

---

# OCENA JAKOŚCI SPOIN

Sławomir Mackiewicz  
Marek Śliwowski  
Antoni Zbyszewski

## 1. Wstęp

Badania nieniszczące spoin obwodowych wykonywanych na budowie rurociągów dalekosiężnych są jednym z najważniejszych elementów kontroli jakości prac podczas realizacji tego typu inwestycji. Fakt ten znajduje swoje odzwierciedlenie w wymaganiach stosownych norm jak również w powszechnej praktyce inwestorów zwiększania zakresu badań nieniszczących powyżej minimów wymaganych przez te normy.

W Polsce, po latach przerwy w realizacji dużych projektów rurociągowych, realizowana jest obecnie budowa Gazociągu Tranzytowego stanowiącego odcinek wielkiej magistrali gazowej łączącej półwysep Jamat z Europą Zachodnią.

W tym kontekście warto przeanalizować aktualne tendencje i zmiany zachodzące w badaniach nieniszczących rurociągów na świecie i na tym tle przedstawić metody i wyniki badań nieniszczących prowadzonych aktualnie na Gazociągu Tranzytowym. Jest to tym bardziej uzasadnione, że w ferworze polemicznych dyskusji na temat wspomnianej inwestycji podano, także w odniesieniu do badań nieniszczących, szereg niepełnych, wyrwanych z kontekstu informacji, które nie oddają faktycznego stanu rzeczy w tym zakresie.

Autorzy pracy pragną podziękować inwestorowi Gazociągu Tranzytowego firmie EuroPolGaz s.a. za umożliwienie wykorzystania danych o wynikach badań nieniszczących na jednym z odcinków tego gazociągu.

## 2. Metody badań nieniszczących spoin rurociągów

Początki zastosowań badań nieniszczących do rutynowej kontroli złączy spawanych wykonywanych na budowach rurociągów dalekosiężnych sięgają lat 50-tych. Przez wiele lat zdecydowanie dominującą techniką kontroli spoin obwodowych rurociągów były badania radiograficzne. Podstawowym sprzętem stosowanym w badaniach radiograficznych rurociągów były i są nadal samojezdne defektoskopy ze źródłami promieniowania, poruszające się wewnątrz rurociągu tzw. crawlery. Urządzenia te pozwalają na przeprowadzenie badań radiograficznych spoin obwodowych metodą centryczną co pozwala na wydatne skrócenie czasów ekspozycji i umożliwia osiągnięcie szybkości badań odpowiadającej wydajności czołówek spawalniczych.

Najważniejszą zmianą jaka zaszła w ciągu ostatnich lat w dziedzinie badań radiograficznych rurociągów

było zastąpienie dotychczasowych crawlerów ze źródłami promieniowania gamma (głównie Ir 192) przez crawlery wyposażone w lampy rentgenowskie. Urządzenia rentgenowskie pozwoliły na uzyskiwanie obrazów radiograficznych o znacznie wyższej jakości, jednakże podstawowa zasada badania pozostała w nich taka sama.

Obok unowocześnienia badań radiograficznych, w latach 90-tych, wprowadzono na budowach rurociągów dalekosiężnych zasadniczo nowe rozwiązanie czyli zautomatyzowane badania ultradźwiękowe [1]. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych ręcznych badań ultradźwiękowych skomputeryzowane systemy automatyczne umożliwiają pełny zapis wyników skanowania spoiny, kontrolę sprzężenia akustycznego a także przedstawianie całościowych wyników badania w postaci graficznego ultrasonogramu, który znacznie ułatwia dokonywanie interpretacji i oceny wskazań. Dzięki tym cechom systemów automatycznych metoda ultradźwiękowa, krytykowana dotychczas za brak obiektywnego zapisu wyników badania, zyskała nową jakość.

Pionierskie rozwiązania w dziedzinie zautomatyzowanych systemów do badań ultradźwiękowych były dziełem holenderskiej firmy RTD z Rotterdamu. Opracowany przez tę firmę system ROTOSCAN był zastosowany na budowach kilkudziesięciu rurociągów dalekosiężnych głównie w Kanadzie, Holandii, Niemczech a obecnie również Polsce. Śladem RTD poszło kilka innych firm zachodnich, które opracowały własne systemy do zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych takie jak: MIPA firmy SGS-Gottfeld, PIPE CAT belgijskiej firmy AIB Vincotte czy IPIPELINE angielskiej firmy AEA Technology.

Analizując techniczne aspekty obu stosowanych obecnie metod badań nieniszczących spoin obwodowych rurociągów (tj. radiografii rentgenowskiej i zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych) należy zwrócić uwagę na takie ich cechy jak prawdopodobieństwo wykrywania wad, możliwości oceny położenia i rozmiarów wady, jednoznaczność interpretacji wyników badania a także szybkość badań i względy bezpieczeństwa.

Fizyczne podstawy metody radiograficznej i ultradźwiękowej są odmienne stąd też informacje uzyskiwane o badanym obiekcie - spoinie rurociągu są odmienne i wyrażone za pomocą innych parametrów. Nie wchodząc w ogólnie znane szczegóły obu metod warto jedynie

przypomnieć, że w badaniach radiograficznych podstawą do oceny jest rodzaj, długość i szerokość wady w jej „widoku z góry” zaś w badaniach ultradźwiękowych długość oraz poziom echa wady (czyli jej zdolność do odbijania fal ultradźwiękowych w określonym kierunku).

Interesujące rezultaty badań porównawczych różnych technik badań nieniszczących spoin obwodowych rurociągów uzyskano w ramach programu zrealizowanego pod auspicjami holenderskiego GASUNIE [4]. Badania porównawcze przeprowadzono zarówno na specjalnie przygotowanych spoinach testowych z celowo wprowadzonymi wadami jak również na 1 km odcinku normalnie budowanego rurociągu, spawanego ręcznie, o wymiarach 36"x11. Kryteria akceptacji spoin, zarówno ultradźwiękowe jak i radiograficzne, były zgodne z obowiązującymi normami holenderskimi.

W testach porównawczych przeprowadzonych na odcinku rurociągu stwierdzono znaczne różnice w liczbie spoin zakwalifikowanych do naprawy, odpowiednio: 14% spoin w wyniku badań radiograficznych i 25% spoin w wyniku badań ultradźwiękowych systemem ROTOSCAN.

W testach przeprowadzonych na spoinach z celowo wprowadzonymi wadami porównywano prawdopodobieństwo wykrycia wad przez poszczególne techniki badań nieniszczących. Podstawowe wnioski z tych badań były następujące: około 78% procent wszystkich wprowadzonych wad zostało wykrytych i prawidłowo ocenionych przy wykorzystaniu systemu ROTOSCAN, najwyższą skuteczność, powyżej 90%, osiągnięto przy tym w wykrywaniu przyklejeń ~ procent wykrycia i prawidłowej oceny wad metodą radiograficzną istotnie zależał od informacji wstępnych jakie przekazywano osobie oceniającej na temat warunków wykonania przedstawianych do oceny spoin (tj. o technice spawania, spawanym materiale, temperaturze otoczenia, jakości pracy konkretnych spawaczy itp.), uzyskane wskaźniki prawidłowej oceny zawierały się w zakresie od 66% do 84%. Wyniki tych i podobnych badań porównawczych oraz doświadczenia płynące z rutynowych badań na rurociągach wskazują, że obie metody badań mają swoje zalety, ograniczenia i konkretne obszary zastosowań.

Zautomatyzowane badania ultradźwiękowe wykazują zdecydowaną przewagę nad badaniami radiograficznymi w sytuacji gdy największe zagrożenie stanowią wady typu przyklejeń jak to ma miejsce np. w procesach spawania automatycznego w osłonie gazów. Połączenie automatycznego spawania typu CRC ze zautomatyzowaną kontrolą spoin systemem Rotoscan stało się obecnie niepisany światowy standard.

Z drugiej strony, w przypadku rurociągów spawanych ręcznie, dominującą techniką kontroli spoin są nadal badania radiograficzne chociaż udział zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych stale wzrasta.

Prowadzone są intensywne prace badawczo-rozwojowe nad dalszym udoskonalaniem systemów do zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych. Jednym z najważniejszych kierunków tych prac jest zintegrowanie, w ramach jednego systemu, dwóch technik badań ultradźwiękowych tj. konwencjonalnej metody echa oraz nowo opracowanej metody TOFD [3]. Wprowadzenie do dotychczasowych systemów metody TOFD pozwoliłoby na uzyskiwanie precyzyjnej informacji o położeniu i rzeczywistych rozmiarach wad. W konwencjonalnych systemach ultradźwiękowych ocena wielkości wady dokonywana jest na podstawie poziomu echa odbitego od wady i wskutek tego wady o niekorzystnej orientacji geometrycznej (np. niektóre przypadki pęknięć) jak też wady o małej zdolności odbijania fal ultradźwiękowych (np. żuźle i pęcherze) mogą pozostać nie wykryte lub niewłaściwie ocenione [4]. Ograniczenia te nie dotyczą metody TOFD, która opiera się na wykorzystaniu informacji o czasie przejścia impulsów ultradźwiękowych ugiętych na krawędziach wady niezależnie od jej kształtu i orientacji.

W świetle powyższych uwag, czynnikiem, który może spowodować zasadniczy zwrot na korzyść nowoczesnych metod ultradźwiękowych, jest szersze wprowadzenie do norm i warunków technicznych kryteriów oceny spoin opartych na mechanice pęknięcia. Zastosowanie tych kryteriów w praktyce wymaga bowiem od techniki badań nieniszczących wiarygodnych i precyzyjnych informacji o położeniu, wysokości i długości wykrywanych wad. Informacje takie będą możliwe do uzyskania jedynie przy zastosowaniu zautomatyzowanych systemów ultradźwiękowych wyposażonych w opcję TOFD.

### 3. Kryteria akceptacji spoin

Kryteria akceptacji spoin stanowią jeden z podstawowych elementów w codziennej praktyce badań nieniszczących. W ciągu wielu lat stosowania tradycyjnych metod badań nieniszczących (radiografia, ręczne badania ultradźwiękowe) kryteria oceny spoin ewoluowały w stronę tzw. kryteriów dobrego wykonania opartych na ścisłym przestrzeganiu procedur wykonawczych i empirycznej ocenie bezpiecznej pracy konstrukcji.

Przyglądając się tradycyjnym kryteriom akceptacji można stwierdzić, że zostały one zaprojektowane raczej pod kątem monitorowania jakości pracy spawaczy niż oceny rzeczywistego ryzyka zniszczenia jakiegoś elementu konstrukcji w oparciu o wytrzymałościową analizę jego pracy. W tym sensie określenie kryteria dobrego wykonania jest adekwatne do stosowanych obecnie kryteriów akceptacji spoin. Należy jednak pamiętać, że akceptacja lub odrzucenie wady wykracza poza aspekt sprawdzenia jakości pracy spawacza, gdyż w pewnych sytuacjach wada może pozostać w konstrukcji bez narażania jej na zniszczenie w innych zaś może prowadzić do jej zniszczenia.

W świetle osiągnięć współczesnej mechaniki pęknięcia tradycyjne kryteria oceny spoin, podawane w większo-

ści stosowanych na świecie norm, są nadzwyczaj surowe. W dotychczasowej praktyce surowość kryteriów oceny w dużej mierze kompensowała słabość stosowanych technik badań nieniszczących (np. mało wiarygodne wyniki w ocenie przyklejów metodą radiograficzną lub małe prawdopodobieństwo wykrywania wad ręczną metodą ultradźwiękową). Tak więc ograniczenia tradycyjnych metod badań nieniszczących wpłynęły w dużym stopniu na sposób formułowania odpowiadających im kryteriów akceptacji.

W sytuacji znacznego udoskonalenia stosowanych technik badań nieniszczących (wprowadzenie zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych, metody TOFD) i zwiększenia wykrywalności wad problem kryteriów akceptacji wymaga zasadniczo nowego rozwiązania. Rozwiązaniem takim są tzw. kryteria ECA (Engineering Critical Assessment) sformułowane w oparciu o analizę opartą na mechanice pękania i wprowadzone już obecnie do rurociągowych norm amerykańskich [7] i kanadyjskich [8] jako alternatywa dla kryteriów tradycyjnych. Zastosowanie alternatywnych kryteriów akceptacji spoin wymaga jednak uzyskania pozytywnych wyników badań odporności materiału spoiny na pęknięcie, czyli tzw. próby CTOD.

Kryteria ECA wymagają wiarygodnego i precyzyjnego określenia rzeczywistych rozmiarów wad (długości i wysokości) oraz ich usytuowania w spoinie. Mogą być one zastosowane do spoin obwodowych z wyłączeniem spoin w przepompowniach i stacjach kompresorowych oraz spoin naprawianych.

Dla ukazania zasadniczej różnicy między kryteriami dobrego wykonania oraz nowoczesnymi kryteriami ECA wykonano symulacyjne obliczenia dla rurociągu DN 1400x20 według normy amerykańskiej API 1104. Obliczenia kryteriów ECA przeprowadzone zostały przy realistycznych założeniach dotyczących maksymalnych obciążeń rurociągu oraz wartości parametru CTOD dla materiału rur i spoin.

Uzyskano następujące warunki na wysokości i długości wad dopuszczalnych:

- wady powierzchniowe: dopuszczalna wysokość - 4,5 mm, dopuszczalna długość - 56 cm
- wady wewnętrzne o wysokości poniżej 5 mm: dopuszczalna długość - 56 cm
- wady wewnętrzne o wysokości 5-9 mm: dopuszczalna długość - 8 cm

Dla porównania podane w tej samej normie kryteria tradycyjne określają następujące limity wad dopuszczalnych w badaniach ultradźwiękowych:

- wady powierzchniowe: dopuszczalna długość - 1" (2,54 cm)
- wady wewnętrzne: dopuszczalna długość - 2" (5,08 cm)

#### 4. Ocena jakości prac spawalniczych na rurociągu

Obok oceny jakości wykonania konkretnych spoin, w wyniku której akceptuje się daną spoinę lub kieruje

ją do naprawy, istotne znaczenie ma również określenie bardziej ogólnych wskaźników charakteryzujących jakość wykonawstwa prac spawalniczych na rurociągu.

Wskaźniki takie mogą być wykorzystane do bieżącej oceny pracy czołówek spawalniczych przez nadzór wykonawcy i inwestora a także mogą służyć inwestorowi do porównywania jakości wykonawstwa prac spawalniczych przez różnych wykonawców lub podwykonawców.

Najczęściej stosowanym do tego celu wskaźnikiem jest tzw. repair rate czyli procent spoin nie zaakceptowanych w wyniku badań nieniszczących i skierowanych do naprawy lub wycięcia. Parametr ten, który możemy krótko nazwać wskaźnikiem poprawek jest zdefiniowany następująco:

$$\text{wskaźnik poprawek} = \frac{\text{liczba spoin niezaakceptowanych}}{\text{liczba spoin zbadanych}} \times 100\%$$

Niezależnie od powszechnego stosowania tego wskaźnika do oceny jakości wykonawstwa prac spawalniczych na rurociągach należy zwrócić uwagę na poważne niedostatki takiego podejścia. Podstawowy problem leży w tym, że spoina może być nie zaakceptowana zarówno z powodu jednej krótkiej wady jak też z powodu wielu wad o wielokrotnie większej długości. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku rurociągów o dużych średnicach gdzie np. jedna wada o długości 3 cm może, w świetle tej metody liczenia, dyskwalifikować całą spoinę obwodową o długości kilku metrów.

Wpływ średnicy rurociągu na wskaźnik poprawek najlepiej zilustrować na prostym przykładzie obliczeniowym. Załóżmy, że pewna czołówka spawalnicza wykonuje spoiny na rurociągach o różnej średnicy w taki sposób, że zawsze średnio - w % długości wykonanych spoin zawiera wady, których średnia długość wynosi - d oraz, że wady te zdarzają się w sposób całkowicie przypadkowy. Do przeprowadzenia statystycznych obliczeń wartości wskaźnika poprawek, w tym przypadku, skorzystać można ze wzoru:

$$P(R) = 1 - \left( \frac{N-1}{N} \right)^{\left( \frac{NLw}{d} \right)}$$

gdzie:

P(R) - prawdopodobieństwo zdarzenia, że na danej spoinie rurociągu wystąpi co najmniej jedna wada (czyli spoina zostanie zakwalifikowana do naprawy)

N - całkowita liczba spoin obwodowych na rurociągu,

L - długość obwodu jednej spoiny,

d - średnia długość wad na rurociągu

w - wadliwość liniowa czyli stosunek długości wszystkich odcinków wadliwych do całkowitej długości wszystkich spoin rurociągu

Po przeprowadzeniu obliczeń statystycznych przy założeniu realistycznych wartości wadliwości liniowej ( $w = 0,3\%$ ) i średniej długości wad ( $d = 7\text{cm}$ ) otrzymujemy dla rozważanej czołówki spawalniczej następujące wartości wskaźnika poprawek w zależności od średnicy wykonywanego rurociągu.

| średnica rurociągu | wadliwość liniowa | wskaźnik poprawek |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| DN 1400            | 0,3 %             | 17,4 %            |
| DN 700             | 0,3 %             | 9,1 %             |
| DN 500             | 0,3 %             | 6,6 %             |
| DN 300             | 0,3 %             | 4,1 %             |

Tab. 1. Wartości wskaźnika poprawek w zależności od średnicy rurociągu przy jednakowej wadliwości liniowej.

Jak widać z tabeli wartość wskaźnika poprawek jest tym większa im większa średnica rurociągu, niezależnie od tego, że obiektywna jakość pracy rozważanej czołówki spawalniczej była zawsze taka sama. Bezzasadne jest więc porównywanie jakości wykonawstwa prac spawalniczych na rurociągach o różnej średnicy przy zastosowaniu wskaźnika poprawek.

Kolejną zależnością z jaką należy się liczyć w przypadku stosowania wskaźnika poprawek do oceny jakości spawania jest silny wpływ na jego wartość średniej długości wad występujących na danym rurociągu. Średnia długość wad zależy od jakości pracy spawaczy, rodzaju stosowanej technologii spawania, ale również od arbitralnie przyjętych kryteriów oceny spoin (w przypadku bardziej tolerancyjnych kryteriów pewne niezgodności przestaną być traktowane jako wady i średnia długość wad ulegnie zwiększeniu).

Dla uzyskania lepszego wyobrażenia o tej zależności przeprowadzimy ponownie statystyczne obliczenia przy założeniu, że na różnych odcinkach rurociągu o średnicy DN 1400 wadliwość liniowa wynosi stale 0,3 %, a zmienia się tylko średnia długość wad. Wyniki odpowiednich obliczeń podano w poniższej tabeli.

| średnia długość wad | wadliwość liniowa | wskaźnik poprawek |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| 5 cm                | 0,3 %             | 23,5 %            |
| 7 cm                | 0,3 %             | 17,4 %            |
| 10 cm               | 0,3 %             | 12,5 %            |
| 15 cm               | 0,3 %             | 8,6 %             |

Tab. 2. Wartości wskaźnika poprawek w zależności od średniej długości wad na rurociągu DN 1400 przy jednakowej wadliwości liniowej 0,3 %.

Wartość wskaźnika poprawek wzrasta bardzo szybko przy zmniejszaniu się średniej długości wad. Oznacza to, że duża ilość drobnych wad daje znacznie wyższe wartości tego parametru niż mniejsza ilość dłuższych wad o tej samej długości całkowitej.

Jak wskazują powyższe rozważania wskaźnik poprawek nie jest najbardziej obiektywną miarą jakości wykonawstwa prac spawalniczych na rurociągu. Znacznie lepszym parametrem do tego celu wydaje się być stosunek łącznej długości odcinków wadliwych do całkowitej długości wszystkich zbadanych spoin. Parametr ten, który można nazwać wadliwością liniową jest zdefiniowany następująco:

$$\text{wadliwość liniowa} = \frac{\text{łączna długość odcinków wadliwych}}{\text{łączna długość zbadanych spoin}} \times 100\%$$

Wadliwość liniowa może służyć do porównywania jakości wykonawstwa prac spawalniczych wykonywanych na rurociągach o różnej średnicy. Ponadto parametr ten zależy w znacznie mniejszym stopniu od przyjętych kryteriów akceptacji spoin niż ma to miejsce w przypadku wskaźnika poprawek. Wynika to z faktu, że standardowe kryteria akceptacji spoin różnią się między sobą głównie w zakresie oceny wad krótkich (praktycznie do 5cm) podczas gdy wady dłuższe są generalnie nie akceptowane. Ilość wad krótkich wpływa z kolei w dużym stopniu na wartość wskaźnika poprawek zaś w znacznie mniejszym stopniu (z uwagi na ich małą długość) na wartość wadliwości liniowej. Tym samym za pomocą wskaźnika wadliwości liniowej można porównywać jakość prac spawalniczych nawet na rurociągach, na których do oceny spoin stosowano odmienne standardy i warunki techniczne (z wyłączeniem zasadniczo różniących się kryteriów opartych na mechanice pękania). Parametr ten odzwierciedla w większym stopniu rzeczywistą jakość spoin niż formalnie stosowane kryteria oceny.

Wyznaczenie wadliwości liniowej dla pewnego czasuokresu robót lub dla określonej czołówki spawalniczej wymaga zsumowania długości wszystkich wad na pewnych spoinach rurociągu. Wykonanie takich obliczeń może być kłopotliwe w przypadku zapisu wyników badań nieniszczących jedynie w formie pisemnych protokółów. Stąd też efektywne posługiwanie się wskaźnikiem wadliwości liniowej wymaga rejestracji wyników badań w komputerowej bazie danych umożliwiającej szybkie wykonywanie stosownych obliczeń.

Stosowanie wadliwości liniowej jako podstawowego parametru do syntetycznej oceny jakości spawania na rurociągu nie wyklucza równoległego posługiwania się wskaźnikiem poprawek. Parametr ten może być szczególnie przydatny do bieżącego nadzoru nad

pracą czołówki spawalniczej z uwagi na wady powstające w wyniku systematycznych błędów niektórych spawaczy lub niedotrzymywanie warunków technologii spawania. Wady tego rodzaju będą się często powtarzać w kolejnych spoinach i spowodują duży wzrost wskaźnika poprawek obliczonego np. dla dziennej produkcji spoin.

## 5. Wyniki badań nieniszczących na odcinku Gazociągu Tranzytowego

Przedstawione powyżej rozważania zostaną zilustrowane na przykładzie 25 km odcinka Gazociągu Tranzytowego zbudowanego w ostatnim kwartale 1997r i zbadanego przez firmę NDTEST za pomocą zautomatyzowanego systemu ultradźwiękowego ROTOSCAN oraz metodą radiograficzną przy zastosowaniu crawlerów ze źródłem Ir192.

Badaniami ultradźwiękowymi systemem ROTOSCAN objęto 100% spoin liniowych spawanych półautomatycznie drutem samoosłonowym (bez spoin wstawkowych) w łącznej liczbie 1431. Około 18% spośród tych spoin, dokładnie 259 złączy obwodowych, zbadano również metodą radiograficzną.

Zgodność ocen spoin obiema metodami była stosunkowo wysoka i wyniosła 85,7 %. Jeśli chodzi o spoiny mające oceny rozbieżne to w przypadkach kiedy występowała negatywna ocena radiograficzna przy pozytywnej ultradźwiękowej (6,2 % spoin) przyczyną rozbieżności były głównie widoczne na radiogramach żuźle pasmowe i pęcherze, które nie dały ech wystarczająco dużych by zostać zdyskwalifikowane w badaniu ultradźwiękowym. Z drugiej strony, w przypadkach kiedy występowała negatywna ocena ultradźwiękowa przy pozytywnej radiograficznej (8,1 % spoin) przyczyną rozbieżności były niewidoczne na radiogramach przyklejenia, które dawały echa ultradźwiękowe powyżej poziomu akceptacji. Fakt ten kilkakrotnie potwierdzono szlifując tego rodzaju spoiny we wskazanych miejscach i dokonując badań magnetyczno-proszkowych.

Przechodząc do całościowej oceny odcinka gazociągu zbadanego zautomatyzowaną metodą ultradźwiękową można

podać następujące wskaźniki jakości wykonania prac spawalniczych:

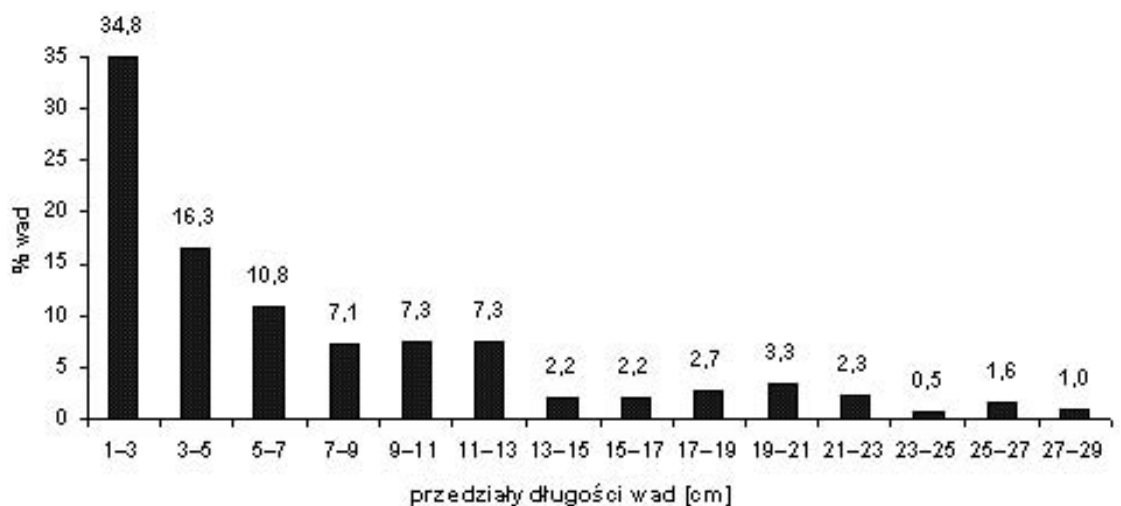
- wadliwość liniowa - 0,27 %
- wskaźnik poprawek - 12,2 %

Pewnym odniesieniem dla tych wskaźników mogą być analogiczne parametry dla odcinka Gazociągu Orenburskiego podane przez W. Szydlika [6]. Dla spawania metodą półautomatyczną wadliwość liniowa była tam znacząco wyższa i wynosiła 0,7 %. Wskaźnik poprawek był natomiast wyraźnie niższy i wynosił 5,7 %. Przyczyną tej pozornej niezgodności obu wskaźników były bardziej liberalne kryteria oceny spoin w odniesieniu do dopuszczalnej długości wad, które stosowano na Gazociągu Orenburskim. Jest to dobrą ilustracją rozważań przedstawionych w poprzednim punkcie mówiących o zależności obu wskaźników od stosowanych kryteriów oceny spoin. W wyniku stosowania łagodniejszych niż na Gazociągu Tranzytowym kryteriów oceny wskaźnik poprawek uległ istotnemu zmniejszeniu a mimo to bardziej obiektywna miara jakości spawania - wadliwość liniowa pozostała stosunkowo wysoka.

Rozkład długości wad niedopuszczalnych wykrytych za pomocą systemu ROTOSCAN na spoinach omawianego odcinka Gazociągu Tranzytowego przedstawiono na rys. 1.

Wynika z niego, że najczęściej wykrywano w spoinach wady stosunkowo krótkie. W sumie wady o długości poniżej 5 cm stanowiły nieco ponad 50% wszystkich wykrytych wad. Średnia długość wad wynosiła 7,3 cm.

Duży udział wad krótkich wskazuje, że dokonując złagodzenia kryteriów oceny spoin w zakresie dopuszczalnej długości wad można byłoby osiągnąć znaczne zmniejszenia wskaźnika poprawek i odpowiednio zmniejszyć liczbę wykonywanych napraw spoin. Byłoby to korzystne z ekonomicznego punktu widzenia i niekoniecznie musia-



Rys.1. Względna ilość wad w określonych przedziałach długości na 25 km odcinku Gazociągu Tranzytowego.

łoby oznaczać obniżenie jakości zbudowanego gazociągu w rozumieniu podejścia fitness for purpose. Złagodzenie stosowanych dotychczas kryteriów oceny spoin nie może być jednak dokonane w sposób arbitralny bez należytego uzasadnienia.

Szansę na takie rozwiązanie daje wprowadzenie kryteriów akceptacji spoin opartych na mechanice pęknięcia w połączeniu z jednoczesnym zastosowaniem do badań nieniszczących systemu ultradźwiękowego wyposażonego w opcję TOFD. System taki umożliwiłby wiarygodne i dokładne wyznaczanie wszystkich parametrów wad niezbędnych przy stosowaniu kryteriów ECA (długość, wysokość oraz położenie wady na głębokości spoiny). Przedstawione rozwiązanie wydaje się obecnie w zasięgu możliwości. Kryteria ECA są dopuszczone do stosowania jako kryteria alternatywne przez podstawową normę rurociągową API 1104, zaś systemy ultradźwiękowe do badania spoin rurociągów, wyposażone w opcję TOFD, znajdują się na etapie prób praktycznych.

## 6. Wnioski

Podstawowymi technikami badań nieniszczących spoin obwodowych rurociągów są obecnie badania radiograficzne z wykorzystaniem crawlerów rentgenowskich oraz zautomatyzowane badania ultradźwiękowe.

Zautomatyzowane badania ultradźwiękowe wykazują zdecydowaną wyższość i są częściej stosowane do kontroli rurociągów spawanych metodami automatycznymi. Dalszy postęp w badaniach ultradźwiękowych spoin jest związany ze zintegrowaniem w ramach jednego systemu metody TOFD i standardowej metody echa.

Konwencjonalne kryteria oceny spoin tzw. kryteria dobrego wykonania w połączeniu z dużą skutecznością w wykrywaniu wad przez nowoczesne systemy ultradźwiękowe prowadzą do dużej ilości napraw krótkich wad spoin, które w świetle mechaniki pęknięcia nie stanowią zagrożenia dla integralności rurociągu.

Najbardziej przyszłościowym kierunkiem zmian w dziedzinie badań nieniszczących spoin jest szersze wprowadzenie kryteriów oceny opartych na mechanice pęknięcia z jednoczesnym stosowaniem unowocześnieonych systemów ultradźwiękowych wyposażonych w opcję TOFD.

## Literatura

1. M.Śliwowski, S.Mackiewicz, A.Zbyszewski, *Zautomatyzowana kontrola ultradźwiękowa spoin obwodowych rurociągów*, Materiały seminarium „Ultradźwiękowe Badania Materiałów” Zakopane 1997.
2. S.Mackiewicz, *Ultradźwiękowa kontrola spoin rurociągów przy wykorzystaniu automatycznego systemu MIPA*, „**Rurociągi**” Nr 2/1995.
3. S.Mackiewicz, *Metoda TOFD. Nowe podejście do ultradźwiękowych badań spoin*, „Badania Nieniszczące”, Nr 9, czerwiec 1997.
4. J. Deputat, *Techniki defektoskopii i badania własności materiałów w świetle 14 światowej konferencji badań nieniszczących*, Materiały seminarium „Ultradźwiękowe Badania Materiałów” Zakopane 1997.
5. H.A.M. van Merrienboer, *Mechanised ultrasonic inspection of manually welded girth welds compared with radiography*, „GASUNIE”, The Netherlands.
6. W.Szydlik, *Ruro nie pękaj*, „**Rurociągi**” Nr 2/8/1997.
7. *API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities*, „Eighteenth Edition”, May 1994
8. *CAN/CSA - Z164-M92*, „Gas Pipeline Systems”, Appendix K, January 1992
9. F.H.Dijkstra, J.A. de Raad and T Bouma, *TOFD and acceptance criteria: a perfect team*, „Insight” Vol 39, No 4, April 1997.

Szanowny Panie Redaktorze,

Otrzymałmy zapytanie z kanadyjskiej firmy Trustwide Trading Company o polskie firmy specjalizujące się w czyszczeniu i inspekcji rurociągów do przesyłu ropy i zbiorników. Czy Pan Redaktor mógłby nam kogoś zasugerować? Dodatkowo wystąpiliśmy do p.Elrofaie o informacje czy prace miałyby się odbywać w Kanadzie czy też innym kraju.

Z poważaniem,  
Janusz Pisz  
I Sekretarz/Konsul ds. Handlowych  
Wydział Promocji Handlu i Inwestycji  
Ambasady RP w Kanadzie

-----Original Message-----

From: Mohamed Elrofaie [mailto:trustwide@rogers.com]  
To: commercial@polishembassy.ca  
Subject: oil pipeline and tank cleaning

Dear Sir/Madam:

I will highly appreciate it if you could provide me with a list of the companies that specialize **in Oil Pipeline & Tank Cleaning and inspection in Poland**.

Thank you and best regards,  
Mohamed Elrofaie  
Trustwide Trading Company