

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW KOŁNIERZY RUR STALOWYCH W ZADANIACH KONTROLI WYMIARÓW

KAMIONKA, 28-30 MAJA 2014

autor: dr inż. Tomasz Świętoń

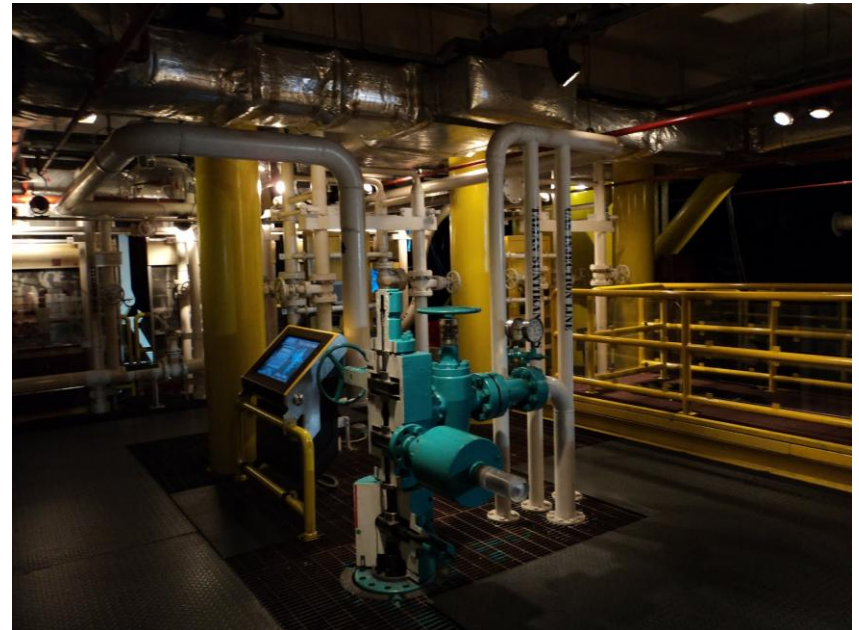
Dimensional Control

- Termin *Dimensional Control* (kontrola wymiarów) obejmuje szerokie spektrum zagadnień związanych z pomiarem instalacji przemysłowych.
- Stosowany jest najczęściej w przemyśle naftowym – w szczególności związany jest z platformami wiertniczymi.
- Historycznie termin pojawił się w latach osiemdziesiątych XX wieku w Szkocji.



Dimensional Control - zadania

- Głównym zadaniem jest pomiar instalacji przemysłowych w celu obniżenia kosztów remontów i przebudowy.
- ▣ Pomiar stanu istniejącego.
- ▣ Pomiar zbudowanych, prefabrykowanych elementów i ocena ich zgodności z projektem.



źródło: <http://quanericwong.blogspot.com>

Kołnierze rur stalowych

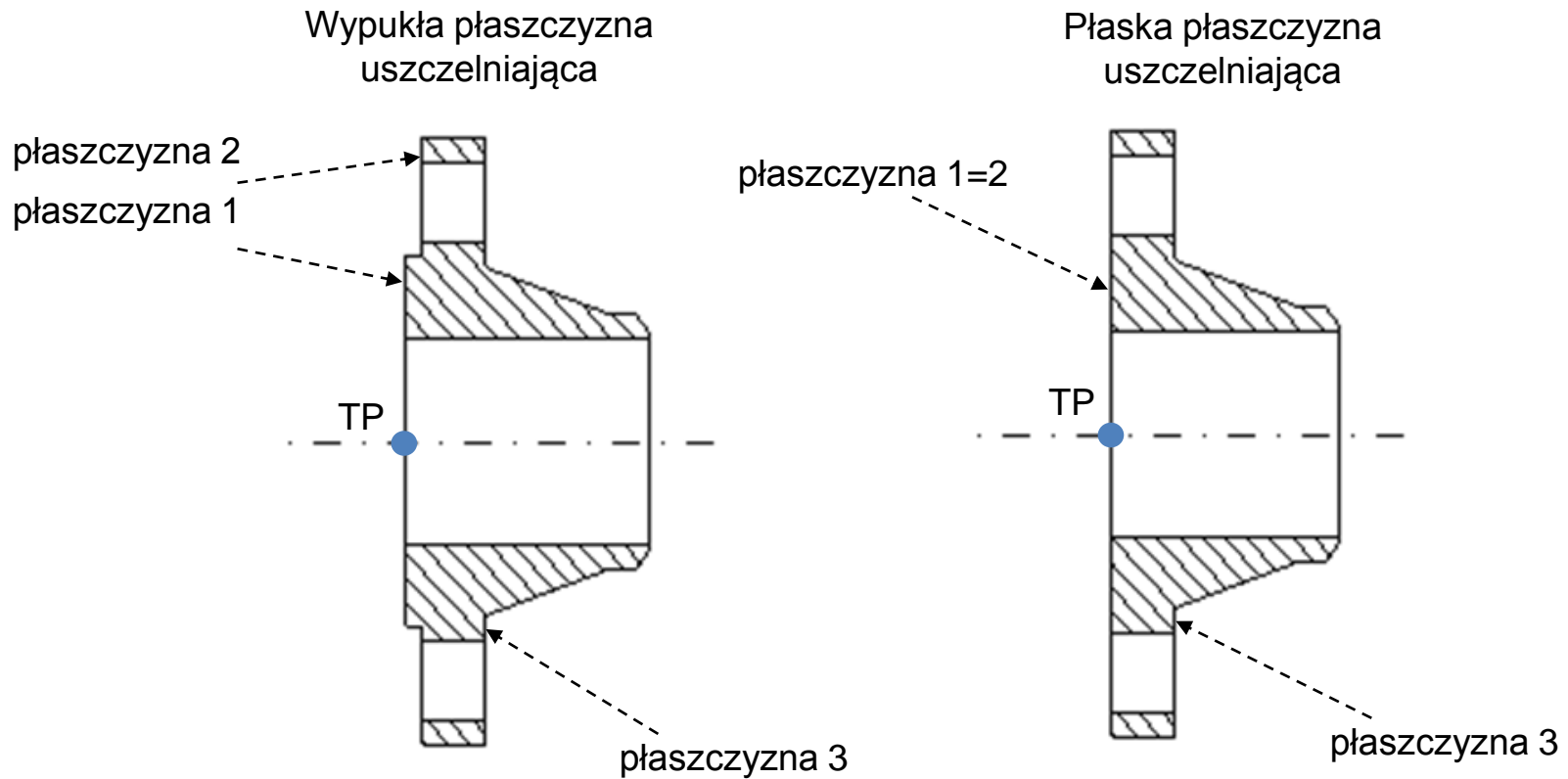
- Duża ilość wysokociśnieniowych instalacji zawierających łatwopalne, niebezpieczne związki chemiczne.
- Kwestie BHP - Zakaz spawania, szlifowania i cięcia!
- Bezpieczne połączenie możliwe przy pomocy kołnierzy.
- Kołnierze zainstalowane na prefabrykowanych elementach muszą być precyzyjnie dopasowane.
- Submilimetrowa dokładność



Elementy prefabrykowane

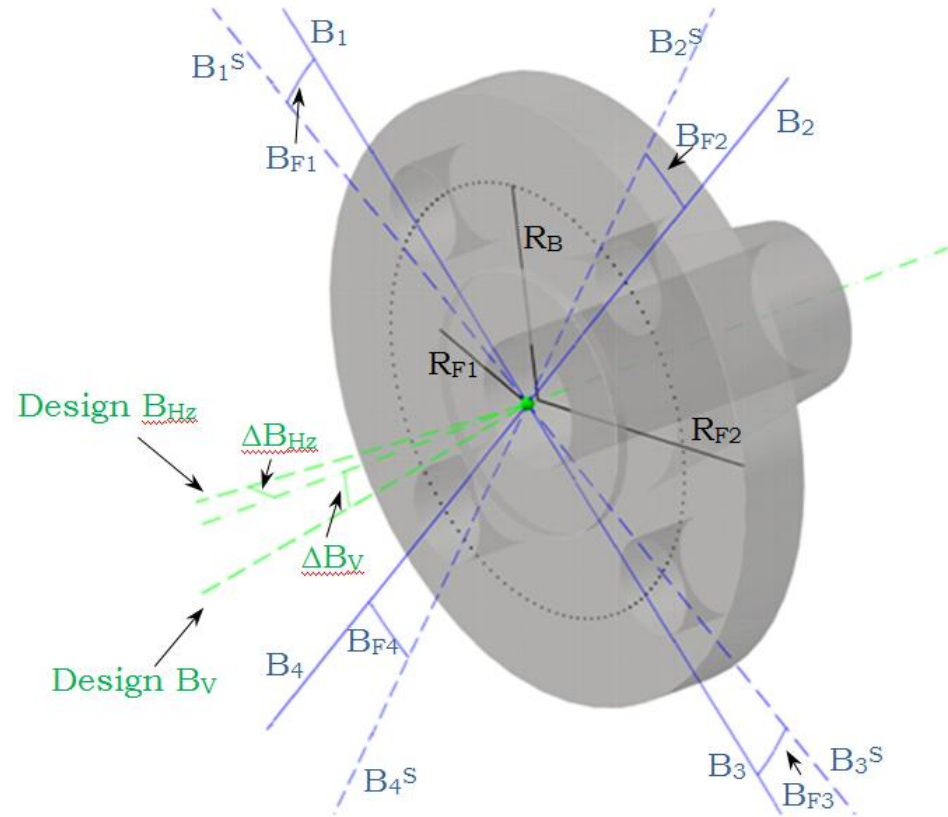


Budowa kołnierza

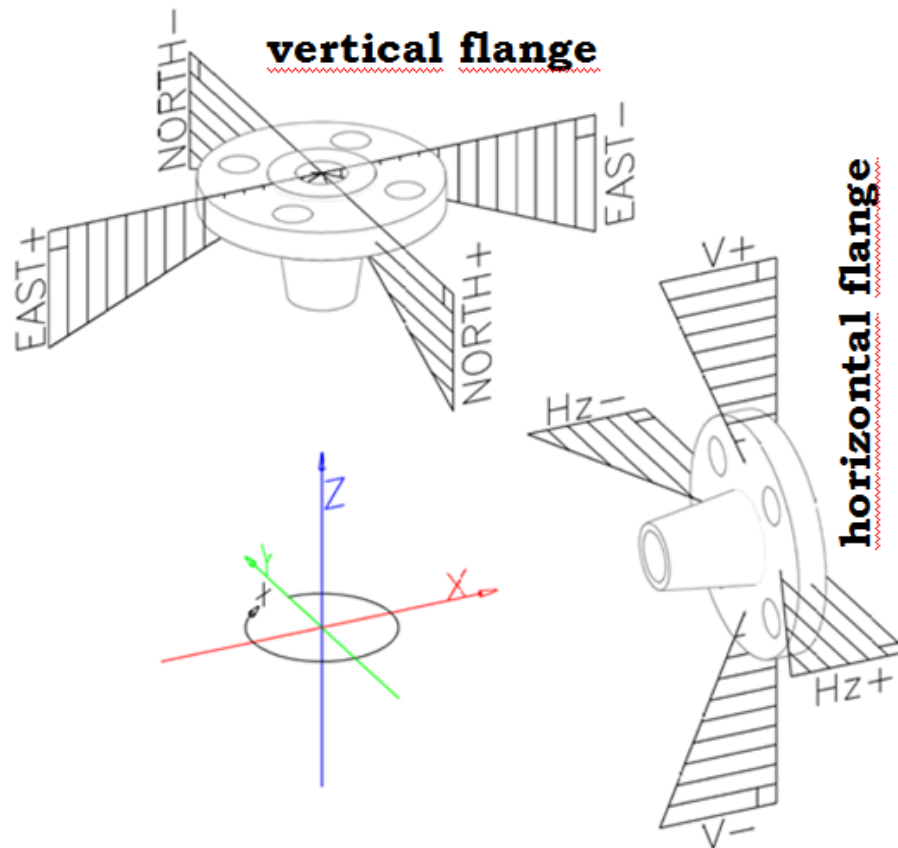


Cel pomiaru

- ❑ Określenie położenia kołnierza, czyli współrzędnych jego punktu **TP** (ang. Tie Point) w przyjętym układzie współrzędnych.
- ❑ Określenie **odchyleń płaszczyzny uszczelniającej** od pierwotnego, lub projektowanego kierunku zwrotu (ΔB_{HZ} i ΔB_V lub ΔB_N i ΔB_E).
- ❑ Określenie **odchylenia kąta skręcenia kołnierza** (B_F) a tym samym określenie położenia środków śrub.
- ❑ Określenie **różnic pomiędzy wymiarami projektowanymi a istniejącymi**. Dotyczy to w szczególności średnicy płaszczyzny uszczelniającej (R_{F1} , R_{F2}) i średnicy okręgu wyznaczonego przez środki śrub (R_B).

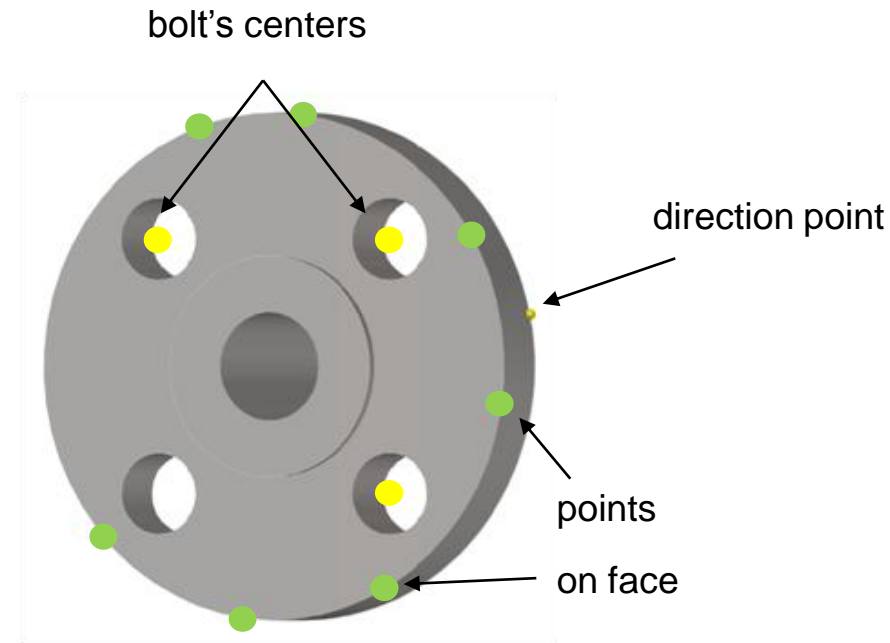


Orientacja kołnierza i sposób prezentacji odchyleń płaszczyzny



Pomiar kołnierza

- Punkty na krawędzi jednej z płaszczyzn.
- Środki śrub.
- Punkt określający zwrot płaszczyzny.
- Pomiar kodowany
- Minireflektory



Wynikiem pomiaru są współrzędne XYZ w trójwymiarowym, lokalnym układzie odniesienia

Obliczenia – wpasowanie okręgu 3D

$$A(x - x_S) + B(y - y_S) + C(z - z_S) = 0$$
$$(x - x_S)^2 + (y - y_S)^2 + (z - z_S)^2 = r^2$$

- Zestawienie układu równań i rozwiązanie MNK jest możliwe ale dla empirycznych danych nie zawsze daje rezultaty zgodne z oczekiwaniami.
- Wydaje się, że lepszym rozwiązaniem jest wpasowanie płaszczyzny w punkty pomiarowe a następnie sprowadzenie zadania do problemu wpasowania okręgu dwuwymiarowego.

Srowadzenie zadania do problemu dwuwymiarowego

- Jedną z możliwości sprowadzenia zadania do problemu dwuwymiarowego jest obrót wszystkich zmierzonych punktów do pozycji, w której wpasowana płaszczyzna okręgu będzie pozioma.

$$X_Z = R_Z * X$$

$$X_R = R_Y * X_Z$$

$$\begin{bmatrix} X_Z \\ Y_Z \\ Z_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_Z) & \sin(\theta_Z) & 0 \\ -\sin(\theta_Z) & \cos(\theta_Z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_Y) & 0 & -\sin(\theta_Y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta_Y) & 0 & \cos(\theta_Y) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_Z \\ Y_Z \\ Z_Z \end{bmatrix}$$

$$X_R = R_Y * R_Z * X$$

- Jako θ_Z można przyjąć odwrotność azymutu dwuwymiarowego wektora utworzonego ze składowych [A, B] wektora normalnego wpasowanej płaszczyzny;
- $\theta_Y = p - \arccos(C)$

Obliczenia

- Wpasowanie MNK okręgu 2D zrzutowanego na płaszczyznę.

$$(X - X_C)^2 + (Y - Y_C)^2 = r^2 ; \quad \text{środek okręgu } C'_{2D} = [X_C, Y_C, 0]$$

- Obliczenie środka okręgu w układzie 3D

$$C_{3D} = R_Z R_Y C'_{2D}$$

- Obliczenie współrzędnych punktu TP

$$\begin{bmatrix} X_{TP} \\ Y_{TP} \\ Z_{TP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{3D} \\ Y_{3D} \\ Z_{3D} \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} d = 0 \text{ dla pomierzonej płaszczyzny 1} \\ d = T_{RF} \text{ dla pomierzonej płaszczyzny 2} \\ d = T + T_{RF} \text{ dla pomierzonej płaszczyzny 3} \end{array}$$

Obliczenia cd.

□ Odchylenie płaszczyzny od projektowanego kierunku

□ $B_{HZ} = \text{azymut wektora } [A, B]$, $B_V = \arcsin(C)$ - dla wektora wertykalnego

□ $B_N = -\arctan(B/C)$, $B_E = -\arctan(A/C)$ - dla wektora horyzontalnego

Odchylenia (ΔB_{HZ} i ΔB_V lub ΔB_N i ΔB_E) obliczamy jako różnicę pomiędzy wartościami projektowanymi a B_{HZ} i B_V lub B_N i B_E w zależności od orientacji kołnierza.

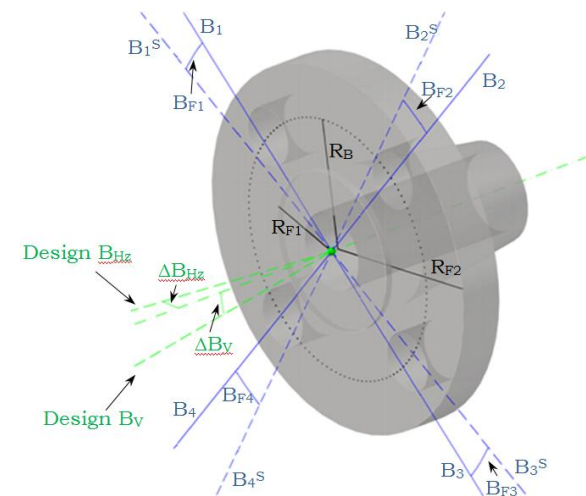
□ Promień i skręcenie środków śrub

Zwykle mierzone są wystające ponad płaszczyznę końcówki śrub, dlatego pomierzone punkty najczęściej nie leżą bezpośrednio na wyznaczonej płaszczyźnie

Pomierzone środki śrub mogą zostać obrócone tak jak punkty na krawędzi płaszczyzny + rzutowanie na płaszczyznę \Rightarrow problem 2D

$$B_k^S = \frac{\pi}{n} + \frac{(k-1) * 2\pi}{n} = \frac{\pi(2k-1)}{n}$$

$$B_F = \frac{\sum_{k=1}^m B_k^S - B_k}{m}$$



Praktyczna realizacja – GEONET DC

456-00] - [SU04FL_DUZO.LGP]

File Tools Edit points Calculations Configuration Window Help

393 points

Number	Code	X	Y	Z
STN00		15.49	151928.21	0.00
0250		98389.37	104829.71	32410.54
*RBC169		100481.55	109749.46	32314.37
*RBC110		91766.81	111170.70	30859.75
*RBC132		109920.15	112853.58	32163.50
*RBC173		91752.16	104256.22	32151.02
*RBC166		96000.14	99489.08	32063.37
*RBC175		106660.28	100007.71	31555.58
0257	053	94496.07	103966.66	32448.75
0258	053	94493.23	103966.26	32513.77
0259	053	94516.43	103899.22	32561.08
0260	053	94528.12	103862.56	32550.65
0261	053	94542.14	103825.80	32496.94
0262	053	94541.85	103828.24	32457.86
0263	054	94554.28	103871.96	32442.17
0264	054	94552.88	103870.82	32518.98
0265	054	94527.36	103943.33	32522.03
0266	052	94486.74	103877.41	32562.33
0267		96838.93	104038.15	31588.84
0268	073	96838.29	104136.63	31631.49
0269	073	96838.78	104186.75	31744.29
0270	073	96836.82	104146.82	31844.70
0271	073	96836.40	104018.14	31999.28
0272	073	96835.26	103924.91	31842.16
0273	073	96836.18	103886.64	31742.47
0274	074A	96866.04	103927.79	31783.73
0275		96842.47	104041.45	31835.22
0276	074	96869.48	104079.88	31850.28
0277	074	96870.35	104139.77	31790.09
0278	074	96870.77	104141.62	31700.82
0279	074	96870.76	104081.44	31637.73
0280	072	96772.05	104126.92	31867.98
0281	083	96267.72	103908.15	32813.56

0261 94542.14 103825.80 32496.94 053
0262 94541.85 103828.24 32457.86 053

Flange Fit

Code to fit: 053

No of bolts: 4

Select flange:

- Type: ASME B16.5
- Class: 1500
- Flange Face: RF
- Size: 1.25
- Flange end: Weld Neck

Measured Flange Thc (exc RF): 20.0000
Measured Raised Face Thickness: 2.0000

Mirror flange

TP number: F05
OE number: B05

Horizontal: Calculated Brg: 251.3047, Designed Brg: 270.0000
Vertical: Calculated Brg: -1.2514, Designed Brg: 0.0000

Flange or points already exists.
Difference between calculated and design thickness: 6.57 mm
Difference between circle centers on bolts and on face: 2.81 mm

Points on face: 6

No	Code	X	Y	Z	Bearing	radial	plane
0257	053	94496.07	103966.66	32448.75	115.20	0.08	-0.55
0258	053	94493.23	103966.26	32513.77	66.19	-0.21	0.84
0259	053	94516.43	103899.22	32561.08	0.51	0.39	-0.68
0260	053	94528.12	103862.56	32550.65	331.12	-0.30	0.23
0261	053	94542.14	103825.80	32496.94	280.83	-0.01	-0.09
0262	053	94541.85	103828.24	32457.86	251.95	0.05	0.25

Orientation Point: 0266 94486.74 103877.41 32562.33 052

No	Code	X	Y	Z	Brg	B COF	Dist	D COF
0263	054	94554.28	103871.96	32442.17	132.512.45	55.09	0.80	
0264	054	94552.88	103870.82	32518.98	223.71.27	52.43	-1.86	
0265	054	94527.36	103943.33	32522.03	314.750.25	55.36	1.07	

max Plane: 0.84 max Rad: 0.39
m Plane: 0.52 m Rad: 0.22

GEONET DC - raport

#ID: 99 FLANGE FIT

No	X	Y	Z	Code
0257	94496.07	103966.66	32448.75	053
0258	94493.23	103966.26	32513.77	053
0259	94516.43	103899.22	32561.08	053
0260	94528.12	103862.56	32550.65	053
0261	94542.14	103825.80	32496.94	053
0262	94541.85	103828.24	32457.86	053

No	Bearing	Radial	Plane
0257	115.20	0.08	-0.55
0258	66.19	-0.21	0.84
0259	0.51	0.39	-0.68
0260	331.12	-0.30	0.23
0261	280.83	-0.01	-0.09
0262	251.95	0.05	0.25

max:	0.39 mm	0.84 mm
m:	0.22 mm	0.52 mm

Bearing spread: 223 [°]

SELECTED FLANGE:

F05 1.25" 1500# ASME B16.5 RF Weld Neck

Pitch circle diameter:	108.59	[111.13]
Overall diameter (OD):	157.01	[158.75]
Face 3 circumference:	493.26	[498.73]
Thickness:	22.00	[28.58]
Thickness (exc RF):	20.00	[22.23]
Raised Face thickness:	2.00	[6.35]
Number of bolts:	4	

TP:	F05	94496.81	103891.85	32481.71	FTP
OE:	B05	94565.97	103915.25	32483.31	FOE

Flange and bolt centers diff. (projected on face surface):
2.81

Global coordinates DX: 41.72 DY: 16.36 DZ: -0.86

	Horizontal	Vertical
Bearing	251.3047	-1.2514
Design Brg	270.0000	0.0000
Defl. [°]	-18.6953	-1.2514
Defl. ARF mm	-21.49	-1.39

Bolt Hole:

No	X	Y	Z	Code
0263	94554.28	103871.96	32442.17	054
0264	94552.88	103870.82	32518.98	054
0265	94527.36	103943.33	32522.03	054

No	Bearing	B CORR	Dist	D DEFL
0263	132.55	2.45	55.09	0.80
0264	223.73	1.27	52.43	-1.86
0265	314.75	0.25	55.36	1.07

Mean Brg Corr: 1.32° 1.25 mm arc length

WARNING!

Flange or points already exists.

Difference between calculated and design thickness: 6.57 mm

Difference between circle centers on bolts and on face: 2.81 mm

Wnioski

- Zaproponowany algorytm zapewnia kompleksowe opracowanie wyników pomiarów kołnierzy rur stalowych.
- Rezultatem obliczeń są wszystkie parametry kołnierza niezbędne zarówno na etapie projektowania jak i wytwarzania prefabrykowanych elementów instalacji.
- Metoda została została zaimplementowana w komercyjnym oprogramowaniu GEONET DC i ponad roku jest stosowana do realizacji zadań z zakresu Dimensional Control.
- Przy odpowiednim sposobie kodowania wykonanych pomiarów, możliwe jest znaczne zautomatyzowanie wykonywanych obliczeń