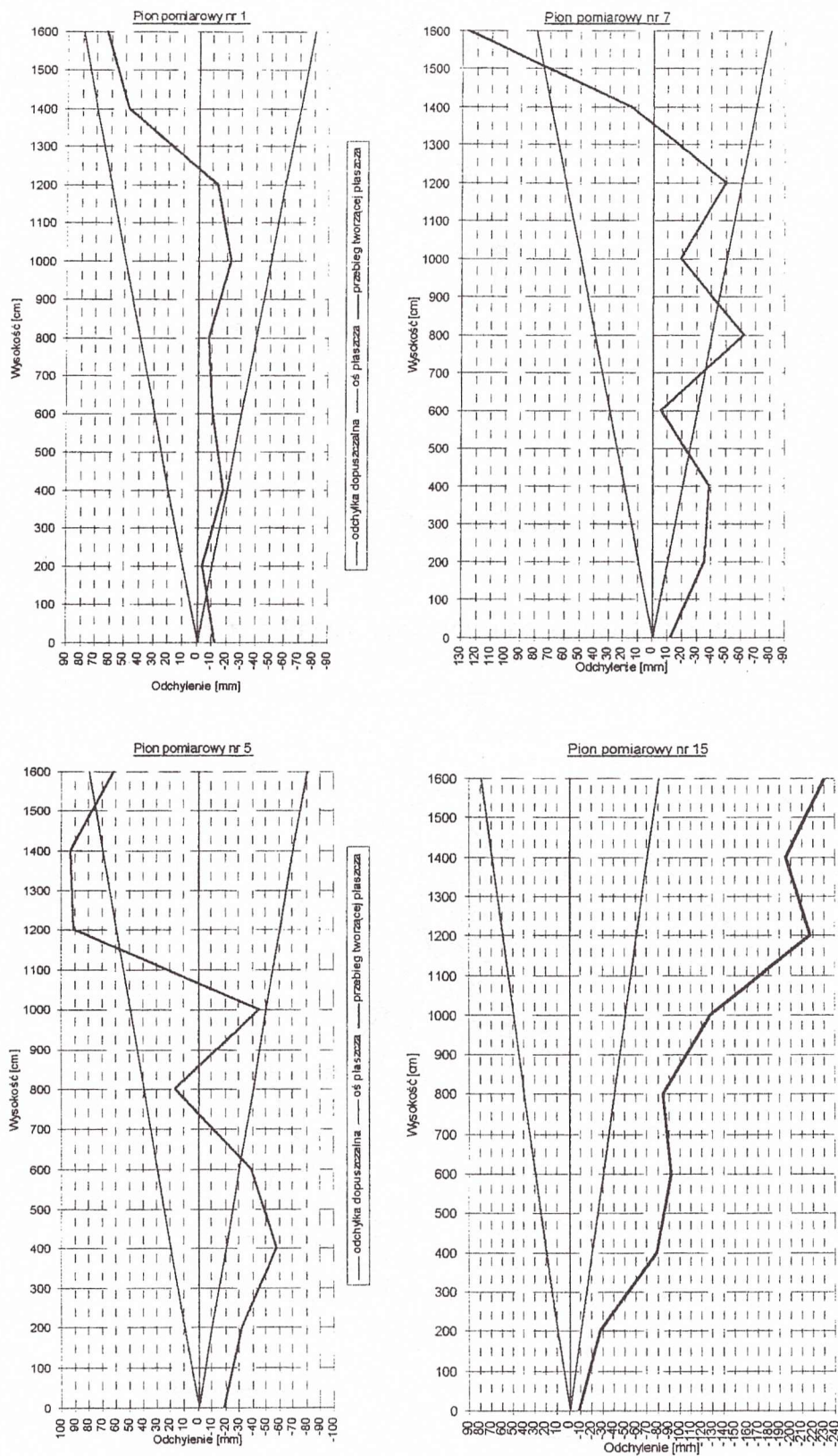
Przyczyny powstawania imperfekcji geometrycznych zbiorników walcowych omówiono w referacie pt. „Imperfekcje stalowych zbiorników walcowych, przyczynach powstawania i metody ich ograniczania”. Większości z tych przyczyn nie da się do końca wykluczyć czy też całkowicie wyeliminować nawet przy zachowaniu najostrożniejszego reżimu technologicznego wykonania konstrukcji. Pod uwagę należy wziąć również fakt, że okres wykonania konstrukcji stalowej zbiornika, w zależności od jego pojemności, waha się w granicach od 4 do 9 miesięcy. W okresie tym dobowe zmiany temperatury jak też zmiany sezonowe wpływają na zmianę wartości deformacji części konstrukcji wykonywanych w różnych temperaturach powietrza atmosferycznego. Powyższe przyczyny wymagają opracowania dla potrzeb służb kontroli technicznej i nadzoru warunków wykonania i odchyłek od wymiarów teoretycznych poszczególnych elementów składowych zbiorników. Każdy kraj ma własne wytyczne w tym zakresie, choć najbardziej popularne są wytyczne opracowane przez Amerykański Instytut Nafty. W Polsce do niedawna obowiązywała norma odbioru i wykonania konstrukcji zbiorników PN-84/B-06210 pod nazwą „Zbiorniki walcowe na ciecz. Wykonanie i badanie”. Norma ta w 1997 roku została zastąpiona normą dotyczącą zarówno projektowania jak i wykonywania konstrukcji zbiornikowych PN-B-03210:1997 „Zbiorniki walcowe pionowe na ciecz. Projektowanie i wykonanie.”

W normie tej w tablicy 11 określono wartości dopuszczalnych odchyłek od idealnie walcowego kształtu płaszczy zbiorników w zależności od ich średnicy wewnętrznej. Poniżej w tablicy 1 podano przykładowe normowe odchyłki płaszcza zbiornika.

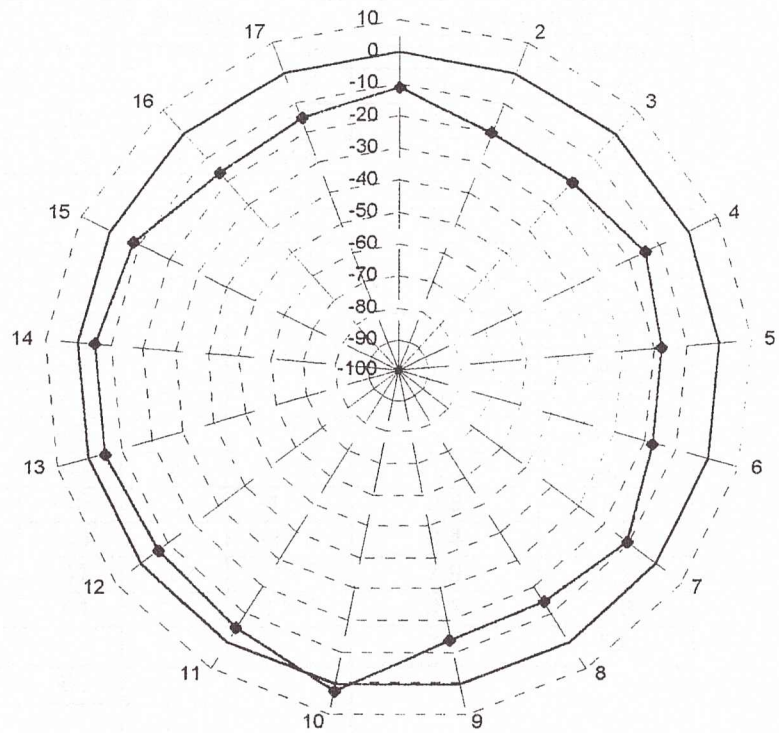
Tablica 1. (wg PN-B-03210 : 1997, tab. 11)

Dopuszczalne odchyłki dla zbiornik o pojemności $V=50\ 000\ m^3$ wynoszą		
$\pm 60\ mm$	Dla pomiaru na poziome 300 mm nad dnem zbiornika	<i>Odchyłka liczona w stosunku do średnicy teoretycznej zbiornika</i>
$\pm 130\ mm$	Dla pomiaru na górnej krawędzi płaszcza zbiornika	
$\pm 0,0045h$	Dla odchylenia tworzącej płaszcza od pionu	<i>Odchyłka liczona w stosunku do poziomu pomiaru</i>

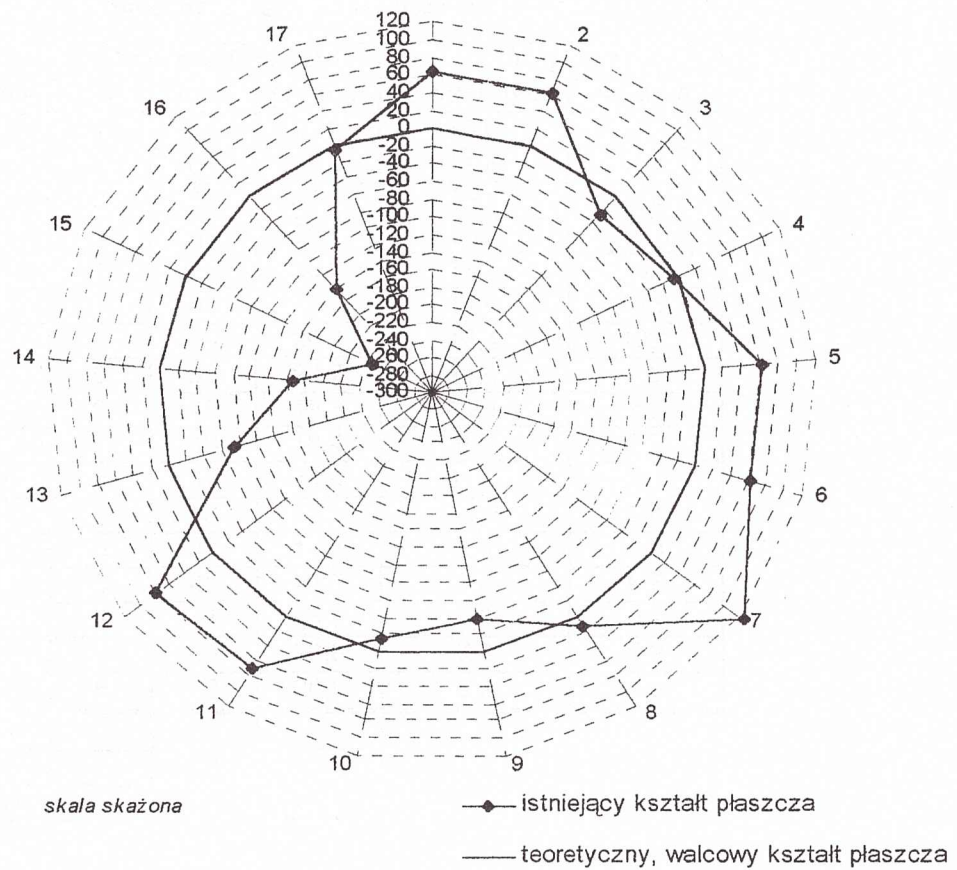
Występujące w praktyce odchyłki od teoretycznego kształtu płaszcza zbiornika o pojemności 10 000 m³ pokazano na wybranych czterech pionach pomiarowych wzdłuż tworzących płaszcza.



Rys. 1. Odchylenia tworzących płaszcza od pionu zbiornik o pojemności $V=10\ 000\ m^3$



Rys. 2. Przekrój poziomy na wysokości 0,00 m



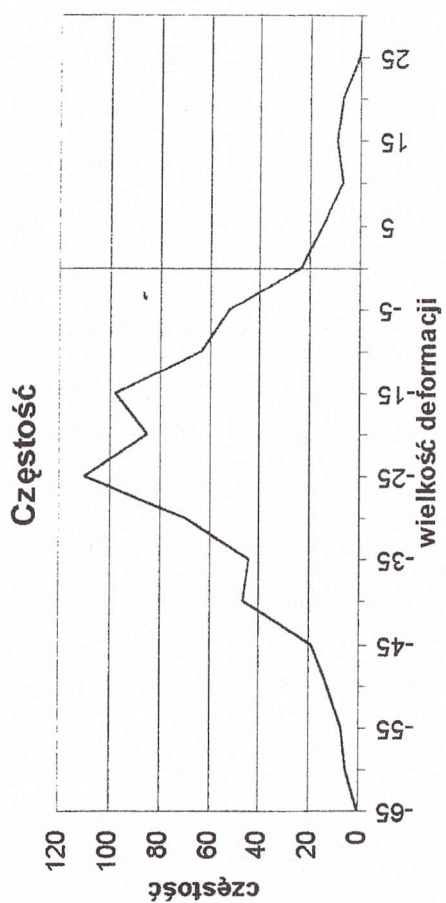
Rys. 3. Przekrój poziomy na wysokości 16,00 m

Tablica 2. Rzeczywiste odchyłki tworzącej płaszcz.

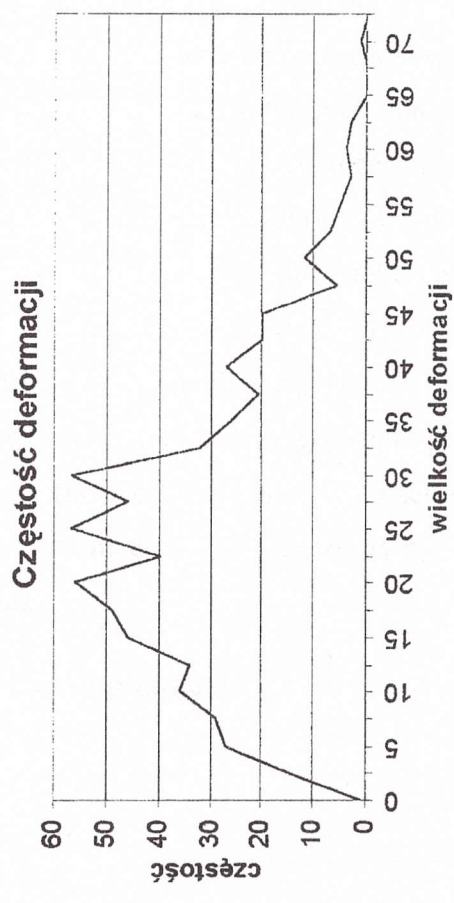
Nr poziomu	Deformacja (mm)			Odchylenie	
	min	max	średnia	standardowe	średnie
17	-61	25	-23,5	20,4	16,8
16	-61	-12	-35,9	11,8	9,3
15	-60	9	-29,6	15,9	13,1
14	-69	4	-29,9	17,0	13,9
13	-60	12	-25,0	18,8	15,6
12	-57	16	-23,4	17,8	14,3
11	-56	20	-24,0	15,9	12,3
10	-52	18	-21,7	14,9	11,6
9	-49	16	-17,2	13,3	9,8
8	-48	12	-17,0	12,2	9,0
7	-47	8	-12,6	12,5	10,3
6	-43	2	-17,4	10,5	8,5
5	-42	5	-17,2	9,3	7,1
4	-46	-6	-24,9	8,4	6,6
3	-41	-10	-25,7	7,9	6,2
2	-44	11	-22,3	9,1	6,9
1	-32	8	-20,2	7,4	5,6
<i>min</i>	-69				
<i>max</i>		25			
<i>średnia</i>			-22,8		

Tablica 3. Odchyłki bezwzględne tworzącej płaszcz.

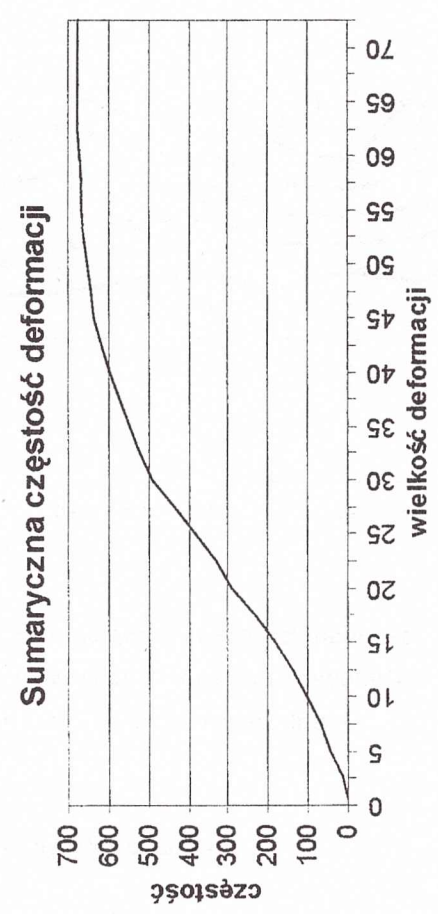
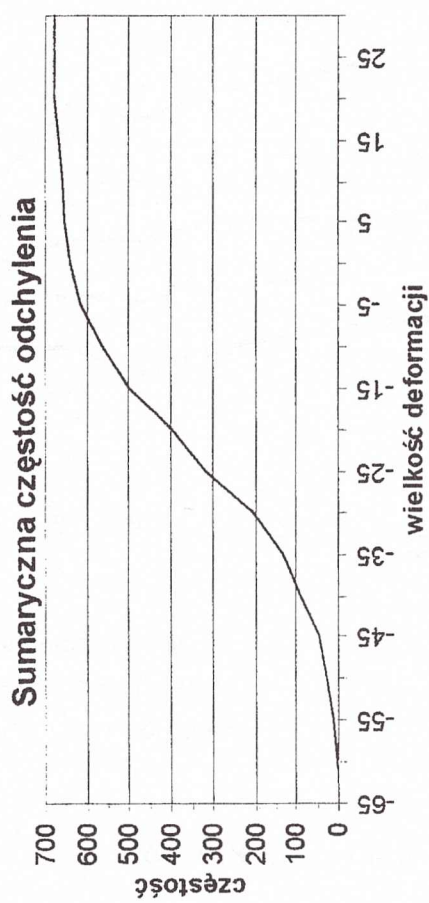
Nr poziomu	Deformacja (mm)			Odchylenie	
	min	max	średnia	standardowe	średnie
17	1	61	27,2	15,0	12,7
16	12	61	35,9	11,8	9,3
15	2	60	30,1	15,1	12,6
14	3	69	30,1	16,7	13,8
13	1	60	26,2	17,1	14,5
12	1	57	25,6	14,4	11,9
11	1	56	26,0	12,4	10,1
10	6	52	23,7	11,4	9,3
9	0	49	19,3	10,1	7,7
8	2	48	18,4	9,8	7,5
7	1	47	14,0	11,0	9,1
6	2	43	17,5	10,3	8,4
5	3	42	17,4	8,9	6,8
4	6	46	24,9	8,4	6,6
3	10	41	25,7	7,9	6,2
2	10	44	22,8	7,6	6,2
1	8	32	20,6	6,2	5,3
<i>min</i>	0				
<i>max</i>		69			
<i>średnia</i>			23,8		



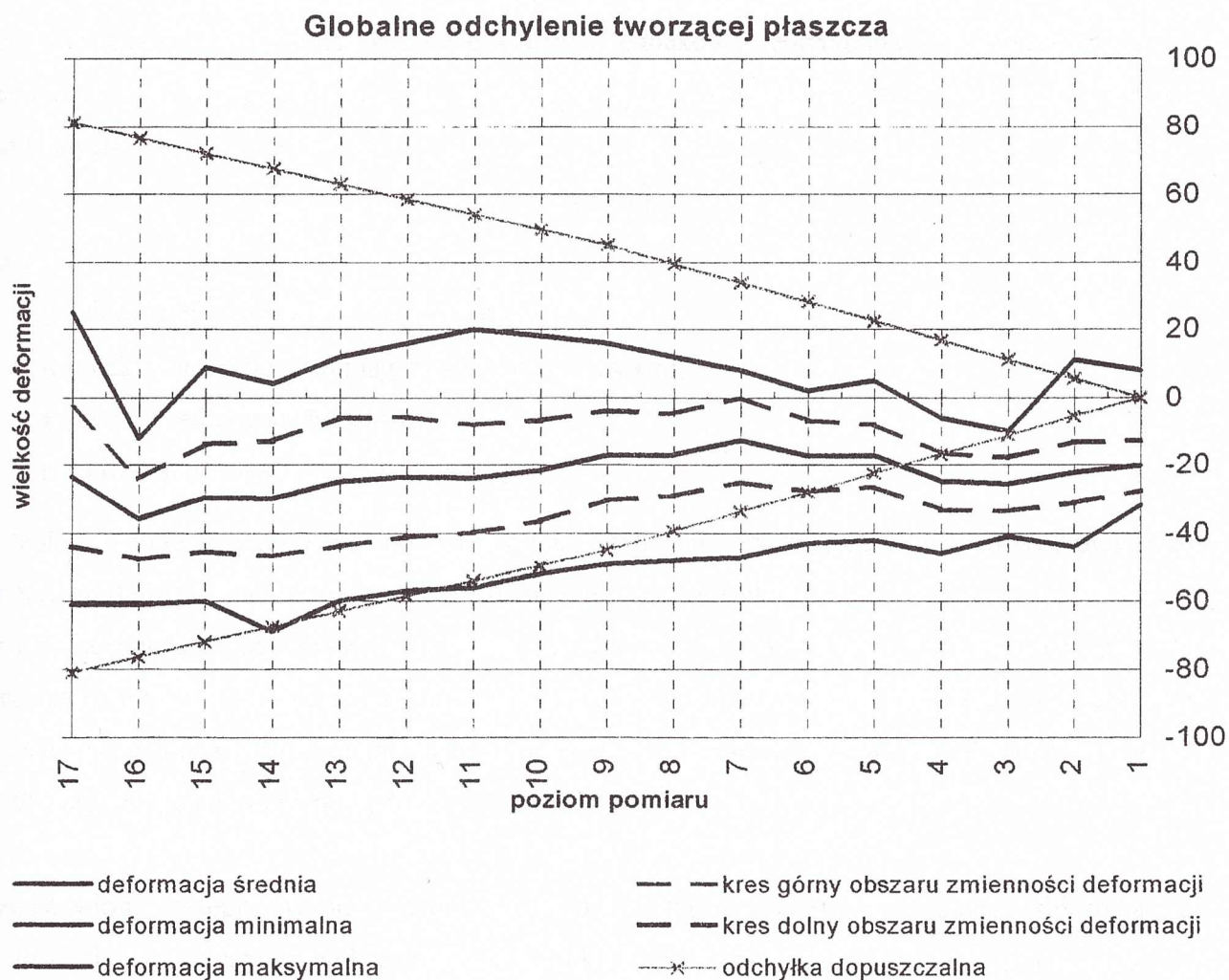
Rys. 4. Rozkład częstości odchyłki rzeczywistej



Rys. 5. Rozkład częstości odchyłki absolutnej

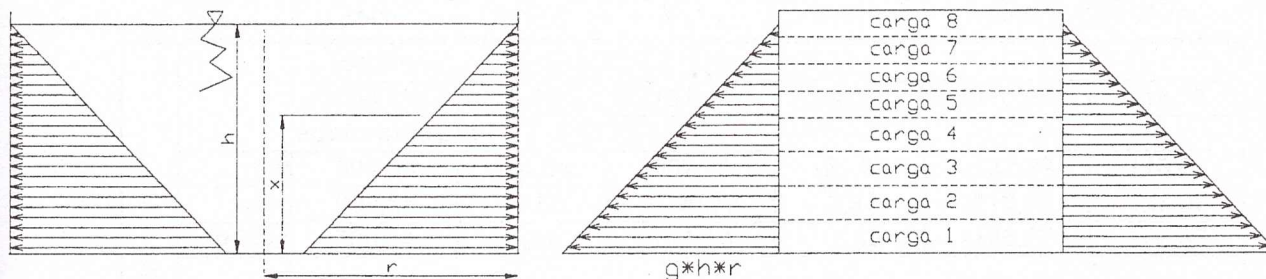


Jeżeli spojrzymy na wykres dotyczący kształtu kołowego zbiornika (rys. 3) można wysnuć różne przypuszczenia dotyczące sposobu jego budowy jak również zachowania się podczas eksploatacji. Jak podano wcześniej nie wszystkie wartości odchyłek pomierzone na istniejących zbiornikach są mniejsze od wartości uznanych w normach jako dopuszczalne. Z jakimi wartościami odchyłek mamy do czynienia możemy prześledzić na przykładzie pomiarów kształtu zbiornika o pojemności 50 000 m³. W tabeli 2 i 3 przedstawiono wyniki statystycznego opracowania imperfekcji wstępnych istniejących bezpośrednio po montażu konstrukcji zbiornika V=50 000 m³. Na rys. 4, 5 przedstawiono rozkłady częstości występowania imperfekcji wstępnych. Na rys. 6 zestawiono globalne imperfekcje dla płaszcza omawianego zbiornika na poszczególnych poziomach pomiarowych w stosunku do wartości dopuszczalnych (normowych) oraz wartości średnich. Zaznaczono również statystyczny obszar zmienności deformacji. W obszarze tym, w ujęciu statystycznym powinno znajdować się około 2/3 odchyłek.



Rys. 6. Statystyczne deformacje tworzącej płaszcza.

Konsekwencją stwierdzonych w praktyce odchyłek jest lokalna zmiana wartości teoretycznie wyznaczonych sił wewnętrznych w płaszczu zbiornika. Zbiornik walcowy jest obiektem inżynierskim w którym parcie poziome cieczy w nim magazynowanej wywołuje siły obwodowe rozciągania płaszczu zbiornika.



Rys. 7. Schemat obliczeniowy zbiornika.

W najprostszy sposób ujmując siłę wewnętrzną na dowolnym poziomie płaszczu na całym obwodzie zbiornika powinna ona mieć wartość jednakową teoretycznie określona poniższym wzorem, w którym pominięto współczynniki bezpieczeństwa stosowane w metodzie stanów granicznych:

$$N = \gamma \cdot (h - x) \cdot r$$

gdzie:

γ - ciężar objętościowy cieczy [kN/m³]

h - maksymalna poziom magazynowanej cieczy [m],

x - współrzędna wysokości [m],

r - promień wewnętrzny zbiornika [m].

W tabelicy 4 przedstawiono przykładowe wyniki analiz numerycznej obiektów zbiornikowych ze wstępnymi deformacjami powstałymi w okresie budowy zbiornika.

Na rys. 8a przedstawiono mapę sił obwodowych dla zbiornika o idealnym kształcie płaszczu i dla porównania na rysunku 8b mapę sił obwodowych dla zbiornika w którym pomierzono rzeczywiste imperfekcje wykonawcze. Kolejne rysunki przedstawiają odpowiednio mapę sił pionowych (rys. 9a, 9b) oraz mapę naprężeń obwodowych (rys. 10a, 10b).

Przedstawione wstępne wyniki analizy wpływu lokalnych imperfekcji płaszczu zbiornika na wartości sił wewnętrznych wykazały, że imperfekcje w sposób istotny zmieniają stan naprężenia wyznaczony teoretycznie przy założeniu idealnego kształtu zbiornika. Praca moja prowadzona jest

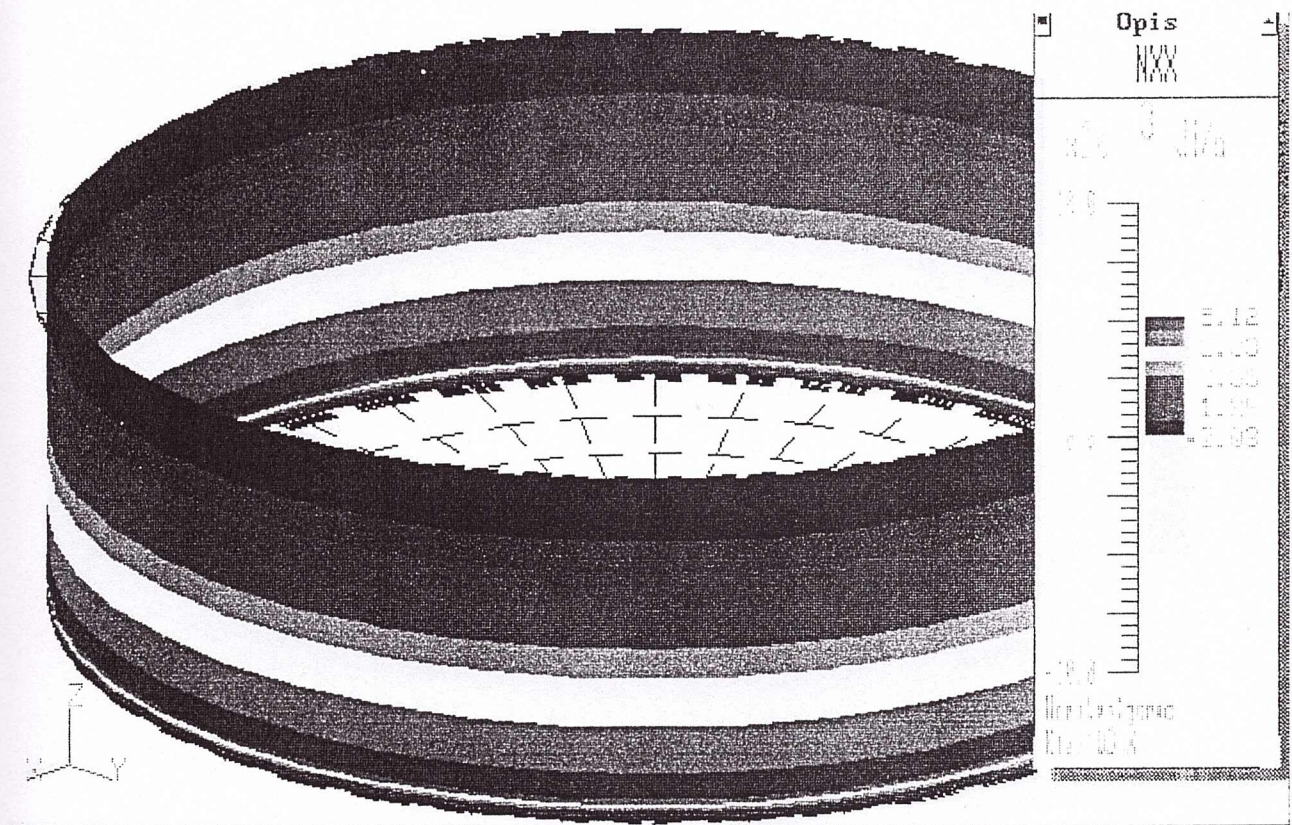
w celu naukowej weryfikacji wartości odchyłek uznanych za normie PN-B-03210 jako dopuszczalne.

Tablica 4. Porównanie sił i naprężeń w zbiorniku idealnym i ze wstępnymi imperfekcjami

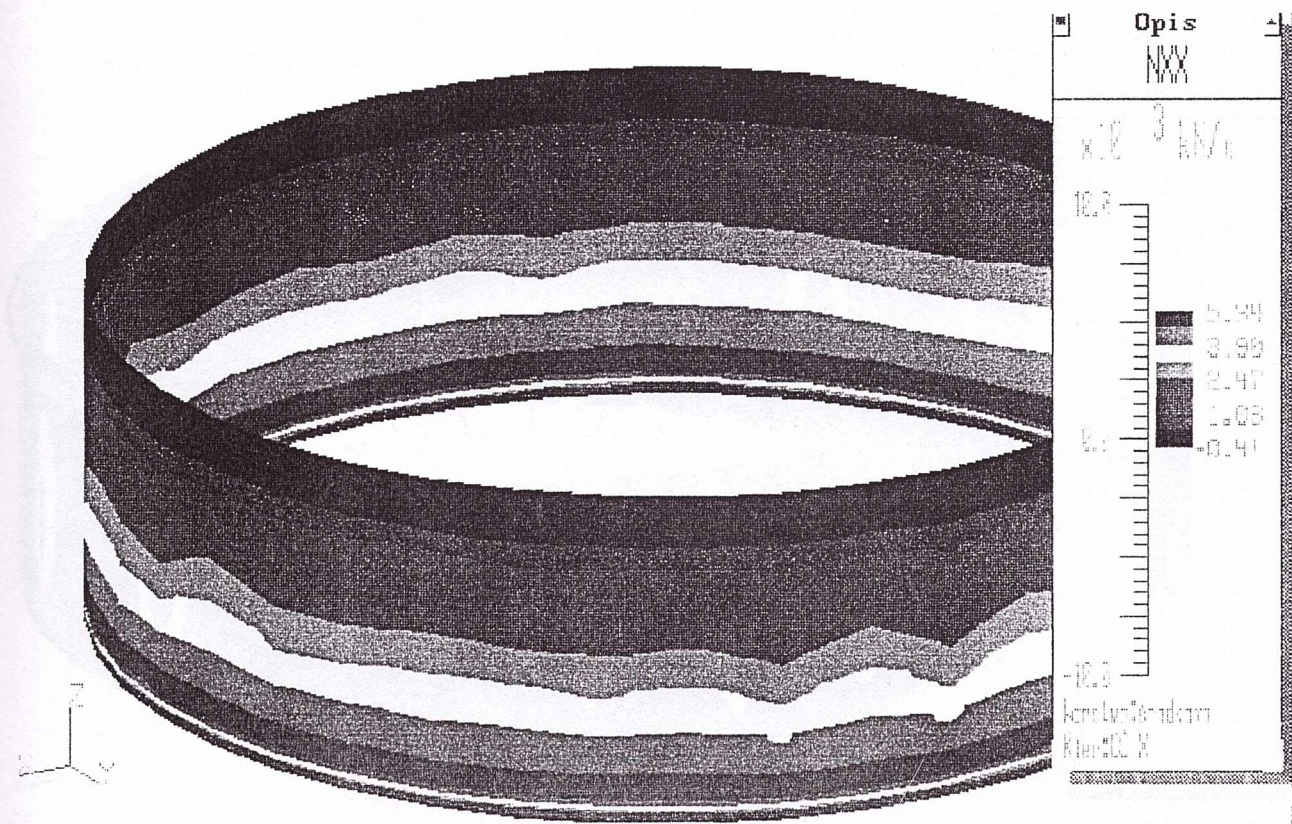
		N_{xx}	N_{yy}	N_{Mises}	σ_{xx}	σ_{yy}	σ_{Mises}
		kN/m	kN/m	kN/m	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²
Pierścień nr 1	idealny						
		733,45	0,00	733,45	-4,53	-116,98	114,78
	zdeformowany						
	<i>min</i>	394,66	-24,54	507,71	-21,98	-132,29	116,67
	<i>max</i>	999,58	30,66	1000,78	3,97	-118,95	127,07
	<i>średnia</i>	708,14	0,97	744,13	-8,43	-126,27	122,57
	idealny						
		5072,82	-0,05	5072,85	219,77	28,00	207,19
	zdeformowany						
	<i>min</i>	4898,06	-44,56	4919,85	210,75	25,63	199,23
<i>max</i>	5160,84	50,02	5151,84	227,53	33,49	212,82	
<i>średnia</i>	5054,69	2,44	5062,43	219,28	28,94	206,54	
Pierścień nr 3	idealny						
		3534	0	3534	197,60	4,20	195,53
	zdeformowany						
	<i>min</i>	3389,87	-125,50	3445,34	185,30	-6,27	185,46
	<i>max</i>	3644,24	105,95	3610,00	208,80	14,43	202,63
	<i>średnia</i>	3528,94	2,66	3533,34	197,43	4,66	195,37
	idealny						
		3196,96	-0,14	3197,03	176,41	-3,98	178,44
	zdeformowany						
	<i>min</i>	3025,67	-195,76	3117,51	149,53	-15,82	160,90
<i>max</i>	3311,29	124,65	3275,61	192,30	7,40	188,81	
<i>średnia</i>	3190,10	4,35	3194,80	175,86	-4,31	178,43	

Literatura

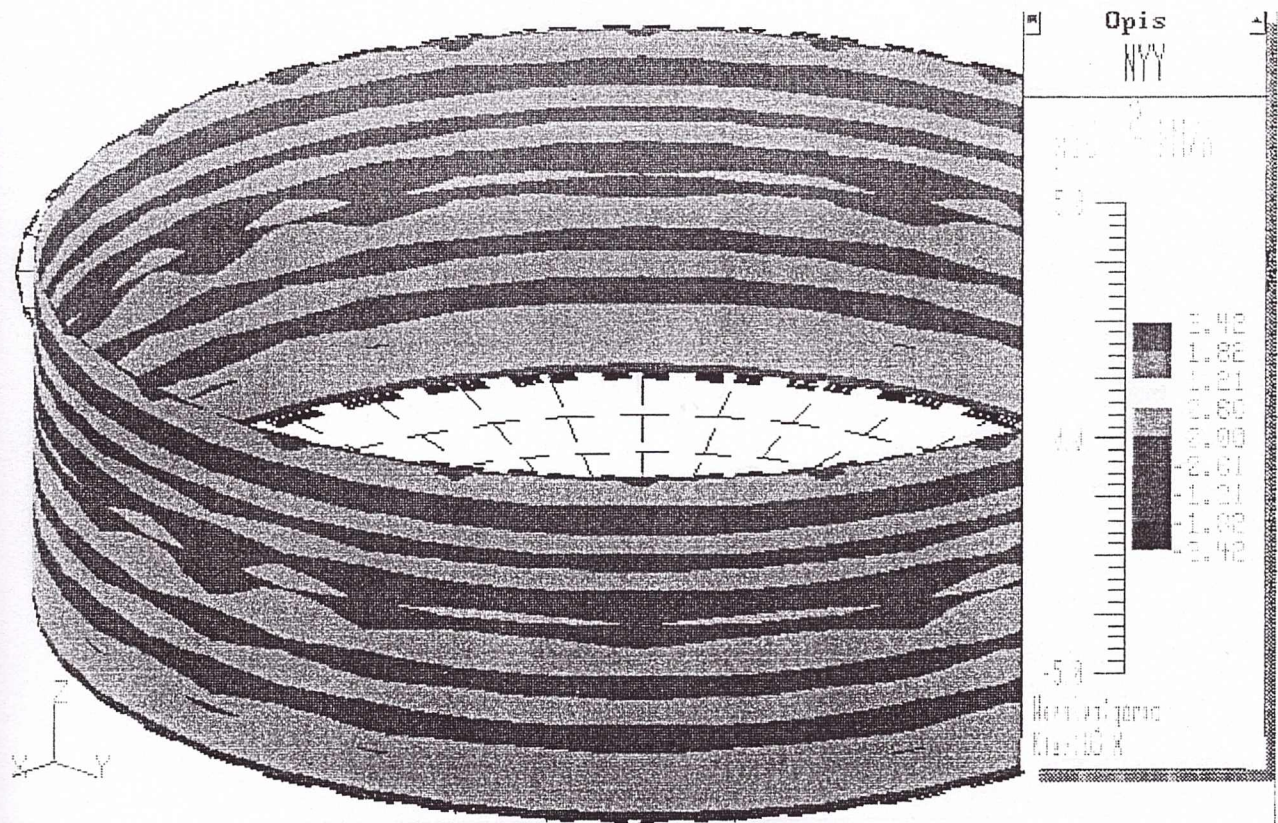
- [1] Ziółko J.: Zbiorniki metalowe na ciecze i gazy, „Arkady”, Warszawa 1986
- [2] Ziółko J.: Formkorrekture an Mänteln Zilindrischer Stahlbehälter. „Stahlbau” 62/1993
- [3] Ziółko J., Supernak E., Borek P., Jędrzejewski M.: Naprawa zbiorników cylindrycznych uszkodzonych wskutek podciśnienia. „Inżynieria i Budownictwo” nr 7/97



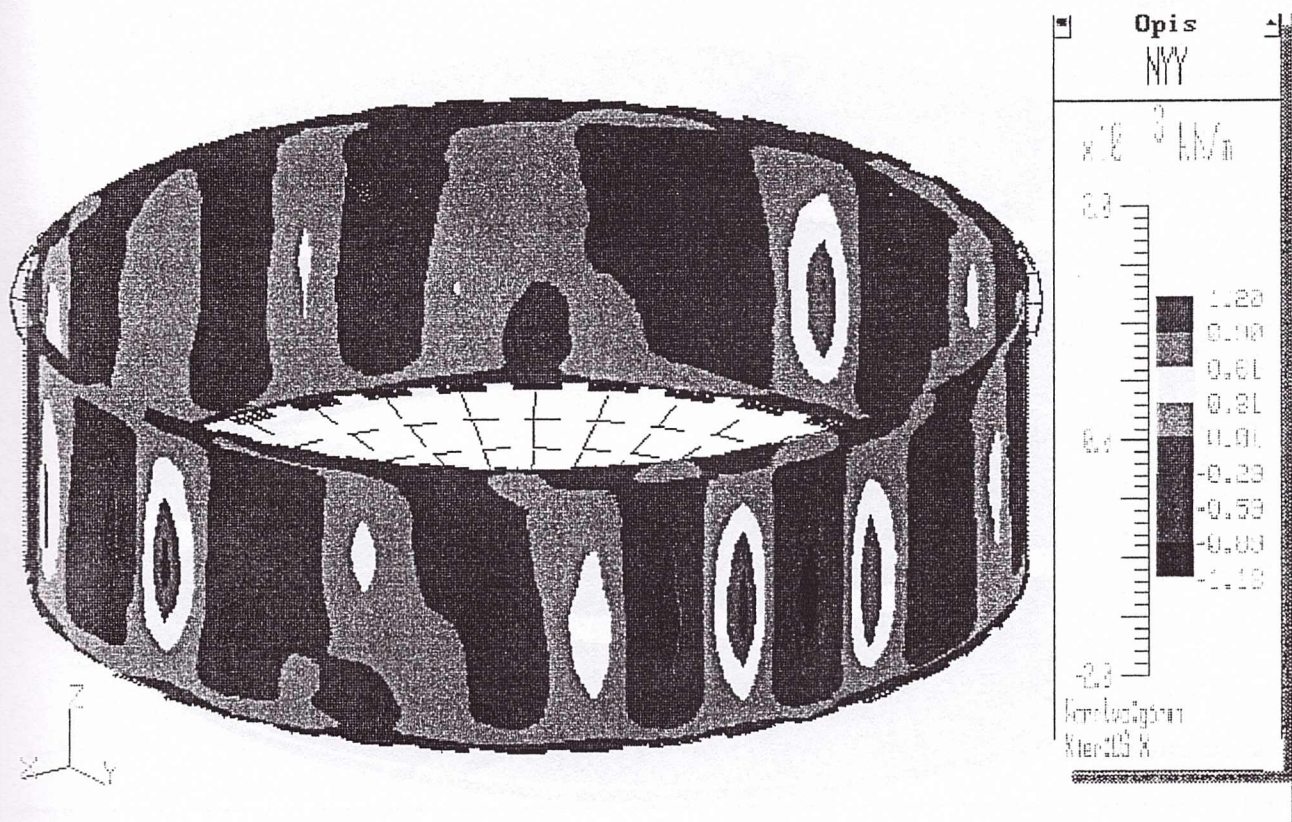
Rys. 8a. Mapa sił obwodowych N_{xx} zbiornika idealnego.



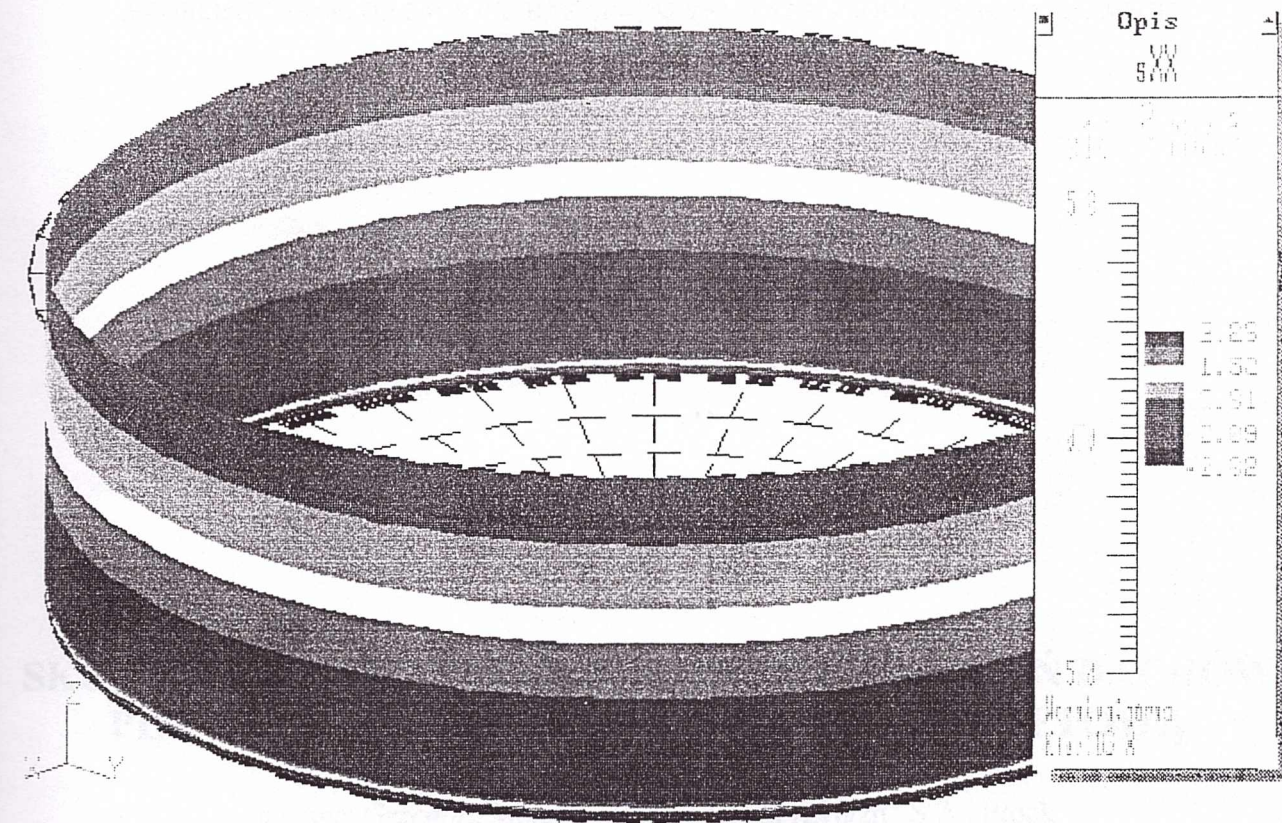
Rys. 8b. Mapa sił obwodowych N_{xx} zbiornika zdeformowanego.



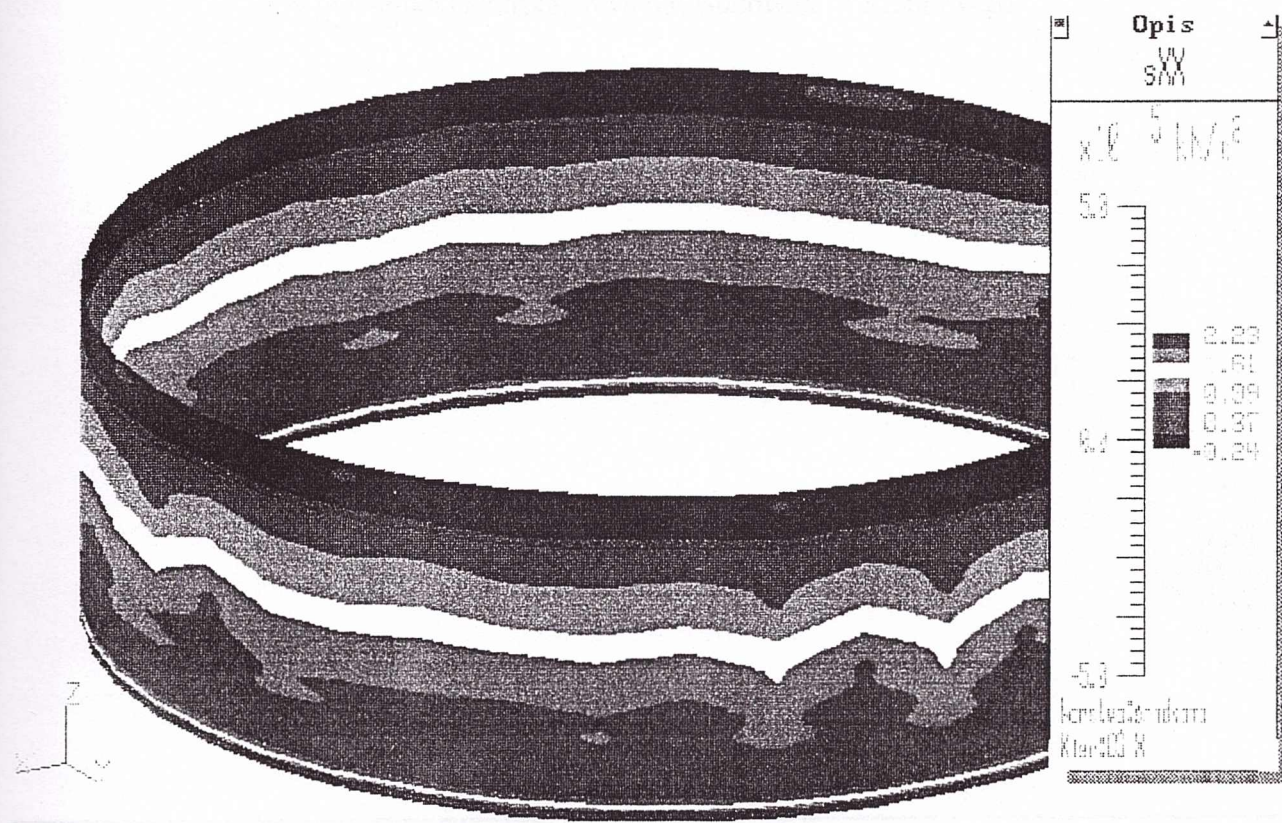
Rys. 9a. Mapa sił obwodowych N_{yy} zbiornika idealnego.



Rys. 9b. Mapa sił obwodowych N_{yy} zbiornika zdeformowanego.



Rys. 10a. Mapa naprężeń obwodowych σ_{xx} zbiornika idealnego.



Rys. 10b. Mapa naprężeń obwodowych σ_{xx} zbiornika zdeformowanego.