

# Badania nieniszczące jako narzędzie w procesie sterowania jakością stalowych konstrukcji spawanych wg Norsok M-101

NDT as a tool in process of quality control of steel structures based on Norsok M-101

## Streszczenie

W referacie przedstawiono rolę i znaczenie badań nieniszczących (NDT) w procesie sterowania jakością na etapie wytwarzania. Przedstawiono zasady określania zakresu NDT podczas wytwarzania konstrukcji stalowych zgodnie z Norsok M-101, wydanie 5, 2012. Zaprezentowano możliwość wdrożenia systemu dla budownictwa, a także możliwość modyfikacji dla innych zastosowań.

**Słowa kluczowe:** sterowanie jakością, konstrukcje spawane

## Abstract

The paper presents the principles for establishing the scope of NDT during fabrication of steel structures in accordance with Norsok M-101 edition 5, 2012. It shows either the possibility to implement the system for Civil Engineering as well as possibility of modifications for other appliances.

**Keywords:** quality control, welding structures

## Wstęp

Rola i znaczenie badań nieniszczących (NDT) w procesie sterowania jakością na etapie wytwarzania jest powszechnie znana i wystarczająco udokumentowana w literaturze. Natomiast zakres NDT w procesie produkcji konkretnych wyrobów nadal budzi wiele emocji i kontrowersji. Jest to związane przede wszystkim z kosztami i trudnościami wynikającymi z umiejscowieniem NDT w harmonogramach produkcyjnych: wydłużeniem czasu potrzebnego do otrzymania gotowego produktu, koniecznością użycia dodatkowego transportu technologicznego w celu wykonania specyficznych badań, logistycznego zgrania wykonania

badań przez specjalistyczne firmy zewnętrzne (*outsourcing*), itp. Często zachodzi konieczność dostosowania pierwotnie założonego zakresu badań do zaistniałej sytuacji związanej z ilością wadliwych elementów w trakcie produkcji. Jakimi przesłankami powinien kierować się wytwórca? Czy wystarczy podwoić zakres badań czy rozszerzyć go do 100% kontroli? Znać są rozwiązania opisane w ASME jak chociażby „Kontrola Progresywna” (*Progressive Sampling*) [1] czy w EN [2, 3].

Celem niniejszego referatu jest pokazanie gotowych rozwiązań w tym zakresie w produkcji konstrukcji stalowych przeznaczonych do wydobywania gazu i ropy naftowej na morzu (*Offshore*) zgodnie z normą norweską Norsok M-101 [4].

## Normy Norsok

Standardy Norsok zostały opracowane dla norweskiego przemysłu naftowego dla zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa, skrócenia czasu realizacji projektów, optymalizacja efektywności kosztów oraz podniesienia wartości użytkowej konstrukcji i urządzeń. Pracę nad standardami Norsok rozpoczęto w 1993 roku pod auspicjami ówczesnego Ministra Gospodarki i Energetyki Finna Kristensena. Intencją wprowadzenia całościowego systemu Norsok było zastąpienie dotychczasowych specyfikacji stosowanych przez różne firmy Offshore. Norsok M-101 edycja 5 powstał w 2012 roku zastępując dotychczasowy dokument Norsok M-101 rewizja 4 z 2000 roku. Norma opisuje szczegółowo proces przygotowania produkcji konstrukcji stalowych, i wymagania odnośnie wykonania i kontroli wyrobów. Rozdział 9 Norsok M-101:2012 poświęcony jest badaniom nieniszczącym.

### Zwiększone wymagania odnośnie personelu NDT

Norsok M-101 stawia wyższe wymagania dla personelu wykonującego i nadzorującego NDT niż normy ISO, EN czy ASME. Można w skrócie powiedzieć używając terminologii języka sportu, iż poprzeczka została umieszczona jeden szczebel wyżej. Operator wykonujący badania nieniszczące musi posiadać certyfikat stopnia 2 w danej metodzie. Całość badań nadzorowana jest przez specjalistę stopnia 3. Wyjątkiem od tej reguły jest metoda radiograficzna, gdzie od operatorów wykonujących radiogramy nie wymaga się posiadania certyfikatu a jedynie udokumentowanej praktyki zawodowej w tej dziedzinie.

### Wymóg raportowania współczynników wadliwości

Przed rozpoczęciem produkcji wytwórca musi wprowadzić system rejestracji współczynników wadliwości dla badanych złączy spawanych. Współczynniki wadliwości muszą być rejestrowane tygodniowo na bazie wyników dla wszystkich metod NDT (VT, MT, PT, UT i RT) dla każdego obszaru produkcyjnego i muszą być raportowane razem ze skumulowanymi współczynnikami obejmującymi całość badań w danej metodzie. Statystyka współczynników wadliwości używana jest jako narzędzie w kontroli jakości złączy spawanych. Przyczyny powstawania defektów powinny być niezwłocznie analizowane i na ich podstawie muszą być podjęte działania korekcyjne mające na celu zapobieganie takim zjawiskom w przyszłości. Pęknięcia wykryte jakąkolwiek metodą NDT wymagają pisemnej analizy opracowanej przez inżyniera odpowiedzialnego za proces.

## Kategorie inspekcji

Norsok M-101 wyszczególnia pięć kategorii inspekcji oznaczając je dużymi łacińskimi literami od A do E. Poszczególne kategorie inspekcji różnią się od siebie minimalnym wymaganym zakresem NDT jak również kryteriami akceptacji. Aby lepiej zrozumieć funkcjonowanie systemu należy zwrócić uwagę na następujące zależności:

- Wymagania jakościowe (kryteria akceptacji) dla kategorii A i B są takie same. Kategorie różnią się jedynie początkowym zakresem NDT oraz możliwością sterowania zakresu NDT w trakcie produkcji.
- Analogiczne zależności występują dla kategorii B, C i D.
- Zakres NDT dla kategorii A i E jest stały w trakcie całego procesu produkcji.
- Kategorie inspekcji A, B i C odnoszą się tylko do złączy doczołowych, teowych, pachwinowych oraz złączy z niepełnym przetopem. Kategorie D i E mają zastosowanie do wszystkich rodzajów złączy.
- Badania VT są wykonywane w 100% niezależnie od kategorii inspekcji. Zakres VT nie podlega zmniejszeniu w trakcie całej produkcji.
- W kategoriach inspekcji A i B, dla złączy doczołowych spawanych metodą SAW (12) i FCAW (131 i 136) o grubości większej niż 25 mm wymagane jest 5% badanie UT w celu wykrycia pęknięć poprzecznych.

## Sterowanie zakresem NDT

Na bazie tygodniowego raportowania współczynników wadliwości lub powtarzających się przypadków występowania nieciągłości płaskich, dwa typy działań korekcyjnych (Trigger level) stosowane są w celu zwiększenia zakresu NDT dla kategorii B, C i D.

### Działanie korekcyjne 1

Jeżeli tygodniowy współczynnik wadliwości dla dowolnej metody przekracza 10%, zakres musi być zwiększony do 100% dla wszystkich złączy będących przedmiotem badań.

### Działanie korekcyjne 2

Jeżeli tygodniowy współczynnik wadliwości dla dowolnej metody zawiera się w przedziale 5 do 10%, stosowane są dwa etapy zwiększania zakresu NDT:

#### Krok 1

Tygodniowy współczynnik wadliwości dla dowolnej metody NDT przewyższa 5% (1% dla MT) – wymagane jest podwojenie zakresu NDT. Badania wrywkowe są zwiększane do 20%.

#### Krok 2

Jeżeli tygodniowy współczynnik wadliwości dla dowolnej metody NDT dla podwojonego zakresu (krok 1) przewyższa 5%, zakres NDT zwiększa się dla wszystkich złączy będących przedmiotem badań.

Podwyższony zakres NDT powinien obejmować złącza tej samej kategorii, spawane w tym samym czasie przez tych samych spawaczy, wg podobnych WPS, etc.

Jako generalna zasadę trzeba przyjąć wstrzymanie dalszego spawania, jeżeli współczynnik wadliwości przekracza 10%, do momentu przeprowadzenia analizy i wprowadzenia działań korekcyjnych w procesie spawania.

Niskie współczynniki wadliwości mogą stanowić podstawę do redukcji zakresu NDT dla kategorii B, C i D.

Współczynnik wadliwości oblicza się wg następującej zależności:

$$\text{Współ. wadliwości} = \frac{\text{Sumarna długość defektów} \times 100\%}{\text{Sumarna długość badanych złączy}}$$

Współczynnik oblicza się dla każdej metody oddzielnie. Współczynnik można obliczać bazując na minimalnej ilości złączy: 5 sztuk lub 1 metr.

W początkowym etapie produkcji zakres UT i MT dla kategorii B i C musi być zwiększony podwójnie w stosunku do normalnego zakresu. Jeżeli wadliwość utrzymuje się na zadowalającym poziomie można zredukować zakres do wymaganego minimum.

**Tablica I.** Minimalny zakres NDT i możliwości sterowania zakresem na etapie produkcji  
**Table I.** The minimum range of NDT and the ability of its control of the production stage

Kategoria inspekcji	Rodzaj złączy	Zakres NDT, %			
		VT	RT	UT	MT
A	Doczołowe	100	10	100	100
	Teowe	100	–	100	100
	Pachwiny / Niepełny przetop	100	–	20 <sup>c</sup>	100
B <sup>a</sup>	Doczołowe	100	Wrywkowe	50 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>
	Teowe	100	–	50 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>
	Pachwiny / Niepełny przetop	100	–	10 <sup>bc</sup>	100 <sup>b</sup>
C <sup>a</sup>	Doczołowe	100	–	20 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>
	Teowe	100	–	20 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>
	Pachwiny / Niepełny przetop	100	–	Wrywkowe <sup>c</sup>	20 <sup>b</sup>
D <sup>a</sup>	Wszystkie	100	–	–	Wrywkowe
E	Wszystkie	100	–	–	–

Badanie wrywkowe oznacza 2 do 5%

<sup>a</sup> Zwiększony zakres NDT został zdefiniowany w działaniach korekcyjnych w poprzednim rozdziale. Zwiększony zakres badań musi być utrzymany dopóki współczynnik wadliwości znowu osiągnie wartość poniżej 5%

<sup>b</sup> Zakres może być zredukowany do 50% bazując na doświadczeniach i udokumentowanych zapisach dotyczących podobnych złączy, jeżeli współczynnik wadliwości dla UT/RT jest < 2,0% i dla MT jest < 0,2% dla ostatnich badanych 100 metrów złączy spawanych. Ostatnie 100 metrów musi być stale uaktualniane każdego tygodnia. Jeżeli współczynnik wadliwości przekroczy wartości podane powyżej należy przywrócić normalny zakres NDT. Ewentualna redukcja zakresu NDT musi być brana pod uwagę oddzielnie dla każdej metody spawania i obszaru produkcyjnego.

<sup>c</sup> Ma zastosowanie dla złączy z częściowym przetopem gdy głębokość wtopienia przekracza 12 mm

## Wnioski

System sterowania zakresem NDT podany w rozdziale 9 NORSOK M-101 jest w miarę prosty i można go z powodzeniem stosować nie tylko przy produkcji Offshore. Natomiast aspekt wychowawczy specyfikacji budzi często kontrowersje zarówno wśród producentów jak i nadzorujących projekty specjalistów level 3. Można wyobrazić sobie sytuację, gdy na przykładowym projekcie Offshore mamy w kategorii C 20 metrów złączy pełnoprzetopowych i 2 kilometry

pachwin. Jeżeli podczas badań UT współczynnik wadliwości przekroczy 10% i zostanie ustanowiony 100% zakres to będzie to dotyczyć również badań MT. A za tym idzie dodatkowa praca, koszty i czasem wydłużenie terminu realizacji projektu.

W mojej ocenie ten wychowawczy aspekt NORSOK jest jak najbardziej uzasadniony. Wprowadza on element dyscypliny już na etapie projektowania a konsekwentne przestrzeganie reguł w trakcie produkcji da nam w finale dobrą jakość konstrukcji przy optymalnych kosztach.

## Literatura

- [1] ASME B31.3-2002 - 341.3.4 Progressive Sampling for Examination.
- [2] PN-EN 12953-5:2005 Kotle płomienicowo-płomieniówkowe. Część 5: Badania podczas wytwarzania, sporządzanie dokumentacji i znakowanie części ciśnieniowych kotłów.
- [3] PN-EN 13445-5 Nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe. Część 5: Kontrola i badania.
- [4] NORSOK M-101 edition 5 2012.