

OCENA WPŁYWU USZKODZEŃ NA BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH

WSTĘP DO METODOLOGII FITNESS FOR SERVICE

Urządzenia techniczne podczas eksploatacji narażone są na działanie różnorodnych procesów, które powodują pogorszenie ich stanu technicznego, prowadząc do powstawania wielu typów uszkodzeń. Uszkodzenia występujące w urządzeniach stanowią wyzwanie dla inspektorów Urzędu Dozoru Technicznego podczas wykonywania czynności dozorowych. Często w takich sytuacjach podjęcie decyzji o dopuszczeniu urządzenia do dalszej eksploatacji i czasie jego bezpiecznej pracy jest utrudnione. Właściwa ocena stanu technicznego wymaga dużego doświadczenia i interdyscyplinarnej wiedzy z zakresu: inżynierii materiałowej, badań materiałowych, inżynierii procesu czy budowy konstrukcji. Sposób podejścia do tego typu zagadnień został opisany w dokumencie API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service, June, 2016.



MATEUSZ WRÓBEL
Specjalista ds. rozwoju badań
laboratoryjnych
Centralne Laboratorium Dozoru
Technicznego



MARIUSZ ŁUCKI
Główny specjalista ds. rozwoju badań
laboratoryjnych
Centralne Laboratorium Dozoru
Technicznego



TOMASZ KLINKOSZ
Ekspert ds. urządzeń ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Gdańsku

Wstęp

„Wspieramy rozwój. Dbamy o bezpieczeństwo” to misja Urzędu Dozoru Technicznego. Realizując to założenie, UDT analizuje rozwiązania, które mogą się przyczynić do zwiększenia bezpieczeństwa publicznego. Jednym z nich jest ocena urządzeń z wykrytymi uszkodzeniami zgodnie z metodologią Fitness For Service.

Normy dotyczące urządzeń ciśnieniowych zawierają wymagania odnoszące się do etapu wytwarzania. W trakcie eksploatacji urządzeń z uszkodzeniami analiza stanu technicznego obiektu nie jest już tak oczywista. Niektóre ze standardów technicznych, np. API 653 i NBBI NB-23, opisują jedynie metodę wykonania naprawy lub zmianę parametrów procesowych. Dokumenty te nie dają natomiast odpowiedzi na temat akceptowalności danego uszkodzenia oraz pozostałej trwałości eksploatacyjnej. Ocena stanu technicznego urządzenia z uszkodzeniem stanowi wciąż duże wyzwanie.

Uszkodzenia urządzeń ciśnieniowych wynikają w dużej mierze z oddziaływania aktywnych mechanizmów degradacji, których efektem są:

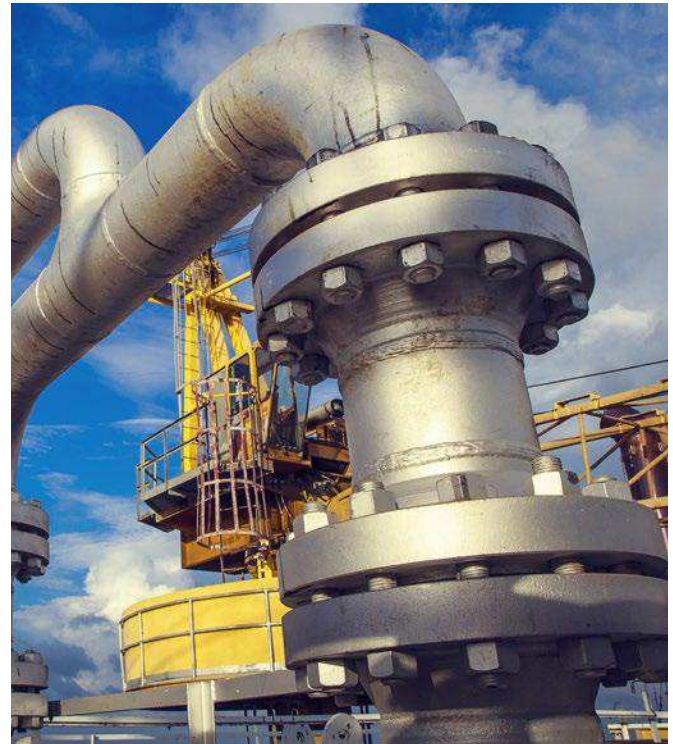
- pocienia (ogólne, miejscowe oraz pitting)
- pęknięcia powierzchniowe
- pęknięcia podpowierzchniowe
- mikropęknięcia i mikropory
- zmiany struktury materiału
- zmiany wymiarowe
- pęcherze
- zmiany własności materiałowych

W realizowanych przy udziale UDT analizach RBI (*Risk Based Inspection*), o których pisaliśmy w poprzednim numerze biuletynu INSPEKTOR, dokonuje się identyfikacji i oceny aktywności mechanizmów degradacji, uwzględniając m.in. parametry procesowe, skład strumienia procesowego oraz materiały i sposób wytworzenia konstrukcji. Jednym z wyników tych analiz jest określenie wymienionych powyżej typów uszkodzeń.

Dostępne publikacje naukowe, które opisują tego typu zagadnienia, są często pozbawione waloru inżynierskiego – praktycznego podejścia, co znacząco ogranicza możliwość ich wykorzystania w praktyce inspekcyjnej. Ocena zidentyfikowanych na podstawie przeprowadzonych podczas badań uszkodzeń oraz ustalenie bezpiecznego okresu i warunków dalszej eksploatacji stanowi zatem wyzwanie.

W takich przypadkach rozwiązaniem może być wykorzystanie standardu technicznego – opracowanego wspólnie przez Amerykański Instytut Naftowy (*American Petroleum Institute – API*) i Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników (*American Society of Mechanical Engineers – AMSE*) – API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service. Dokument ten jest zbiorem procedur pozwalających na ocenę urządzeń ciśnieniowych z wykrytymi uszkodzeniami oraz szacowanie ich pozostałej trwałości eksploatacyjnej. API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service zawiera ponadto szereg przydatnych wskazówek związanych z wykonywaniem badań NDT (*Non Destructive Testing*), zapobieganiem ponownemu uszkodzeniu czy też dotyczących sposobu monitorowania urządzeń w trakcie dalszej eksploatacji.

Metodologia Fitness For Service została opracowana z myślą o urządzeniach instalowanych w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym, ale znajduje swoje zastosowanie również w odniesieniu do urządzeń w innych sektorach. Metoda ta stosowana jest również jako jedno z narzędzi do zarządzania ryzykiem urządzeń ciśnieniowych, którą określa standard API RP 580 Risk Based Inspection. W sytuacji gdy wykonanie odpowiednio efektywnej inspekcji, a tym samym zmniejszenie niepewności co do aktualnego stanu technicznego urządzenia, nie pozwala na redukcję ryzyka z uwagi na stwierdzone uszkodzenia, inżynierska ocena konstrukcji Fitness For Service może być skutecznym narzędziem. Warunkiem jest jednak potwierdzenie, że kryteria tej oceny zostaną spełnione.



Budowa standardu

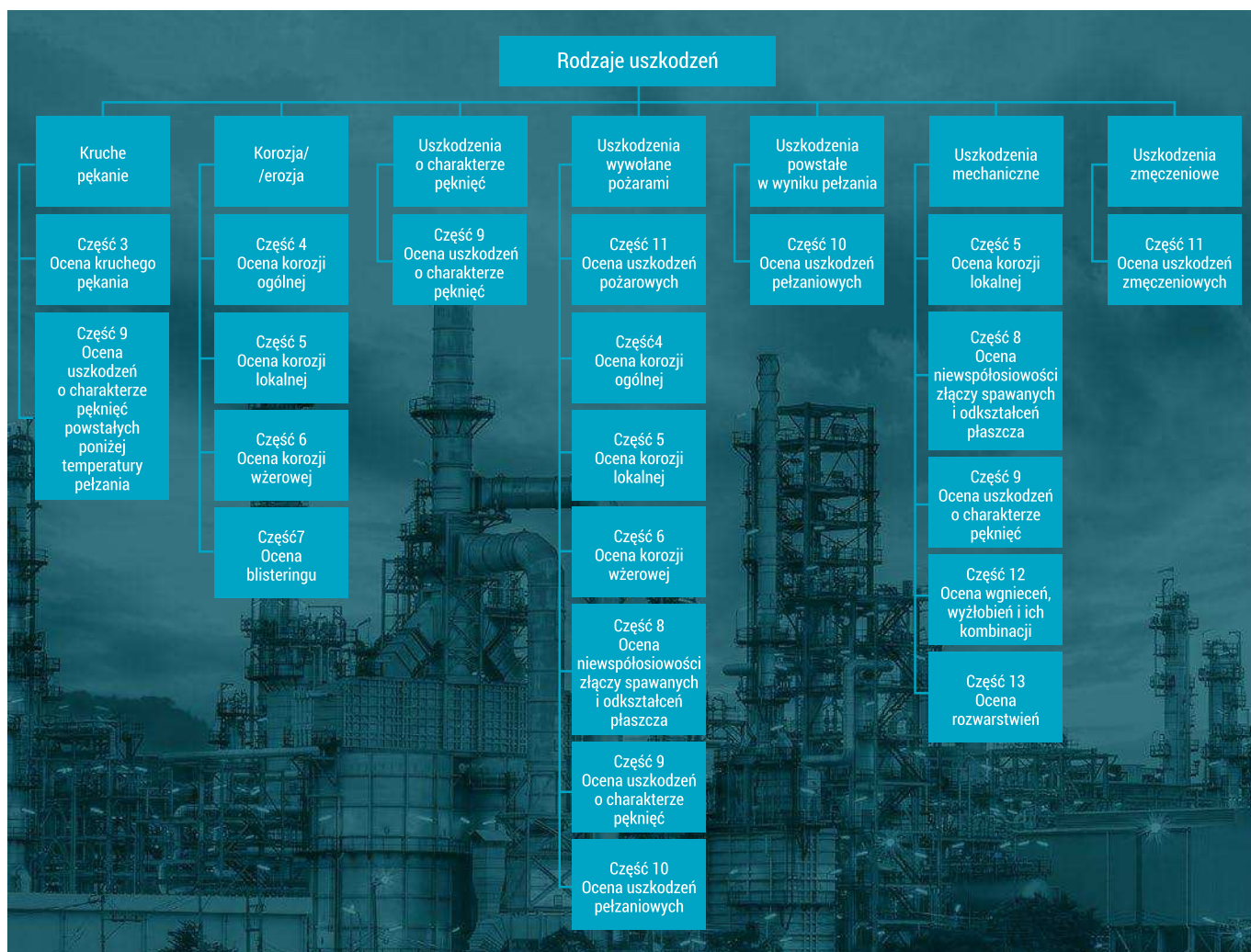
API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service został podzielony na 14 części:

W części 1 podano dokładną definicję metodologii Fitness For Service. Wymieniono w niej także najważniejsze obszary zastosowania omawianego standardu.

Część 2 stanowi wprowadzenie do procedur oceny Fitness For Service. Opisane zostały w niej poszczególne poziomy oceny, a także podstawowe założenia związane z kryteriami oceny. W zależności od rodzaju uszkodzenia ocenę przeprowadza się zgodnie z kryteriami bazującymi na:

- naprężeniach dopuszczalnych,
 - współczynnika wytrzymałości resztkowej (*Remaining Stress Factor – RSF*),
 - diagramach oceny uszkodzeń (*Failure Assessment Diagram – FAD*).
- W załącznikach 2A–2F API 579-1/ASME FFS-1 można znaleźć szczegółowe informacje dotyczące m.in. obliczeń wytrzymałościowych i wymaganych właściwości materiałowych.

Części 3–14 zawierają procedury oceny stanu elementu z konkretnymi rodzajami uszkodzeń. Zestawienie typów uszkodzeń ujętych w metodologii Fitness For Service przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Rodzaje uszkodzeń ocenianych według metodologii Fitness For Service [1]

Każda z części 3–14 charakteryzuje się usystematyzowaną i jednolitą budową. Wyróżnić można w nich rozdziały opisujące kolejno:

- identyfikację uszkodzenia wywołanego danym mechanizmem degradacji
- stosowalność i ograniczenia dla poszczególnych procedur oceny
- dane, które są wymagane do przeprowadzenia oceny
- techniki oceny i kryteria akceptacji
- sposób oceny pozostałej trwałości eksploatacyjnej
- środki zaradcze przed powstaniem danego uszkodzenia
- zalecenia dotyczące sposobu monitorowania urządzenia
- wymagania dotyczące dokumentowania procesu oceny

Poszczególne procedury oceny są ze sobą ściśle powiązane. Nieznajomość jednej z części może skutkować brakiem możliwości przeprowadzenia oceny dla innego typu uszkodzenia.

Zespół wykonujący ocenę Fitness For Service

Wykonanie oceny Fitness For Service wymaga stworzenia interdyscyplinarnego zespołu osób, które powinny posiadać kompetencje z zakresu m.in. inżynierii materiałowej, metalurgii, korozji, budowy urzą-

żeń ciśnieniowych, wytrzymałości konstrukcji, mechaniki pęknięcia, badań nieniszczących czy inżynierii procesowej.

Przeprowadzenie rzetelnej oceny zależy od ścisłej współpracy pomiędzy inspektorami UDT i służbami odpowiedzialnymi za eksploatację analizowanego urządzenia. Fitness For Service wykorzystuje wyniki przeprowadzonych inspekcji, które wraz z danymi konstrukcyjnymi analizowanego urządzenia stanowią podstawę do przeprowadzenia oceny. Wiarygodność i dokładność przeprowadzonych badań, np. pomiarów grubości ścianki analizowanego elementu urządzenia, jest kluczowa dla poprawności uzyskanych wyników. Istotną rolę odgrywa zatem komunikacja pomiędzy zespołem prowadzącym ocenę Fitness For Service a personelem wykonującym badania NDT, który powinien otrzymać informację o celu przeprowadzenia badań oraz o oczekiwanym typie uszkodzeń. Ważny aspekt stanowi również dobór odpowiednich metod badawczych, tak aby możliwe było precyzyjne zwymiarowanie uszkodzenia i dokładne określenie jego lokalizacji w danej konstrukcji. Rekomendowane jest również ustalenie oczekiwań związanych z wynikami badań przed ich przeprowadzeniem, np. dobór odpowiedniej siatki pomiarowej podczas pomiarów grubości.

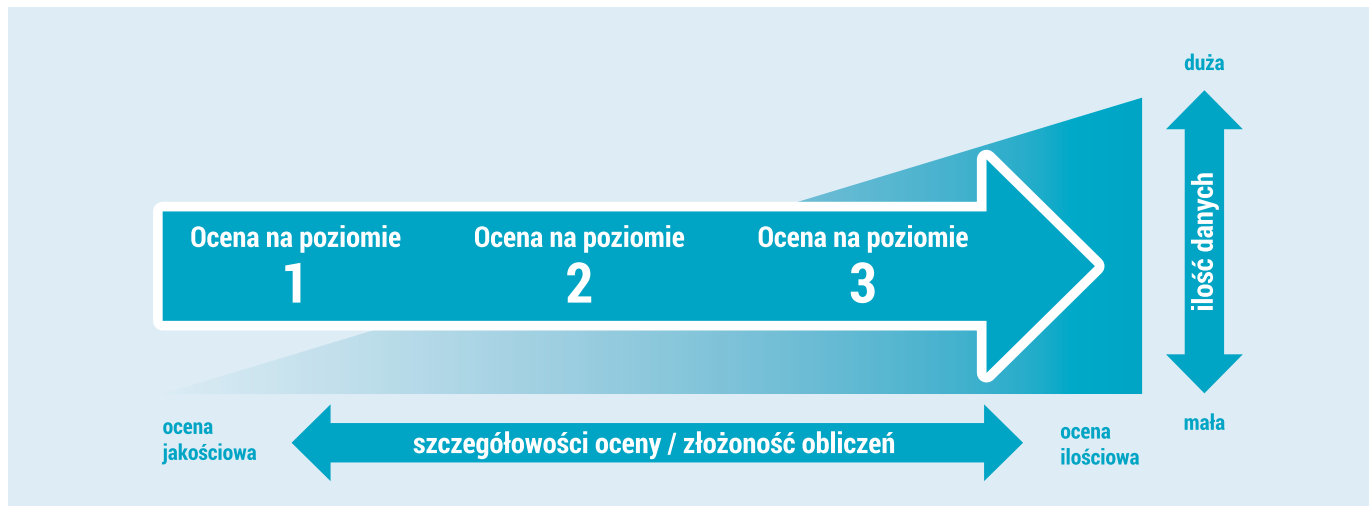
Do przeprowadzenia ocen Fitness For Service mogą być wykorzystane wyniki badań NDT otrzymane w ramach tzw. programów utrzymania ruchu lub w ramach analiz RBI. Ich przydatności do analiz musi być jednak każdorazowo zweryfikowana przez zespół wykonujący ocenę Fitness For Service¹.

Poziomy oceny Fitness For Service

Metodologia Fitness For Service przewiduje przeprowadzenie oceny stanu urządzenia na trzech poziomach.

- Procedury oceny na POZIOMIE 1 dają najbardziej zachowawcze wyniki. Stosowane algorytmy obliczeniowe pozwalają na stosunkowo szybką ocenę przy dostarczeniu jedynie podstawowych informacji o danym urządzeniu.
- Ocena na POZIOMIE 2 jest bardziej szczegółowa. Wymagane jest dostarczenie większej ilości danych, a poszczególne obliczenia i zależności algebraiczne są bardziej skomplikowane. Otrzymane wyniki cechuje jednak większa precyzja od tych, które uzyskano podczas oceny na poziomie 1.
- Do przeprowadzenia oceny na POZIOMIE 3 wymagane jest zazwyczaj wykonanie inspekcji w bardzo szerokim zakresie i pozyskanie dogłębnych informacji dotyczących urządzenia. Analiza zwykle opiera się na metodach numerycznych, np. metodzie elementów skończonych.

Wzajemne relacje pomiędzy poziomami oceny przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Zależność pomiędzy poziomami oceny Fitness For Service

Omawiając metodologię Fitness For Service, warto podkreślić, że niespełnienie wymagań oceny np. na poziomie 1 nie oznacza, że urządzenie powinno zostać wyłączone z eksploatacji. Możliwe jest wykonanie dodatkowej analizy na wyższym poziomie oceny (2 lub 3), której wynik może okazać się pozytywny. W przypadku otrzymania negatywnych rezultatów podczas oceny na każdym z poziomów należy rozważyć wyłączenie urządzenia z eksploatacji, przeprowadzenie naprawy lub zmianę dotychczasowych warunków pracy.

Stosowalność i ograniczenia

Bardzo ważnym aspektem przy wykorzystaniu metodologii Fitness For Service jest znajomość zakresu stosowalności i ograniczeń poszczególnych procedur oceny. Przykładem są tu wymagania dla różnych typów obiektów. W zależności od ocenianego elementu (rodzaju urządzenia, jego geometrii, warunków pracy) możliwe jest przeprowadzenie oceny na danym poziomie. Zestawienie opisujące możliwe do zastosowania poziomy oceny dla konkretnego typu obiektów przedstawiono na rysunku 3.

TYPY OBIEKTÓW			
OBIEKTY TYPU A Ocena na poziomie 1, 2 lub 3	OBIEKTY TYPU B Ocena na poziomie 2 lub 3		OBIEKTY TYPU C Ocena na poziomie 3
	KLASY 1	KLASY 2	
Cylindryczne zbiorniki ciśnieniowe i elementy stożkowe, kuliste zbiorniki ciśnieniowe i kuliste zbiorniki magazynowe, dennice, proste odcinki rurociągów, łuki i kolana	Obiekty o takich samych cechach geometrycznych i temperaturowych jak obiekty typu A, dla których obciążenia dodatkowe rzutują na wymaganą grubość ścianki	Króćce zbiorników ciśnieniowych, obszar wzmocnień elementów stożkowych, kołnierze, połączenia płaszcza z płaskim dnem, połączenia wkładów rurowych	Połączenia dennic z płaszczem, pierścienie wzmacniające, podpory i spódnice, połączenia płaszcza z dnem zbiorników magazynowych

Rysunek 3. Typy obiektów i stosowane dla nich poziomy oceny

Jako kolejny przykład ograniczeń poszczególnych procedur oceny mogą posłużyć wymagania związane z oceną uszkodzeń korozyjnych. Zgodnie z założeniami przyjętymi w API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service korozję ogólną, korozję lokalną i korozję wżerową ocenia się zasadniczo w przypadku urządzeń pracujących poniżej temperatury pełzania. W przypadku pocienień występujących w urządzeniach pracujących w warunkach pełzania powinny zostać użyte także inne procedury oceny.

¹API Recommended Practice 580, third edition 2016.

Dokumentowanie wykrytych uszkodzeń

Dokumentowanie wykrytych uszkodzeń to kolejny istotny element metodologii Fitness For Service. Sposób opisu uszkodzeń oraz wiarygodność pozyskanych danych pomiarowych rzutuje w kolejnym etapie na poprawność wykonanej oceny.

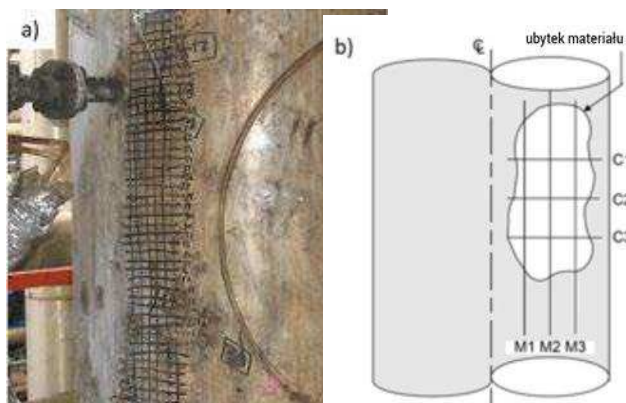
Metodologia Fitness For Service wymaga dostępu do szeregu danych dotyczących ocenianego urządzenia, tj.:

- dokumentacja projektowa i obliczenia wytrzymałościowe
- raporty z badań przeprowadzonych na etapie wytwarzania
- dokumenty kontroli
- informacje na temat warunków pracy urządzenia i stosowanych urządzeń zabezpieczających
- wyniki prób ciśnieniowych
- informacje na temat dotychczasowej historii eksploatacji
- informacje na temat zmian dotyczących ciśnienia i temperatury prowadzonego procesu, medium roboczego, szybkości korozji itp.
- wyniki okresowych badań NDT
- informacje na temat przeprowadzonych napraw, modernizacji

Bez dostępu do powyższych danych praktycznie niemożliwe jest wykonanie oceny urządzenia zgodnie z metodologią Fitness For Service.

Cały proces związany z oceną uszkodzeń jest bardzo złożony, a jednocześnie szczegółowo opisany. Potwierdzeniem tego stanu rzeczy może być przykład dotyczący korozji lokalnej. W „tradycyjnym” podejściu do tego typu uszkodzenia pocienienie jest charakteryzowane przez pomiar grubości ścianki wykonany w miejscach, których lokalizacja określona jest często na podstawie wewnętrznych standardów organizacji.

Stosując procedury oceny zawarte w API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service, pomiar grubości przeprowadza się według określonych wytycznych co do sposobu konstruowania siatek pomiarowych oraz krytycznych profili grubości. Przykład stosowanych siatek pomiarowych przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Przykład siatki pomiarowej dla części cylindrycznej zbiornika a) Przykładowa siatka pomiarów grubości w celu określenia wymiarów ubytku korozyjnego b) Szkic siatki pomiarowej dla części cylindrycznej wg API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service [2]



Warto podkreślić, że minimalna zmierzona grubość nie jest wystarczającym kryterium oceny. Istotny jest również m.in. obszar występowania danego pocienienia (wymiar wzdłużny i obwodowy) oraz odległość od najbliższej nieciągłości konstrukcyjnej. W API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service sprecyzowano wymagania dotyczące grupowania sąsiadujących ze sobą ubytków korozyjnych oraz podano zalecenia dotyczące przeprowadzania dodatkowych badań NDT (np. badania złączy spawanych znajdujących się „w pobliżu” wykrytego pocienienia).

Na podstawie zgromadzonych danych zespół przeprowadzający ocenę Fitness For Service ma możliwość określenia przydatności danego urządzenia do dalszej pracy i oszacowania pozostałej trwałości eksploatacyjnej.

Metodologia Fitness For Service w UDT

Urząd Dozoru Technicznego już od 2011 r., kiedy to przystąpił do pilotażowego programu wdrożenia metodologii Risk Based Inspection dla urządzeń ciśnieniowych pracujących w instalacji rafinerijnej, poszerza swoje doświadczenie w predykcji zużycia urządzeń ciśnieniowych. Obecnie tysiące zbiorników ciśnieniowych i rurociągów technologicznych w polskim przemyśle petrochemicznym zostały poddane analizom RBI, które mają na celu predykcję ich zużycia i opracowanie niezbędnych planów inspekcji prowadzących do utrzymania odpowiedniego poziomu ryzyka związanego z ich eksploatacją.

Zdobyta do tej pory wiedza pozwoliła na dokładniejsze dokumentowanie uszkodzeń urządzeń ciśnieniowych wykrytych w trakcie przeprowadzonej inspekcji. Zgromadzone dane posłużą do wykonania ocen stanu technicznego urządzeń zgodnie z metodologią Fitness For Service. W kolejnym numerze biuletynu Urzędu Dozoru Technicznego „Inspektor. Technika i bezpieczeństwo” planowane jest przedstawienie przykładowej analizy zgodnie z metodologią Fitness For Service.

Działania związane z wdrożeniem metodologii Fitness For Service wpisują się w realizację strategii UDT na lata 2021–2025, w szczególności w 1 Cel strategiczny: Zarządzanie bezpieczeństwem publicznym i przemysłowym – Zadanie 3: Innowacyjne podejście do bezpieczeństwa publicznego.

Literatura:

- [1] API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service; Figure 2.1 – FFS Assessment Procedures for Various Damage Classes
- [2] API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service; Figure 4.8 – Inspection Planes for Cylindrical Shells, Conical Shells, and Pipe Bends