

FITNESS FOR SERVICE

OCENA RUROCIĄGU Z LOKALNYM UBYTKIEM KOROZYJNYM



MGR INŻ. MATEUSZ WRÓBEL

Specjalista ds. Rozwoju Badań Laboratoryjnych
Wydział Badań Materiałowych i Ekspertyz
Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego



MGR INŻ. TOMASZ KLINKOSZ

Ekspert Urzędzeń Ciśnieniowych
Dział Oceny Zgodności
Oddział w Gdańsku
Urząd Dozoru Technicznego



DR INŻ. MARIUSZ ŁUCKI

Główny Specjalista ds. Rozwoju Badań Laboratoryjnych
Wydział Badań Materiałowych i Ekspertyz
Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego

JEDNYM Z NAJCZĘŚCIEJ WYSTĘPUJĄCYCH MECHANIZMÓW DEGRADACJI W PRZEMYSLE RAFINERYJNYM I PETROCHEMICZNYM JEST KOROZJA. W ZALEŻNOŚCI OD ŚRODOWISKA PRACY, MIEJSCA WYSTĘPOWANIA I CHARAKTERU POWSTAJĄCYCH UBYTKÓW KOROZYJNYCH MOŻEMY WYRÓŻNIĆ JEJ RÓŻNE RODZAJE, TJ. KOROZJA POD IZOLACJĄ, KOROZJA W ŚRODOWISKU KWASU SOLNEGO, KOROZJA ATMOSFERYCZNA. WIELE PRZYDATNYCH INFORMACJI NA JEJ TEMAT ORAZ INNYCH MECHANIZMÓW DEGRADACJI MOŻNA ZNALEŹĆ W DOKUMENCIE API RECOMMENDED PRACTICE 571 DAMAGE MECHANISMS AFFECTING FIXED EQUIPMENT IN THE REFINING INDUSTRY.

Sposoby oceny uszkodzeń powstałych w wyniku korozji zostały opisane w standardzie API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service. Metodologia ta dzieli je na trzy rodzaje:

- korozję ogólną → Part 4 – Assessment of General Metal Loss;
- korozję lokalną → Part 5 – Assessment of Localized Metal Loss;
- korozję wżerową → Part 6 – Assessment of Pitting Damage.

W prezentowanym opracowaniu przybliżony zostanie sposób postępowania w przypadku wykrycia korozji o charakterze lokalnym.

OPIS PRZEDMIOTU ANALIZY

Analizie zostało poddane kolano rurociągu służącego do transportu aminy bogatej. W trakcie okresowych pomiarów grubości wykryto pocienienia na zewnętrznej tworzącej kolana. Pozostała grubość materiału była mniejsza od wymaganej, wynoszącej minimum 4,63 mm. Wobec tego faktu podjęto próbę przeprowadzenia oceny kolana zgodnie z metodologią Fitness For Service. Szczegółowe informacje dotyczące analizowanego komponentu przedstawiono w tabelicy 1.

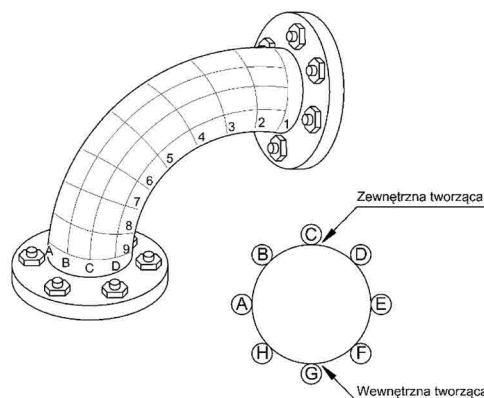
Tablica 1. Dane dotyczące analizowanego kolana rurociągu

Materiał kolana	ASTM A234 Grade WPB
Parametry obliczeniowe: ciśnienie, temperatura	0,78 MPa 240°C
Średnica zewnętrzna rurociągu	168,3 mm
Grubość nominalna	7,11 mm
FCA = FCA _{ml}	1 mm
Naprężenia dopuszczalne	133,04 MPa
Współczynnik wytrzymałościowy złącza obwodowego i wzdłużnego	1
Grubość wynikająca z obciążeń dodatkowych	0 mm

CHARAKTERYSTYKA WYKRYTEGO UBYTKU KOROZYJNEGO

Metodologia Fitness For Service podaje wymagania i wskazówki związane z oceną ubytków korozyjnych. Dotyczą one m.in. doboru siatek pomiarowych, wymiarowania wykrytych pocieniń czy też konieczności przeprowadzenia dodatkowych badań NDT złączy spawanych znajdujących się zbyt blisko ubytków korozyjnych.

Pierwotnie wykonane badania okresowe (kilka pomiarów grubości na kolanie) nie pozwoliły na scharakteryzowanie powstałego ubytku korozyjnego oraz przeprowadzenie oceny zgodnie z metodologią Fitness For Service. W związku z tym konieczne było ich powtórzenie. Ultradźwiękowe pomiary grubości zrealizowano zgodnie z siatką pomiarową przedstawioną na rysunku 1. Uzyskanie większej liczby punktowych odczytów grubości pozwala na dokładniejsze oszacowanie wymiaru powstałego ubytku korozyjnego zarówno w kierunku obwodowym, jak i wzdłużnym.



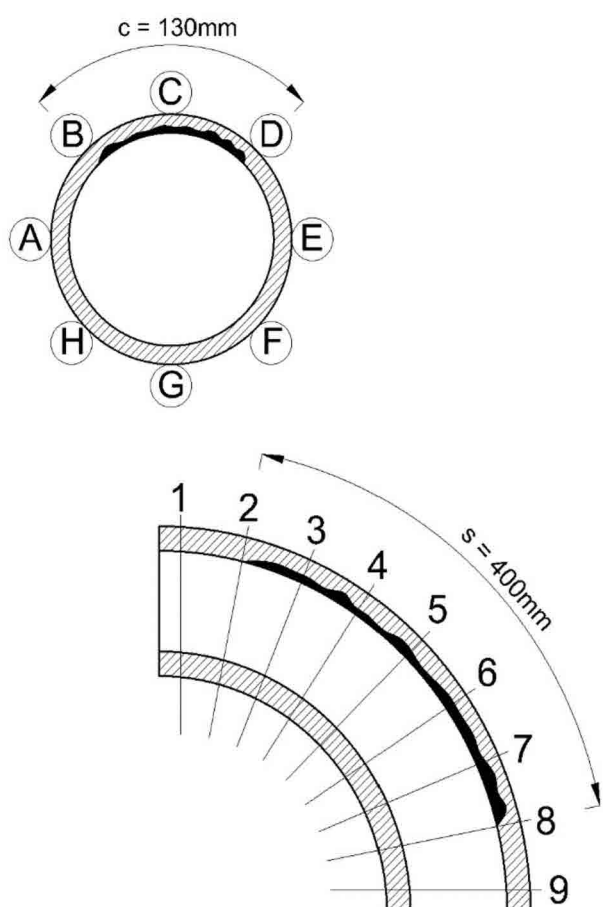
Rys. 1. Schemat siatki pomiarowej wykorzystanej podczas badań

WYNIKI BADAŃ

Wyniki ultradźwiękowych pomiarów grubości zestawiono w tabelicy 2. Zarejestrowane zmiany grubości potwierdzają lokalny charakter wykrytego ubytku korozyjnego. Pocienienie zlokalizowane jest na zewnętrznej tworzącej kolana. Określono minimalną zmierzoną grubość ($t_{mm}=3,0$ mm). Oszacowany został także zasięg występowania pocienienia. Wymiar obwodowy, $c=130$ mm, a wymiar wzdłużny, $s=400$ mm (patrz rys. 2). Zgromadzone dane pozwalają także na wyznaczenie krytycznych profili grubości (ang. Critical Thickness Profile – CTP). Obwodowy i wzdłużny CTP przedstawiono na rysunku 4. Zostały one wykorzystane w dalszej części analizy.

Tablica 2. Wyniki pomiarów grubości

Punkt pomiarowy	A	B	C	D	E	F	G	H	Wzdłużny CTP
1	6,0	5,6	5,5	5,6	5,8	5,9	6,0	6,1	5,5
2	5,8	4,5	4,5	4,9	5,7	5,8	6,2	6,0	4,5
3	5,9	4,1	3,7	4,5	5,9	5,7	6,1	6,0	3,7
4	6,0	3,8	3,2	3,9	5,8	5,7	6,2	5,8	3,2
5	5,6	3,7	3,0	3,8	5,9	5,9	6,1	5,7	3,0
6	5,8	3,6	3,3	4,0	6,0	5,8	6,0	5,7	3,3
7	5,7	3,8	3,7	4,2	5,6	5,8	6,2	5,9	3,7
8	5,7	4,1	4,0	5,6	5,8	5,9	6,0	6,0	4,0
9	5,9	5,8	5,7	5,8	5,7	5,9	6,1	6,0	5,7
Obwodowy CTP	5,6	3,6	3,0	3,8	5,6	5,7	6,0	5,7	

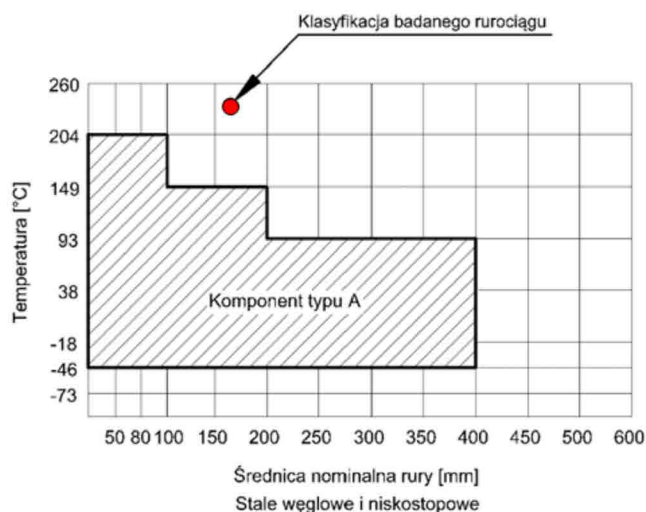


Rys. 2. Schematyczne przedstawienie zasięgu występowania lokalnego ubytku korozyjnego

USTALENIE METODOLOGII OCENY

Aby możliwe było przeprowadzenie oceny zgodnie z Part 5 – Assessment of local metal loss, konieczne jest spełnienie poniższych założeń:

- Temperatura graniczna dla materiału, z którego wykonano kolana rurociągu, wynosi 371°C (wg Table 4.1 API 579-1/ASME FFS-1). Temperatura projektowa rurociągu jest od niej niższa. Rurociąg nie pracuje w warunkach pełzania.
- W wyniku analizy dokumentacji technicznej urządzenia stwierdzono, że na rurociąg nie działają dodatkowe obciążenia. Nie powoduje to tym samym zwiększenia grubości obliczeniowej analizowanych kolan rurociągu.
- Warunki pracy rurociągu nie pozwalają na zakwalifikowanie ocenianego kolana jako komponentu typu A wg API 579-1/ASME FFS-1. Kolana należy sklasyfikować jako komponenty typu B klasy 1 – patrz rys. 3.
- Kolana sklasyfikowane jako komponenty typu B klasy 1 zostaną poddane ocenie na poziomie 2 (Level 2 Assessment).

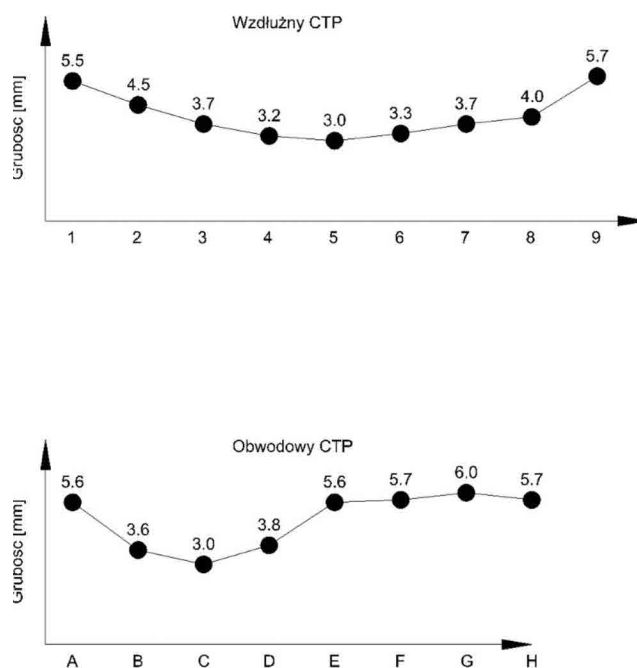


Rys. 3. Kategoryzacja komponentów typu A

OCENA KOLANA RUROCIĄGU

W tym rozdziale przybliżone zostaną poszczególne kroki, które muszą zostać zrealizowane podczas prowadzenia oceny.

Krok 1 – Wyznaczenie krytycznych profili grubości (patrz rys. 4).



Rys. 4. Krytyczne profile grubości

Krok 2 – Określenie wartości:

$$t_{rd} = 5,8 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{rd} - FCA = 5,8 - 1 = 4,8 \text{ mm}$$

Krok 3 – Określenie wartości:

$$t_{mm} = 3,0 \text{ mm}$$

$$s = 400 \text{ mm}$$

$$c = 130 \text{ mm}$$

Krok 4 – Wyznaczenie parametrów:

$$R_t = \frac{t_{mm} - FCA_{ml}}{t_c} = \frac{3 - 1}{4,8} = 0,4$$

$$D = D_0 - 2t_{rd} + 2FCA_{ml} = 168,3 - 2 \cdot 5,8 + 2 \cdot 1 = 158,7 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{1,285s}{Dt_c} = \frac{1,285 \cdot 400}{\sqrt{158,7} \cdot 4,8} = 18,6$$

Krok 5 – Sprawdzenie poniższych warunków:

$$(R_t = 0,4) \geq 0,2$$

Warunek jest spełniony.

$$(t_{mm} - FCA_{ml} = 3 - 1 = 2,0 \text{ mm}) \geq 1,3 \text{ mm}$$

Warunek jest spełniony.

Krok 6

W celu wyznaczenia wartości:

$$MAWPC = \frac{2 \left(\frac{SE_c}{L_f} \right) (t_c - MA)}{D_0 - 2Y_{B31} (t_c - MA)}$$

Konieczne jest wyznaczenie współczynnika Lorentza L_f .

$$R_m = \frac{D_0 + D}{4} = \frac{168,3 + 158,7}{4} = 81,7 \text{ mm}$$

Sprawdzenie warunku:

$$\frac{R_m}{t_c} = \frac{81,7}{4,8} = 17,0 \geq 10$$

Warunek jest spełniony.

Stosujemy współczynnik Lorentza dla $\theta = 90^\circ$ (lokalne pocienienie zlokalizowane na zewnętrznej tworzącej).

$$L_f = \left(\frac{\frac{R_b}{R_m} + 0,5}{\frac{R_b}{R_m} + 1} \right) = \left(\frac{\frac{229}{81,7} + 0,5}{\frac{229}{81,7} + 1} \right) = 0,868$$

$R_b = 229 \text{ mm}$ wg standardu ASME B16.9

$Y_{B31} = 0,4$ na podstawie rozdziału 2.C.7 API 579-1/ASME FFS-1

$MA = 0$

$$MAWPC = \frac{2 \left(\frac{SE_c}{L_f} \right) t_c - MA}{D_0 - 2Y_{B31} (t_c - MA)} = \frac{2 \left(\frac{133,04 \cdot 1}{0,868} \right) (4,8 - 0)}{168,3 - 2 \cdot 0,4 (4,8 - 0)} = 8,9 \text{ MPa}$$

Wyznaczenie wartości:

$$MAWPL = \frac{4SE_L (t - t_{sl} - MA)}{D_0 - 4Y_{B31} (t - t_{sl} - MA)}$$

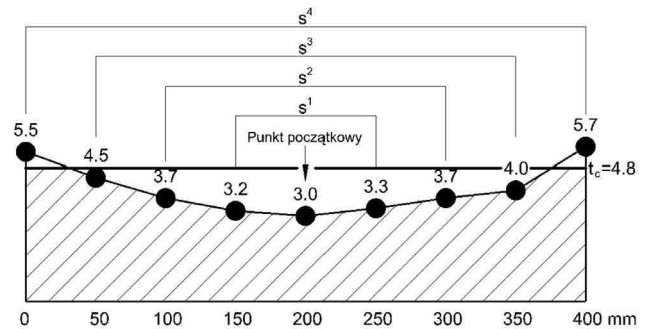
$$MAWPL = \frac{4 \cdot 133,04 \cdot 1 (4,8 - 0 - 0)}{168,3 - 4 \cdot 0,4 (4,8 - 0 - 0)} = 15,0 \text{ MPa}$$

Wyznaczenie wartości MAWP:

$$MAWP = \min [MAWPC, MAWPL] = \min [8,9; 15,0] = 8,9 \text{ MPa}$$

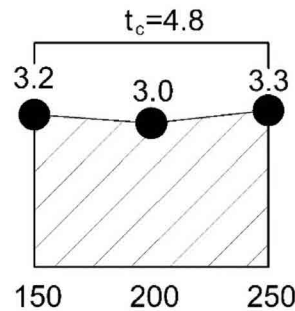
Krok 7 – Wyznaczenie współczynnika RSF dla wzdłużnego CTP.

Procedura wyznaczania współczynnika RSF jest obszerna. Wymaga ona m.in. podzielenia profilu grubości na podsekcje. Dla każdej z nich wyznacza się cząstkowe wartości RSF. Należy określić minimalną wartość RSF.



Rysunek 5. Krytyczny profil grubości podzielony na podsekcje

Wyznaczenie wartości RSF1 dla podsekcji s1:



$$s^1 = 100 \text{ mm}$$

$$A_0^1 = s^1 \cdot t_c = 100 \cdot 4,8 = 480 \text{ mm}^2$$

$$A^1 = (4,8 - 3,2) \cdot 50 + (4,8 - 3,3) \cdot 50 + \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot (3,2 - 3,0) + \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot (3,3 - 3,0)$$

$$A^1 = 167,5 \text{ mm}^2$$

$$\lambda^1 = \frac{1,285 \cdot s^1}{\sqrt{Dt_c}} = \frac{1,285 \cdot 100}{\sqrt{158,7} \cdot 4,8} = 4,6$$

$$M_t^1 = 1,001 - 0,014195\lambda + 0,2909\lambda^2 - 0,09642\lambda^3 + 0,02089\lambda^4 - 0,003054\lambda^5 + 2,957 \cdot 10^{-4}\lambda^6 - (1,8462 \cdot 10^{-5}\lambda^7) + 7,1553 \cdot 10^{-7}\lambda^8 - 1,5631 \cdot 10^{-8}\lambda^9 + 1,4656 \cdot 10^{-10}\lambda^{10}$$

$$M_t^1 = 1,001 - 0,014195 \cdot 4,6 + 0,2909 \cdot 4,6^2 - 0,09642 \cdot 4,6^3 + 0,02089 \cdot 4,6^4 - 0,003054 \cdot 4,6^5 + 2,957 \cdot 10^{-4} \cdot 4,6^6 - 1,8462 \cdot 10^{-5} \cdot 4,6^7 + 7,1553 \cdot 10^{-7} \cdot 4,6^8 - 1,5631 \cdot 10^{-8} \cdot 4,6^9 + 1,4656 \cdot 10^{-10} \cdot 4,6^{10}$$

$$M_t^1 = 2,9$$

$$RSF^1 = \frac{1 - \left(\frac{A^1}{A_0^1} \right)}{1 - \frac{1}{M_t^1} \left(\frac{A^1}{A_0^1} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{167,5}{480} \right)}{1 - \frac{1}{2,9} \left(\frac{167,5}{480} \right)} = 0,74$$

W analogiczny sposób wykonano obliczenia dla kolejnych podsekcji. Otrzymane parametry zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Parametry wyznaczone dla każdej z podsekcji

Podsekcja	si [mm]	λ^i	A' [mm ²]	A ₀ [mm ²]	M _t	RSF
1	100	4,6	167,5	480	2,9	0,74
2	200	9,3	300	960	5,1	0,73
3	300	13,9	382,5	1440	8,8	0,75
4	400	18,6	394,2	1920	19,1	0,80

Minimalna wartość współczynnika RSF wynosi 0,73.

$$RSF_{min} = 0,73$$

Wyznaczanie współczynnika RSF jest żmudne. W zależności od otrzymanego profilu grubości obliczenia należy prowadzić, rozpoczynając od różnych punktów początkowych, tak aby wyznaczyć minimalną wartość RSF.

Krok 8 – Sprawdzenie warunku:

$$RSF \geq RSF_a$$

0,73 \geq 0,9 **Falsz. Warunek nie jest spełniony.**

Urządzenie nie może być eksploatowane przy MAWP wyznaczonym w kroku 6.

Wyznaczenie wartości MAWP_r:

$$MAWP^r = MAWP \frac{RSF}{RSF_a} = 8,9 \cdot \frac{0,73}{0,9} = 7,2 \text{ MPa}$$

$$MAWP_r = 7,2 \text{ MPa} \geq P = 0,78 \text{ MPa}$$

Krok 9 – Sprawdzenie poniższego kryterium:

$$c \leq 2s \frac{E_L}{E_c}$$

$$130 \leq 2 \cdot 400 \cdot \frac{1}{1}$$

Warunek jest spełniony.

Kolano rurociągu spełnia kryteria oceny wg API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service – Part 5 – Assessment of local metal loss – Level 2 Assessment.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

- Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, że kolano rurociągu, mimo powstałego ubytku korozyjnego, może być nadal eksploatowane.
- Przyjęta do oceny wartość FCA = FCA_{mi} = 1 mm odpowiada wielkości ubytku korozyjnego, który powstanie po 10 latach eksploatacji. Okres ten można uznać za czas dalszej bezpiecznej eksploatacji.
- Założenia przyjęte do obliczeń, w szczególności te oparte na szybkości korozji, powinny być stale monitorowane i weryfikowane.

SPIS SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

A ⁱ	obszar ubytku materiału na odcinku uwzględniający wpływ FCA _{mi} <i>area of metal loss based on including the effect of FCA_{mi}</i>
A ₀ ⁱ	pierwotny obszar materiału na odcinku si <i>original metal area based on sⁱ</i>
D ₀	zewnątrzna średnica cylindra, stożka (w miejscu wady), dennicy sferycznej lub eliptycznej skorygowana odpowiednio o LOSS i FCA <i>outside diameter of the cylinder, cone (at the location of the flaw), sphere, or formed head corrected for LOSS and FCA</i>
FCA	naddatek na korozję mający zastosowanie do obszaru z dala od miejsca ubytku materiału <i>Future Corrosion Allowance applied to the region away from the metal loss</i>
FCA _{mi}	naddatek na korozję mający zastosowanie do obszaru ubytku materiału <i>Future Corrosion Allowance applied to the region of metal loss</i>
λ	parametr charakteryzujący wymiar wzdłużny wady <i>longitudinal flaw length parameter</i>
λ ⁱ	przyrostowy parametr charakteryzujący wymiar wzdłużny wady <i>incremental longitudinal flaw length parameter</i>
λ _c	parametr charakteryzujący wymiar obwodowy wady <i>circumferential flaw length parameter</i>
MA	naddatek stosowany w przypadku elementów gwintowanych <i>mechanical allowances (thread or groove depth); for threaded components, the nominal thread depth (dimension h of ASME B.1.20.1) shall apply</i>
MAWP	maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze nieuszkodzonego elementu <i>Maximum Allowable Working Pressure of the undamaged component</i>
MAWP ^c	maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze dla naprężeń obwodowych <i>Maximum Allowable Working Pressure based on the stresses in the circumferential or hoop direction</i>
MAWP ^l	maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze dla naprężeń wzdłużnych <i>Maximum Allowable Working Pressure based on the stresses in the longitudinal direction</i>
MAWP _r	zredukowane maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze dla uszkodzonego elementu <i>reduced maximum allowable working pressure of the damaged component</i>
M _t	współczynnik oparty na wzdłużnym zasięgu LTA dla wady przechodzącej przez ścianę <i>Folias factor based on the longitudinal extent of the LTA for a through-wall flaw</i>
R _b	promień gięcia kolana <i>centerline bend radius</i>
R _m	średni promień elementu <i>mean radius of the component; use the large end radius for a conical shell</i>
R _t	pozostały stosunek grubości <i>remaining thickness ratio</i>
RSF	obliczony współczynnik wytrzymałości oparty na zasięgu południkowym LTA <i>computed remaining strength factor based on the meridional extent of the LTA</i>
RSF _a	dopuszczalny współczynnik wytrzymałości <i>allowable remaining strength factor</i>
RSF ^r	RSF dla aktualnie ocenianej podsekcji <i>for the current subsection being evaluated</i>
s ⁱ	przyrostowy wzdłużny zasięg lub długość obszaru lokalnej utraty materiału <i>longitudinal extent or length increment of metal loss</i>
t _c	grubość ściany z dala od obszaru uszkodzeń w stanie skorodowanym <i>wall thickness away from the damaged area adjusted for LOSS and FCA, as applicable</i>
t _{lim}	grubość strukturalna <i>limiting thickness</i>
t _{mm}	minimalna zmierzona grubość określona w momencie oceny <i>minimum measured thickness determined at the time of the inspection</i>
t _{nom}	nominalna lub rzeczywista grubość elementu skorygowana o ujemną odchyłkę, stosownie do przypadku <i>nominal or furnished thickness of the component adjusted for mill under tolerance as applicable</i>
t _{rd}	jednolita grubość z dala od miejscowego miejsca ubytku metalu, ustalona na podstawie pomiarów grubości w czasie oceny <i>uniform thickness away from the local metal loss location established by thickness measurements at the time of the assessment</i>