



Marek Śliwowski
NDTEST Warszawa

Studia przypadków - sporządzanie ekspertyz i opinii technicznych w oparciu o badania nieniszczące

1. Wstęp

W pracy nowoczesnego specjalistycznego laboratorium badań nieniszczących jednym z kluczowych problemów są wymagania i oczekiwania wobec pracy specjalisty 3-go stopnia.

Odpowiedź na tak postawione pytanie prowadzi do podejmowania rozwiązywania nietypowych problemów badawczych, kończącego się często sporządzeniem opinii bądź ekspertyzy o stanie technicznym obiektu.

W pracy specjalisty liczą się przede wszystkim kompetencje – rozumiane, jako zdolność do przeprowadzenia zadania badawczego zgodnie z wymaganiami zamawiającego, przy czym proces ten rozpoczyna się już na etapie formułowania zapytań ofertowych klienta, składania ofert, zawierania umów. Inaczej mówiąc już we wstępnym etapie współpracy z klientem należy potwierdzić możliwości wykonania zadania badawczego, rozwiązania problemu, poprzez wykonanie pewnych prac wstępnych, związanych z zasadnością wyboru adekwatnej metody/techniki badawczej a także technicznymi możliwościami przeprowadzenia badania.

2. Rola dokumentów NDT w realizacji zadania badawczego

Badania nieniszczące stanowią źródło podstawowych informacji niezbędnych dla podjęcia decyzji dotyczących akceptacji badanego obiektu lub decyzji diagnostycznych (opinia techniczna), związanych z jego dalszą eksploatacją. Z tego powodu niezwykle istotną cechą badań nieniszczących jest ich wiarygodność – związana z powtarzalnością i odtwarzalnością, które w zasadniczym stopniu zależą od jakości dokumentów ustalających przebieg procesu badania. Do podstawowych dokumentów procesu badań nieniszczących należy zaliczyć: plany badania, procedury badania i instrukcje badań.

Poprzez właściwe planowanie, w naszym przypadku planowanie badań/kontroli, mamy istotny wpływ na:

- Rodzaj badania (metodę badania/technikę – nieniszczącego);
- Zakres badania
- Czas badania (czyli moment zatrzymania tzw. „hold point” w procesie wytwarzania obiektu/wyrobu na wykonanie badania/kontroli i zwolnienie go do dalszych operacji po pozytywnym wyniku badania/kontroli);
- Możliwość wczesnego wykrycia wad (braków), niezgodności z wymaganiami;
- Terminy
- Koszty

Zdefiniowanie problemu badawczego wynika z analizy dokumentacji projektowej i

technologicznej, norm, przepisów i wymagań zlecniodawcy. Powinien być określony cel badania, poszukiwane cechy (np. nieciągłość, wady struktury, wymiary) zakres i obszary badania, kryteria akceptacji itd.

Plan badania, ściśle związany z postawionym problemem badawczym, powinien określać, co najmniej:

- metodę/metody badania nieniszczącego
- wymagana czułość badania NDT
- punkt czasowy badania NDT w procesie wytwarzania, eksploatacji czy remontu
- kolejność zastosowanych metod badawczych (metody powierzchniowe przed objętościowymi), uwzględnienie wpływu obróbki cieplnej (badania radiograficzne przed a ultradźwiękowe po obróbce cieplnej)
- czas przeprowadzania badań NDT (np. badania radiograficzne przeprowadzone na 2 zmianie ze względu na pracę ekip montażowych.)
- sposób rejestracji wyników badania
- wymagania dotyczące nadzoru nad badaniami
- ewentualne podwykonawstwo badań NDT (tylko w wyjątkowych przypadkach, a podwykonawca powinien spełniać określone wymagania!)

Plan badania powinien być opracowany przez kompetentne osoby, posiadające odpowiednie kwalifikacje z zakresu badań nieniszczących oraz wiedzę z zakresu technologii wytwarzania i/lub diagnostyki technicznej – czyli najlepiej specjalistów stopnia 3-go z dużym doświadczeniem.

Z kolei Procedura badania NDT jest to opis operacji, podstawowych parametrów, wymagań i zasad, jakie powinny być przestrzegane przy realizacji badań nieniszczących. Jest to, więc ogólny przewodnik umożliwiający własne prowadzenie badania daną metodą czy techniką, a czasem kilkoma metodami czy technikami NDT. Jest oczywiste, że tam gdzie istnieją normy badań - normy te powinny być uwzględniane przy opracowywaniu procedur lub wręcz, jako procedury przywoływane - oczywiście o ile zawierają dostateczne i pełne informacje i wytyczne umożliwiające przeprowadzenie badań.

Ogólne normy badań nie przywołują jednak kryteriów akceptacji - te ostatnie zawierają natomiast normy wyrobu - tak, więc może zachodzić konieczność opracowywania Procedur Badania Obiektu/Wyrobu (PBO/W) lub walidowania procedur PBO/W przekazanych przez zlecniodawcę.

Również rozwój wyposażenia do badań zmusza do zmian w metodologii/technik badania - co wywołuje konieczność nowelizacji procedur badań nieniszczących, wyprzedzającej opracowania normatywne.

Procedura badania powinna zawierać¹ co najmniej:

Strona tytułowa PROCEDURY

- tytuł, jednoznaczny numer odniesienia, wydanie i datę wydania;
- jednoznaczna nazwę jednostki, która opracowała procedurę;
- podpisy autora i zatwierdzającego procedurę tak, aby mogli być oni ustalen;

Nagłówek PROCEDURY

- tytuł, jednoznaczny numer odniesienia, wydanie i datę wydania;
- na każdej stronie numer strony, całkowita liczbę stron

Część 1: Postanowienia ogólne

- przedmiot, cel i zakres procedury podający dokładnym obszar zastosowań (np. zakres średnic i grubości dla procedur obiektu/wyrobu);

¹ Wykorzystano tu wytyczne dla egzaminatorów NDT – UDT-CERT, Nr: VADEgz oraz sugestie publikacji EA - 04/15 - Accreditation for non-destructive testing

- ogólna procedura badania (OBP) odniesienia do wymagań europejskiej, krajowej lub międzynarodowej normy/specyfikacji odniesienia, na podstawie której opracowano procedurę i jej wydanie;
- procedura badania obiektu/wyrobu (PBO/W) odniesienia do umowy i/lub do wymagań europejskiej, krajowej lub międzynarodowej normy/specyfikacji obiektu/wyrobu, na podstawie której opracowano procedurę i jej wydanie;
- terminy i definicje używane w procedurze lub odniesieniu do dokumentu definiującego;
- normy, specyfikacje, inne przepisy i dokumenty powołane w treści procedury

Część 2: Personel badań nieniszczących

- wymagane kwalifikacje personelu: szkolenie, certyfikaty, szkolenia specjalne, upoważnienie pracodawcy niezbędne do wykonania badań/ocen wyników;

Część 3: Przyrządy i materiały wymagane do wykonania badania

- używane wyposażenie podstawowe i dodatkowe, włączając materiały ulegające zużyciu w trakcie badań;
- wymagania dotyczące statusu sprawdzania/wzorcowania okresowego i przed badaniem oraz konserwacji lub odniesienie do procedury sterującej tymi czynnościami;
- wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy w procesie badania oraz ochrony środowiska;

Część 4: Przygotowanie badania

- stan powierzchni wymagany przed rozpoczęciem badań, wymagania dotyczące zakresu kontroli wizualnej poprzedzającej badanie główne;
- warunki otoczenia i dostępności obiektu, o ile są wymagania w tym względzie;
- opis badanego obiektu/wyrobu, zakres badania (ilość, obszary badania, obszary oceny),
- wymagania dotyczące identyfikacji obiektów badania (poprzez przywołanie procedury, o ile występuje);
- wymagania dotyczące wyboru lub identyfikacji badanych próbek zależnie od ich statusu (poprzez przywołanie ogólnej procedury, o ile występuje);
- specyfikacja spodziewanych nieciągłości i obszarów ich wystąpienia;

Część 5: Wykonanie badania

- zastosowane metody i techniki badawcze;
- ustalenie czułości (klasy) badania;
- ustawienia/nastawy aparatury;
- wykonanie badania (łącznie z odniesieniem do instrukcji badania nieniszczącego);
- charakteryzowanie nieciągłości (klasyfikacja);

Część 6: Ocena wyników badania

- kryteria zapisu i prezentowania wyników;
- kryteria akceptacji, o ile są określone;

Część 7: Sposób postępowania po zakończeniu badania

- postępowanie z wyrobami/obiektami niezgodnymi (znakowanie, oddzielanie);
- przywracanie stanu obiektu/wyrobu sprzed badania (jeżeli jest wymagane);

Część 8: Opracowanie protokołu badań

- wymagana zawartość, uzgodniona z normą/specyfikacją i/lub wymaganiem zleciodawcy;
- parametry badania i sposób prezentacji wyników podlegających zapisowi;
- wybór formularza protokołu

Wspomniana powyżej publikacja EA-04/15 zaleca, aby opracowanie i walidacja procedur badania NDT była powierzona osobom o odpowiednich kwalifikacjach, upoważnionym przez jednostkę. Osoba posiadająca certyfikat 3. stopnia w metodzie/ach/sektorach badania będących przedmiotem procedury, wydany przez uznany system certyfikacji - spełnia takie wymaganie.

Norma EN 473:2000 jednoznacznie stwierdza, że do opracowania i walidacji procedury badań nieniszczących uprawnione są osoby z certyfikatem 3. stopnia.

Trzeci z kolei dokument NDT, najistotniejszy z punktu realizacji zadania badawczego - Instrukcja badania - to przewodnik prowadzenia badania, stanowiący wdrożenie

ogólnych zasad i wytycznych zawartych w procedurze badania (OPB lub PBO/W lub wręcz bezpośrednio w normie wyrobu) i opisujący krok po kroku przebieg badania konkretnego obiektu/wyrobu.

Stosowane w danym laboratorium instrukcje badania powinny mieć jednolity układ, nie powinny jednak zawierać wielopoziomowych odniesień do norm wyrobu, przepisów dozoru technicznego WTDT czy innego rodzaju specyfikacji - bo taki układ instrukcji nie spełnia swego podstawowego zadania, jakim jest łatwy w stosowaniu opis czynności prowadzących do właściwego przeprowadzania badania przez personel o kwalifikacjach 1. stopnia. Należy przy tym mieć na uwadze, że wykonanie badania nieniszczącego bardzo często odbywa się poza terenem laboratorium, zatem zapisy w instrukcji powinny być proste, jasne oraz jednoznaczne i nie ma tu czasu i miejsca na odwoływanie się do dokumentów odniesienia bądź dodatkowe obliczenia.

Tak więc zawartość procedury badania i instrukcji badania jest podobna, różnią się one jednak szczegółowością opisu działań.

Kierowanie pracownikami odbywa się z reguły poprzez opracowywanie na piśmie Instrukcji Badania Obiektu/Wyrobu. (Procedur Badania Obiektu/Wyrobu)

Nadzór nad prawidłowym przebiegiem badań odbywa się poprzez kontrolę wykonania zaleceń instrukcji/procedury i wymaganie odpowiednich zapisów przewidzianych tymi dokumentami

3. Studia przypadków – praca specjalisty 3-go stopnia

3.1 Specyfika radiograficznego badania odlewów grubościennych

Poniżej przedstawiono istotne fragmenty procedury badania wyrobu - odlewów stalowych i ich połączeń spawanych, które mogą być przydatne w sformułowaniu założeń do instrukcji badania konkretnego obiektu odlewane.

Procedura radiograficznego badania odlewów wg EN 12681

1 Cel i zakres stosowania procedury

1.1 Cel i zakres

Celem procedury jest opis sposobu postępowania przy badaniach radiograficznych odlewanych wyrobów stalowych w czasie procesu ich wytwarzania w odlewni a także badania radiograficznego połączeń spawanych, wytwarzanych w procesach montażu części odlewanych/odkuwanych.

Technika badania spełnia wymagania normy *PN-EN 12681* oraz związanych z nią norm *PN-EN 444/PN-EN1435*.

Kryteria akceptacji, przy radiograficznym badaniu odlewów, należy formułować w oparciu o wymagania katalogów radiogramów referencyjnych *ASTM: E 446; E 186; E 280*.

Kryteria akceptacji, przy radiograficznym badaniu połączeń spawanych odlewów/odkuwek, należy formułować w oparciu *PN-EN ISO 5817/PN-EN 12517-1*.

Szczegółowa instrukcja badania elementu/ów odlewanych może być przedstawiona w postaci oddzielnego dokumentu (opartego na niniejszej procedurze), jeśli zachodzi taka potrzeba, natomiast zawsze przygotowana jest skrócona instrukcja badania danego wyrobu odlewane, jako część sprawozdania z badań (por. zał. No. 1).

1.2 Dokument odniesienia

Dokumentem odniesienia dla niniejszej procedury jest norma europejska *PN-EN 12681:2005*.

2 Odpowiedzialność -kwalifikacje personelu

Personel odpowiedzialny za wykonanie ekspozycji radiograficznych powinien posiadać udokumentowane kwalifikacje stopnia 1 lub 2, co najmniej w zakresie szkolenia wg *PN-EN 473*, zaś dokonujący nadzoru badań i oceny wyników kwalifikacje 2 lub 3 stopnia, potwierdzone certyfikatem, w metodzie radiograficznej co najmniej w sektorach odlewów i złączy spawanych.

Pracownicy wykonujący badania muszą mieć „Upoważnienie pracodawcy do wykonywania badań zgodne z Systemem Jakości NDTEST wg *PN-EN ISO/IEC 17025* oraz normą *PN-EN473*.

Przygotowania i autoryzacji procedury badania wyrobu dokonują specjaliści, legitymujący się certyfikatem 3 stopnia wg *PN-EN 473* w metodzie radiograficznej, co najmniej w sektorach odlewów i złączy spawanych.

Dodatkowo, cały personel upoważniony do radiograficznego badania odlewów i ich spoin powinien zostać przeszkolony wewnątrz w NDTEST w celu zapoznania się ze szczegółami techniki prowadzenia badań zgodnie z niniejszą procedurą/instrukcjami wynikającymi z niej.

W przypadku pomiarów dokonywanych na urządzeniach ciśnieniowych objętych dyrektywą 97/23/WE, kategoria III i IV, personel powinien być uprawniony przez organizację trzeciej strony TPO (np. UDT-CERT) kraju członkowskiego.

3 Wyposażenie do badań

3.1 Źródła i aparaty radiograficzne

W szczegółowych zastosowaniach wykorzystane będą źródła promieniowania gamma ^{192}Ir , ^{60}Co , przystosowane do konkretnych wymiarów obiektów i zastosowanej klasy badania.

Przy wyborze źródła należy skonfrontować zapisy podane w tabeli 1 normy EN1435 (EN 444). Wszelkie odstępstwa, uwarunkowane jednak uzyskiwaniem właściwej jakości obrazu radiograficznego, należy uzgadniać z zamawiającym badanie.

Do badań radiograficznych stosowane będą następujące typy aparatów gammagraficznych

- Sentinel 660 maks. aktywność: 150 Ci - ^{192}Ir , wymiar ogniska 3x3 mm;
- Gammat TK-100 maks. aktywność: 100 Ci - ^{60}Co , wymiar ogniska 4x4 mm lub 150 Ci - ^{192}Ir ;

4 Przygotowanie badania

4.1 Opis i identyfikacja obiektu badanego. Zakres i obszary badania

Wszystkie dane związane z opisem obiektu badanego i jego identyfikacją z kontraktem oraz dokumentacją powinny być dostarczone przez zamawiającego badanie.

Zakres badania obiektu odlewane go powinien określić wytwórca w oparciu o zapisy ustalone w fazie projektowania. Większość elementów odlewanych poddana jest badaniu wg indywidualnego planu badania NDT, niektóre elementy wymagają 100% kontroli i to często różnymi metodami.

Dla części obiektu odlewane go podlegające go badaniu należy wskazać obszary (próbki) badania i uzgodnić ich wielkość dla celów kontroli radiograficznej. W przypadku badania spoin łączących części odlewane – obszarem badania są strefy wpływu ciepła w materiale rodzimym, o szerokości 10 mm z obydwu stron spoiny, oraz sama spoina.

4.2 Status badania

Każda część obiektu badanego powinna mieć określony swój status badania związany z jej procesem wytwarzania. W ramach tej procedury wyróżniono dwa rodzaje statusu badania:

- badanie międzyoperacyjne;
- badanie odbiorcze (końcowe).

4.3 Identyfikacja próbek badanych odlewu. System identyfikacji radiogramów

Każdy element odlewu podlegający badaniu powinien mieć własne oznaczenie i być identyfikowany z numerem kontraktu i badanego obiektu. W zamówieniu badania powinny być wskazane próbki podlegające badaniu wraz z podaniem zakresu oraz rodzaju i stopnia nasilenia wad (ewentualnie klasy jakości odlewu). W przypadku badania złączy spawanych odlewu – należy podać wymagany poziom jakości złączy spawanych wg *PN-EN ISO 5817*.

Każdy pojedynczy radiogram obiektu odlewane go powinien zawierać opis zobrazowany poprzez ołowiane markery. Powinny one podawać następujące informacje:

- nazwa projektu;
- numer (symbol) odlewu i/lub numer kontraktu;
- numer modelu i próbki odlewniczej;
- symbol identyfikacyjny elementu (próbki) odlewu podlegającego badaniu;
- grubość ścianki (z literką "W" gdy próbka badana zawiera spoinę);
- datę wykonania ekspozycji;
- lokalizację radiogramu na obiekcie (np. taśma radiograficzna lub markery ołowiane, których pozycja jest identyfikowalna na obiekcie badanym).

4.4 Warunki otoczenia

Obiekty odlewane powinny być badane radiograficznie w specjalnie przystosowanym bunkrze, zapewniającym ochronę przed promieniowaniem jonizującym. Wykonanie badania nie wymaga specjalnego przygotowania, z tym iż należy zapewnić:

- wystarczającą dostępność fragmentów podlegających badaniu (suwnica);
- organizację nadzoru obszarów ograniczonego przebywania ze względu na zagrożenie zarówno osób zatrudnionych przy badaniu jak też postronnych.

4.5 Zakres kontroli wizualnej przed badaniem głównym. Przygotownie powierzchni

Przed badaniem radiograficznym obiekt badany powinien mieć status pozytywnej kontroli wizualnej. Nieakceptowane nierówności powierzchni odlewu (złącza spawanego) zarówno od strony wewnętrznej (jeśli tylko jest dostępna) jak też zewnętrznej powinny być usunięte w takim stopniu, że otrzymany obraz radiograficzny badanego obszaru nie jest przesłonięty przez te nieregularności powierzchni lub interpretacja nieciągłości wewnętrznych jest z tego powodu utrudniona.

W przypadku stwierdzenia nieakceptowanej nierówności powierzchni, bezpośrednio przed badaniem radiograficznym, należy ją udokumentować aparatem cyfrowym i zgłosić do naprawy przed wykonaniem ekspozycji.

Próbka badana odlewu (spoina) powinna być oznaczona przez operatora niezmywalnym markerem – zarówno punkt zerowy jak też kierunki odmierzania odległości.

Fakt zwolnienia do badań radiograficznych, po pozytywnym odbiorze wizualnym, powinien być odnotowany w sprawozdaniu z badań

5 Wykonanie badania

5.1 Klasa techniki badania

Norma *PN-EN 12681* zaleca w przypadku badania radiograficznego odlewów stalowych klasę techniki badania A wg *PN-EN 444*, chyba że w zamówieniu badania określono inaczej.

Klasa badania radiograficznego spoin łączących elementy odlewane wynika z narzuconego w zamówieniu poziomu jakości złącza wg *PN-EN ISO 5817*.

5.2 Techniki wykonywania ekspozycji

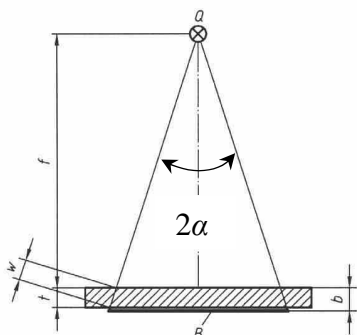
Ze względu na znaczne grubości ścianek obiektów odlewanych zawsze tam gdzie to możliwe preferowana jest technika prześwietlania przez jedną ściankę. W szczególnych przypadkach, gdy jest to niemożliwe, należy stosować technikę prześwietlania przez dwie ścianki.

5.2.1 Ekspozycja przez jedną ściankę

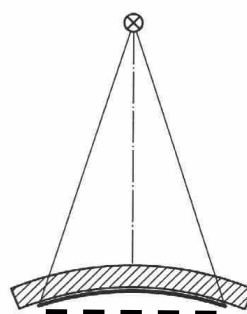
W technice jednościankowej, promieniowanie przebiega tylko jednokrotnie przez ściankę obszaru podlegającego badaniu. Kąt 2α wiązki naświetlającej radiogram nie powinien przekraczać 60° (z wyłączeniem przypadku ekspozycji centrycznej - *Rys. 4* wg *PN-EN 12681*), pod warunkiem dotrzymania wymaganej jakości obrazu radiograficznego.

Układ badania przez jedną ściankę dla płaskiej próbki badanej odlewu przedstawiono na *Rys. 1* wg *PN-EN 12681*.

W przypadku zakrzywionych obszarów badanych odlewu należy stosować układy badania przedstawione na *Rys. 2, 3 lub 4* wg *PN-EN 12681*.



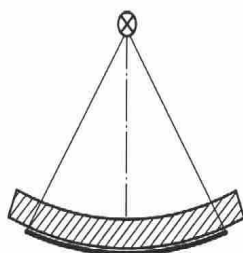
Rys. 1 Układ badania przez jedną ściankę dla płaskiej próbki odlewu



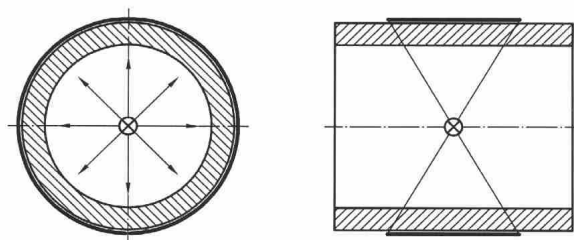
Rys. 2 Układ badania przez jedną ściankę dla zakrzywionej próbki odlewu (źródło od strony wypukłej, błona od strony wklęsłej próbki)

Odległość f pomiędzy źródłem i powierzchnią obiektu odlewu od strony źródła powinna odpowiadać wymaganiom klasy A wg PN-EN 444 (dla spoin – klasie techniki badania wg PN-EN 1435 – wynikającej z narzuconego poziomu jakości złącza wg PN-EN ISO 5817). Możliwe jest zmniejszenie odległości f pod warunkiem zachowania wymaganej jakości obrazu radiograficznego.

Dla wielu przypadków badanych próbek odlewu o dużej grubości i krzywiźnie (stosunek grubości do średnicy zewnętrznej $t/D_o > 0,15$) bardziej praktyczne jest stosowanie sztywnych kaset (por. układ badania na Rys. 2 – sztywna kasetka zaznaczona przerywaną linią), z powodu prostszej geometrii nieciągłości rzutowanych na radiogram. Dla obliczeń odległości f należy uwzględnić zwiększoną wartość parametru b



Rys. 3 Układ badania przez jedną ściankę dla płaskiej próbki odlewu (źródło w pozycji ekscentrycznej od strony wklęsłej, błona od strony wypukłej próbki)



Rys. 4 Układ badania przez jedną ściankę dla odlewu osiowosymetrycznego z centralnym usytuowaniem źródła a błony od strony zewnętrznej (wymagana tylko jedna ekspozycja)

Dla odlewów o grubości ścianki większej niż 30 mm należy dążyć zawsze do stosowania technik prześwietlania przez jedną ściankę, które prawie zawsze dają lepszą jakość obrazu radiograficznego.

Liczba ekspozycji dla technik ekspozycyjnych przedstawionych na Rys. 2 lub Rys. 3 (w szczególności dla grubościennych i mocno zakrzywionych elementów odlewu podlegających badaniu) powinna być dobierana w indywidualnych planach ekspozycji (planach badania), przygotowywanych w instrukcjach badania obiektu i powinna być odnotowana w sprawozdaniu z badań.

3.2 Przygotowanie planu badania dla odlewów i złączy grubościennych - fragment założeń do instrukcji badania

Dla zilustrowania przygotowania planu badania zajmiemy się określeniem parametrów ekspozycji próbki odlewu (por. Rys. 5 lub złącza spawanego por. Rys. 6) w postaci króćca wymiarach jak na Rys. 7. Liczba ekspozycji N_{exp} wynika z analizy - Rys. 8.

$D_o = 540$ mm; $D_i = 300$ mm; $t = 120$ mm; $L = 100$ mm

Klasa badania A: źródło Co-60 ($d = 4$ mm); technika eksp. wg Rys 2 ($b = t + \Delta b = 120 + 30 = 150$ mm)

$$f_{\min} \geq 7,5 d (b)^{2/3} = 848 \text{ mm};$$

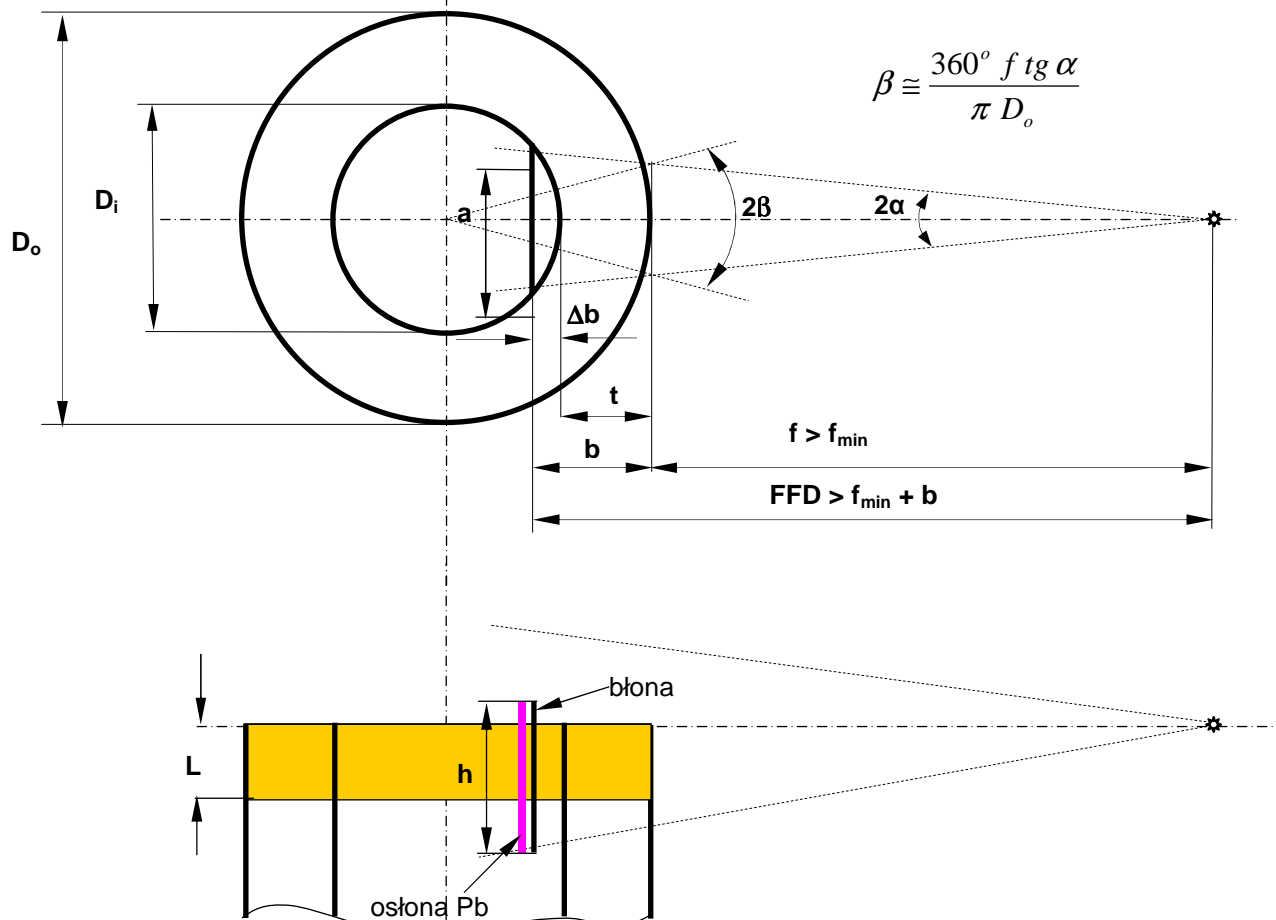
$$\text{FFD} \geq 848 + 150 = 1000 \text{ mm}$$



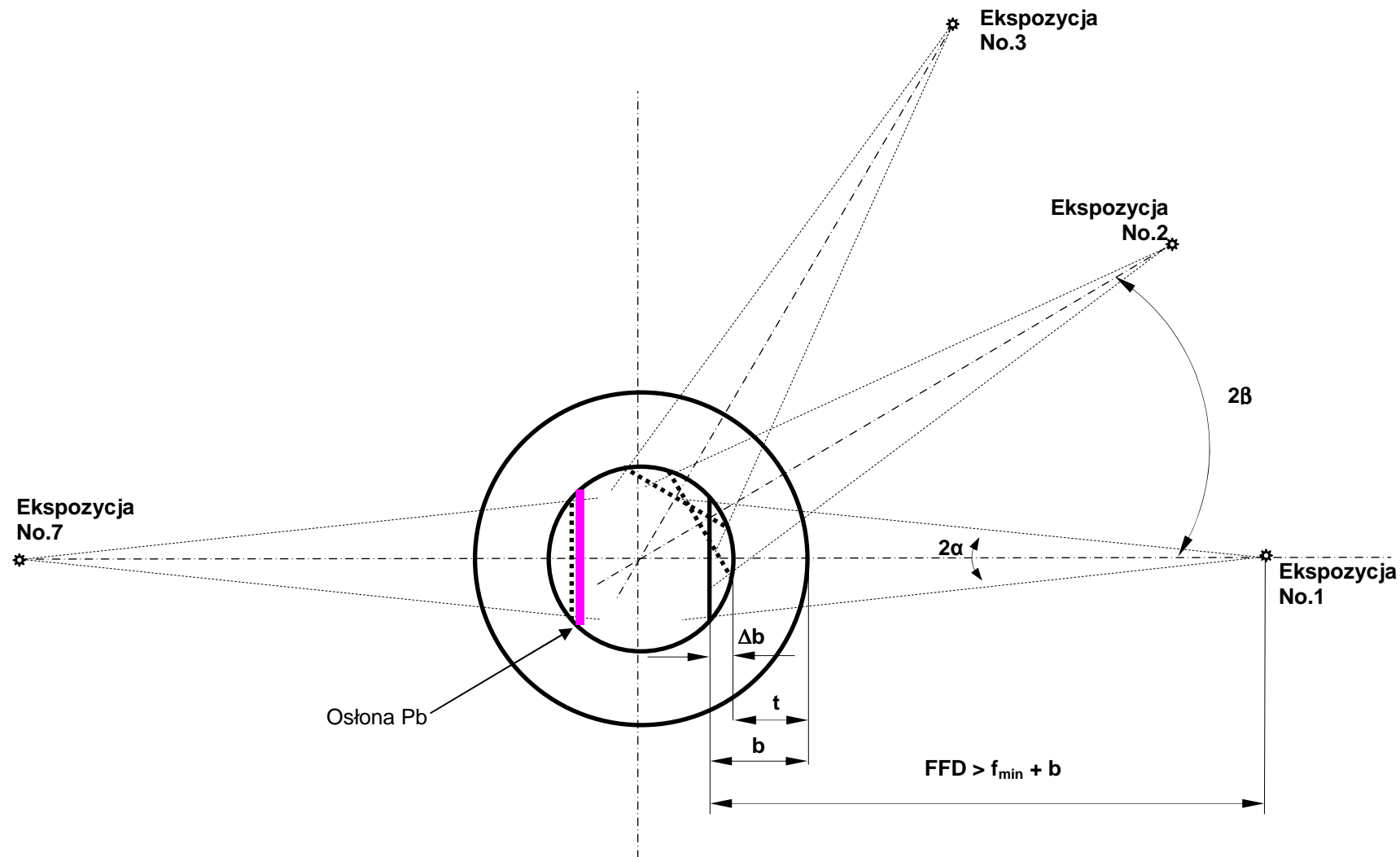
Rys. 5 Króćce odlewu stalowego przewidziane do badania radiograficznego w obszarze $L = 100 \text{ mm}$ przed wykonaniem połączenia spawanego



Rys. 6 Połączenie spawane elementów odlewanych przewidziane do badania radiograficznego



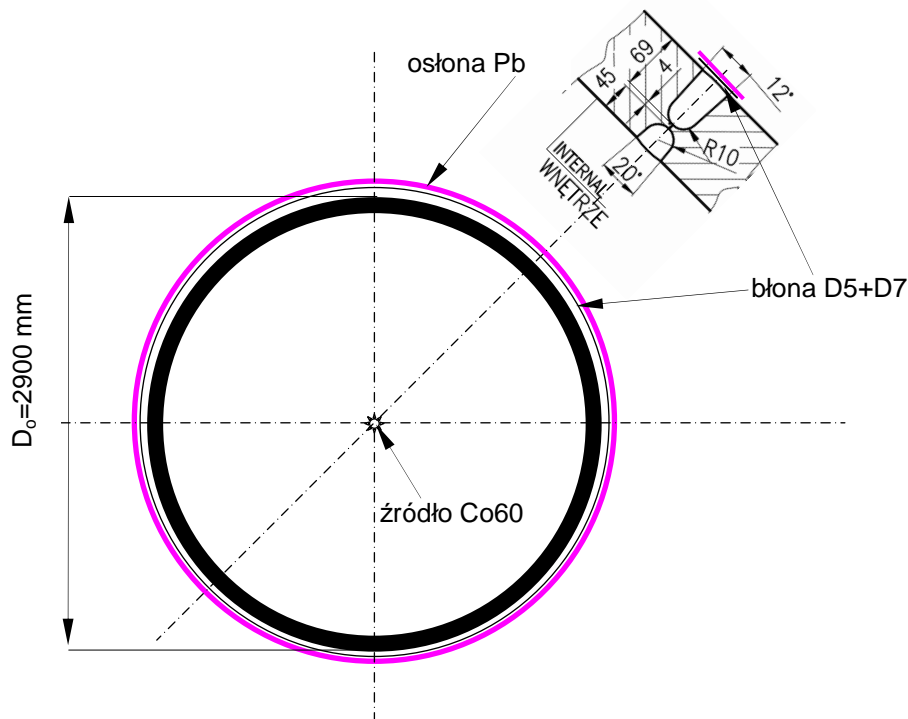
Rys. 7 Dobór geometrii pojedynczej ekspozycji dla króćca odlewu ($D_o = 540 \text{ mm}$; $t = 120 \text{ mm}$; $\Delta b = 30 \text{ mm}$; $L = 100 \text{ mm}$): $\text{FFD} = 1000 \text{ mm}$; błona $\text{axh} = 200 \times 200 \text{ mm}$, kąt $2\alpha = 10^\circ$; kąt $2\beta = 30^\circ$)



Rys. 8 Dobór liczby ekspozycji dla króćca odlewu ($D_o = 540$ mm; $t = 120$ mm; $\Delta b = 30$ mm; $L = 100$ mm): FFD = 1000 mm; błona axh = 200x200 mm, kąt $2\alpha = 10^\circ$; , kąt $2\beta = 30^\circ$ - liczba ekspozycji $N_{exp} = 12$)

3.3 Specyfika badania złącza zbiornika grubościennego.

Na Rys.9 przedstawiono schemat ekspozycji radiograficznej złącza spawanych w zbiorniku grubościennym o średnicy około 3 m i grubości ścianki ok. 120 mm, o kształcie ukosowania w postaci podwójnego U.



Rys. 9 Dobór parametrów ekspozycji centrycznej dla złącza spawanego zbiornika ($D_o = 2990$ mm; $t = 120$ mm; $L = 100$ mm): FFD = 1450 mm; błona axh = 19x480x100 mm,

Przy tak dużych grubościach ścianki, dla uzyskania radiogramów o odpowiedniej jakości i w rozsądnych czasach ekspozycji, należy dobrać źródło o dużej energii i aktywności/napięciu. Laboratorium NDTTEST dysponuje źródłem gamma Co-60 o aktywności ok. 20 Ci i o wymiarach źródła 4 x 4 mm. Dobór techniki radiograficznej do wykonania prześwietlenia, podporządkowany był przede wszystkim warunkom obiektowym i kontraktowym. Ekspozycje radiograficzne mogły się odbywać tylko w nocy, w czasie ograniczonym do 8 godzin.

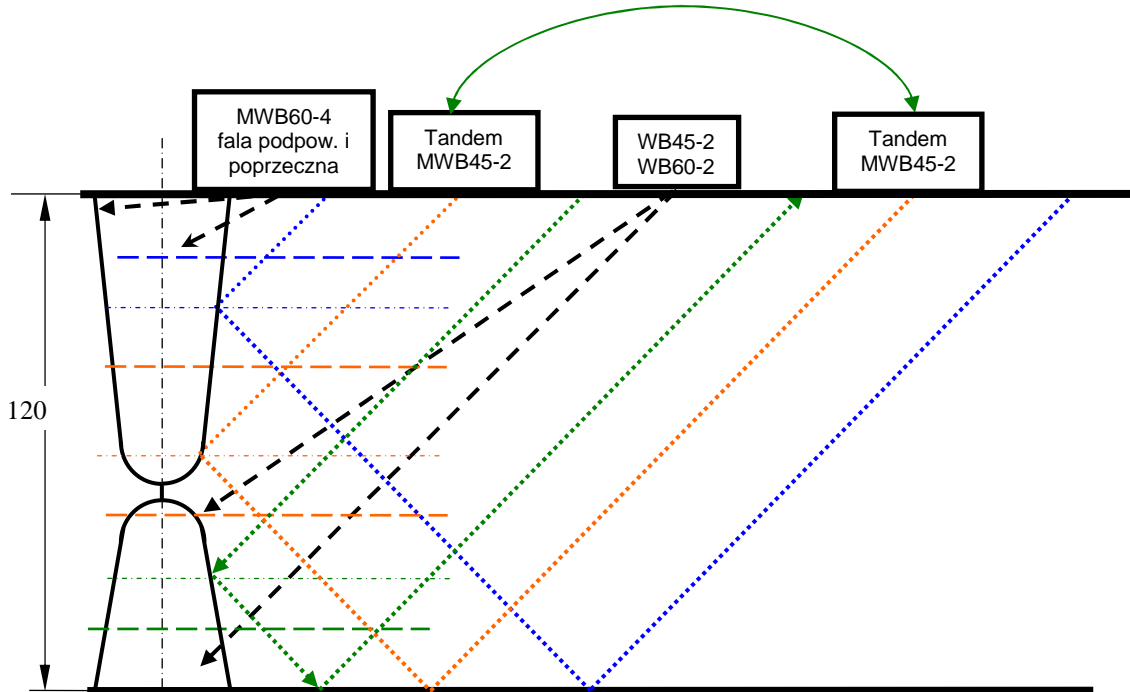
Zatem warunki ekspozycji były tak dobrane, że wynik uzyskiwano w czasie około 8 godzin, przy czym dla pewności uzyskania odpowiedniej jakości obrazu radiograficznego zastosowano technikę ekspozycji dwóch błon o różnej czułości, a czasy naświetlania były tak dobrane, aby można było oceniać radiogramy pojedynczo, jak też obydwie jednocześnie. Takie podejście pozwalało uzyskiwać jednoznaczne wyniki, bez potrzeby powtarzania ekspozycji

Dotrzymanie wszystkich wymagań przy badaniu złącza, tego zaawansowanego technicznie obiektu, jeśli chodzi o technologię wytwarzania, wymagało dopracowania techniki badania NDT w drobnych szczegółach, aby uzyskiwane wyniki były wiarygodne.

Techniczne warunki badania dla tego obiektu przewidywały 600% kontrolę różnymi metodami badań nieniszczących (1xRT, 3xUT, 2xMT).

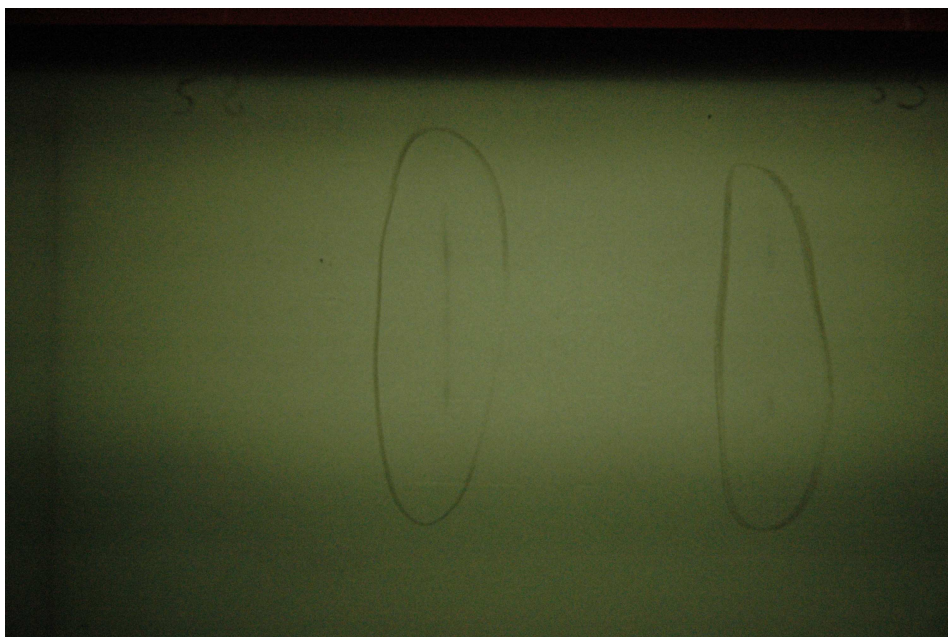
W szczególności potrójna kontrola UT zastosowana była w fazie po spawaniu, następnie po obróbce cieplnej i po próbie ciśnieniowej.

Dla wiarygodnego wykrycia spodziewanych groźnych wad spawalniczych (pęknięcia, przyklejenia do ścianek bocznych i w strefie gorącej, braki przetopu) należało dobrać odpowiednie techniki przeszukiwania ultradźwiękowego. Na Rys.10 przedstawiono plan skanowania ultradźwiękowego dla wad usytuowanych kierunku podłużnym spoiny o tak nietypowym kształcie przygotowania złącza.



Rys. 10 Dobór technik ultradźwiękowego przeszukiwania złącza typu podwójne U na wady kierunku podłużnym

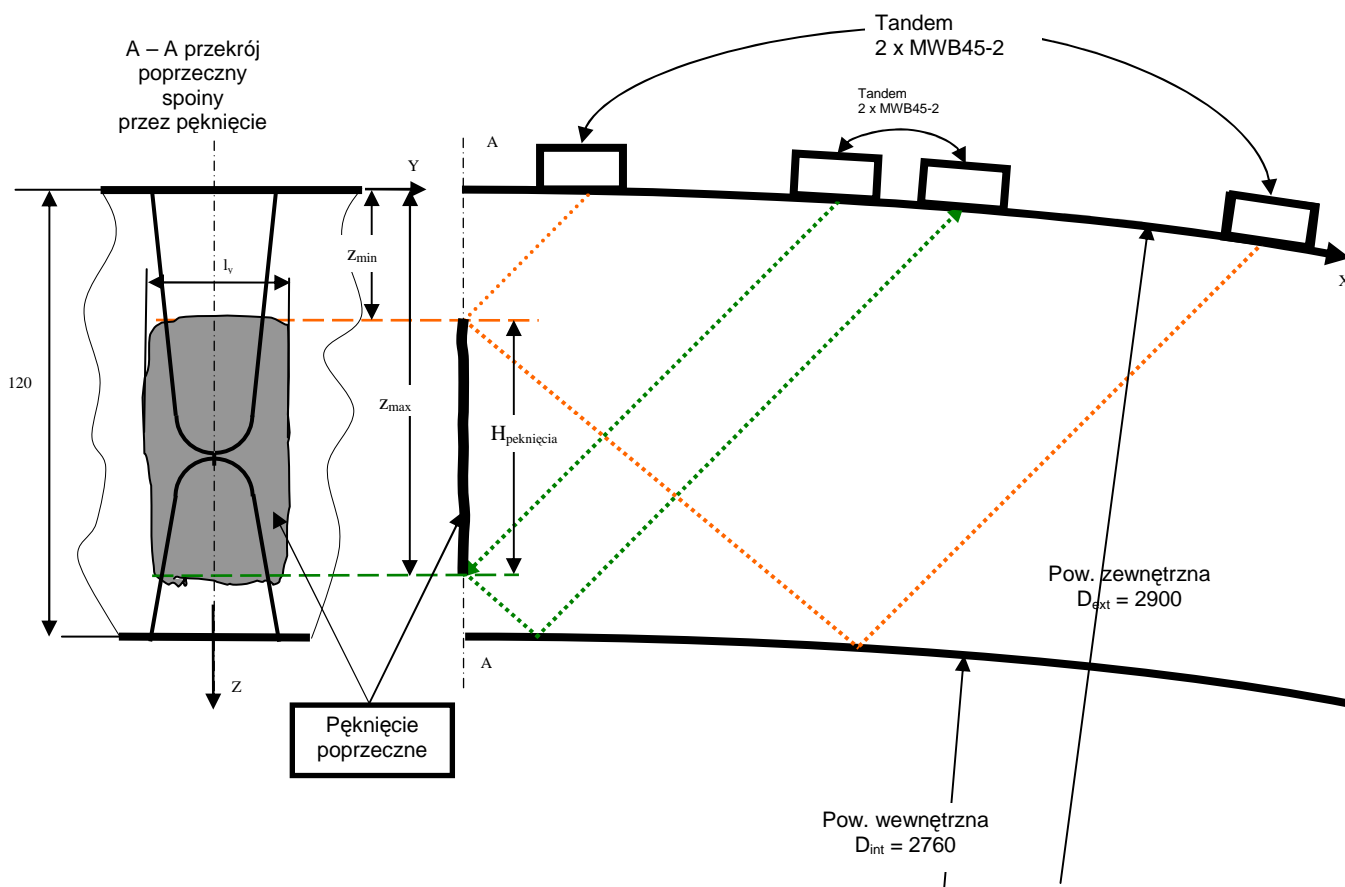
W jednej ze spoin po badaniu radiograficznym stwierdzono znaczną ilość pęknięć poprzecznych, niezwykle groźnych dla tej konstrukcji, wynikających prawdopodobnie z niedotrzymania warunków technologii spawania. Na Rys.11 przedstawiono obraz radiograficzny pęknięć poprzecznych usytuowanych prostopadle do osi spoiny.



Rys. 11 Pęknięcia poprzeczne w obrazie badanego złącza

Naprawa tak grubych złączy bez dokładnej lokalizacji głębokości i wymiarów wykrytych pęknięć stanowi poważny i kosztowny problem, ponieważ trzeba w takiej sytuacji „po omacku” ciąć całą spoinę. Z pomocą przychodzi tu nam technika ultradźwiękowa, którą można wymiarować głębokość i rozmiary wskazań. Niestety, ze względu na bardzo niekorzystne usytuowanie omawianych pęknięć poprzecznych, prostopadłe do powierzchni badania, klasyczne techniki echa, zawodzą w tym przypadku zupełnie.

W ramach przygotowania technologii naprawy złącza należało posłużyć się ultradźwiękową techniką tandem, dostosowaną do pewnego zwymiarowania wad ułożonych poprzecznie w spoinie. Na Rys.12 przedstawiono plan skanowania ultradźwiękowego dla wad usytuowanych kierunku poprzecznym spoiny.



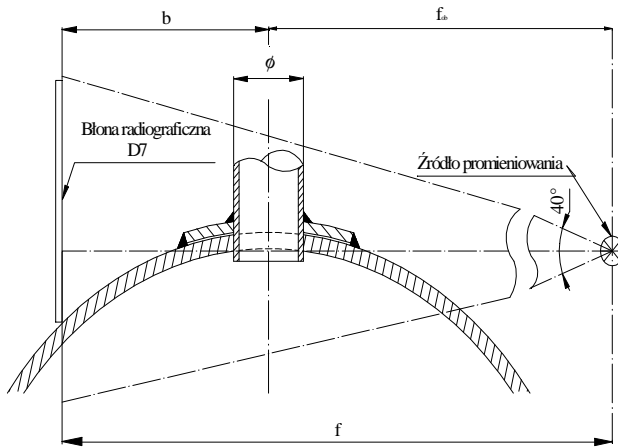
Rys. 12 Lokalizacja głębokości i wymiarowanie pęknięcia poprzecznego przy pomocy poprzecznego skanowania ultradźwiękowego techniką tandem

3.4 Wymiarowanie połączeń króćców i odgałęzień w rurociągach technikami radiograficznymi i ultradźwiękowymi

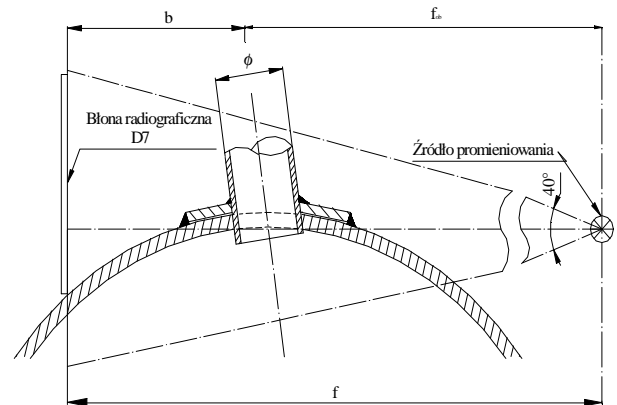
Badania radiograficzne.

Do udokumentowania geometrii węzła typu „rura w rurę” zastosowano niezbyt rozpowszechnioną w Polsce, lecz dobrze znaną i stosowaną w świecie (np. przy badaniach korozji pod izolacją) techniką radiografii tangensowej. Dobór parametrów ekspozycji polega na optymalnym dobraniu geometrii układu film – obiekt badany - źródło promieniowania tak, aby zminimalizować nieostrość geometryczną na filmie i czas ekspozycji oraz uzyskać pożądaną rozróżnialność elementów węzła. Ze względu na dosyć złożoną geometrię badanego obiektu parametry i czas ekspozycji dobiera się doświadczalnie przez wykonanie próbných prześwietleń

Wykorzystując pomierzone grubości elementów węzła dobiera się parametry ekspozycji radiograficznych węzła, schematy ideowe których pokazano na Rys.13 i 14.

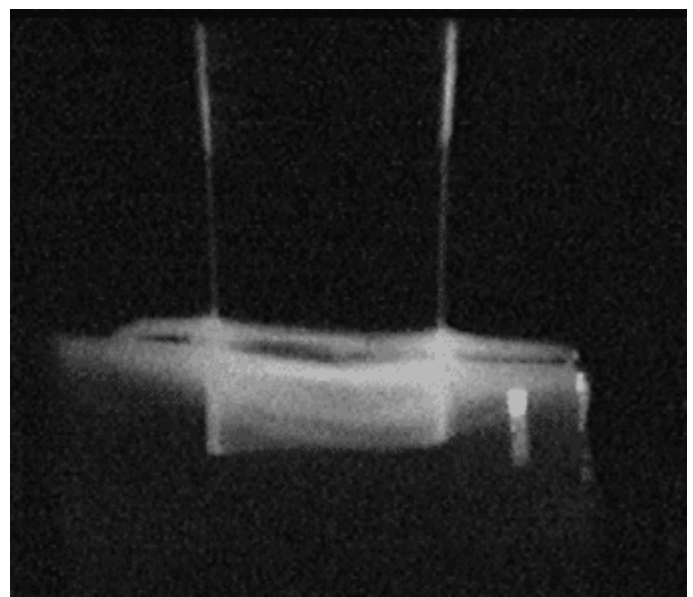
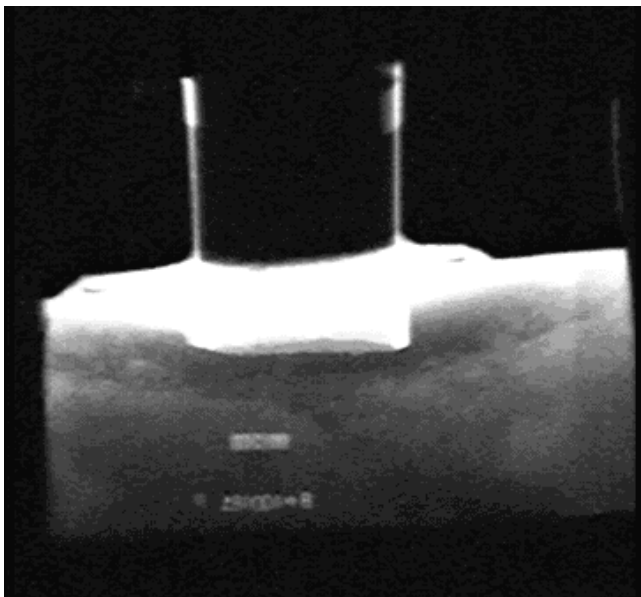


Rys. 13. Prześwietlenie z osią wiązki prostopadłą do osi króćca



Rys.14 Prześwietlenie z osią wiązki styczną w punkcie przecięcia osi króćca z zarysem średnicy wewnętrznej rury

Badania każdego węzła zostało udokumentowane radiogramami wykonanymi z dwóch ekspozycji: pierwszej – gdzie oś symetrii wiązki jest prostopadła do osi króćca i filmu (Rys.13) oraz drugiej – gdzie oś wiązki jest nachylona pod pewnym kątem do osi króćca wchodzącego skośnie do gazociągu i jest jednocześnie styczna do rury przewodowej w punkcie przecięcia osi króćca z zarysem średnicy wewnętrznej gazociągu (Rys.14). W przypadkach króćców wchodzących prostopadle do rury drugi radiogram może dotyczyć tej samej pozycji lecz przy dłuższym czasie naświetlania, co ma na celu wyeksponowanie określonych fragmentów węzła (np. zarysu ścianki wewnętrznej rury). Obydwa radiogramy służą do oceny geometrii węzła, obliczenia interesującego maksymalnego wymiaru X - wystawania króćca ponad wewnętrzną średnicę rury (Rys.15). oraz wytypowania przekrojów węzła do pomiarów głębokości króćca przewidzianych w etapie stosowania technik ultradźwiękowych.

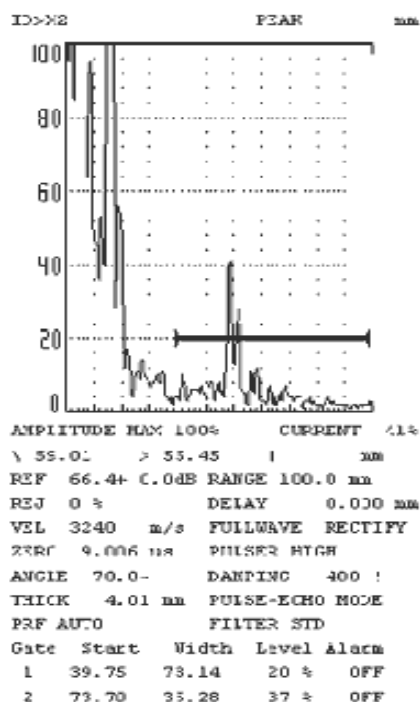
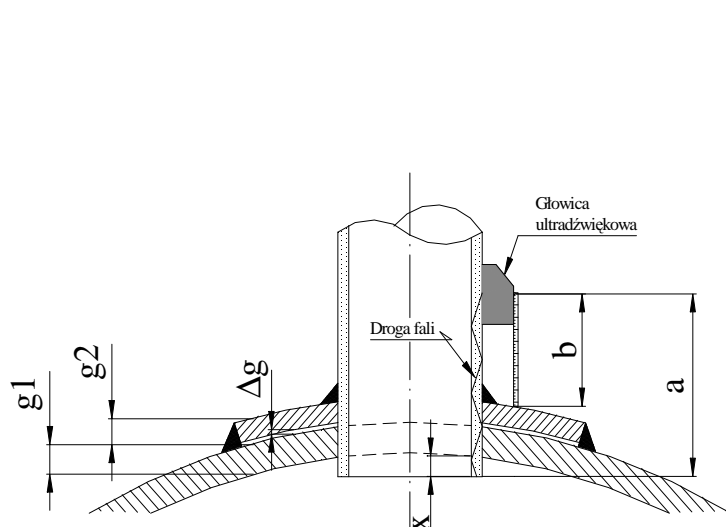


a) typowy radiogram
b) obraz po obróbce cyfrowej
Rys. 15. Obraz radiograficzny odgałęzienia z nakładką wystającą do środka rury;

Radiogramy posłużyły również do oceny niedopasowania pomiędzy rurą przewodową i nakładką i pozwolą ocenić wymiar - Δg (Rys. 15b), który należy uwzględnić przy pomiarach ultradźwiękowych wykonywanych w trzecim etapie.

Badania ultradźwiękowe głębokości króćca.

Po przeanalizowaniu geometrii węzła na radiogramach i dysponując wynikami wstępnych badań ultradźwiękowych można przystąpić do trzeciego etapu badania – ultradźwiękowych pomiarów głębokości króćca przy pomocy fal poprzecznych wprowadzanych pod kątem do rury króćca. Schemat ilustrujący sposób wykonania pomiaru pokazano na Rys.16 natomiast na Rys.17 obraz pomiaru ultradźwiękowego parametru **a**.



Rys.16. Schemat ultradźwiękowego pomiaru głębokości króćca przy pomocy głowicy fal poprzecznych

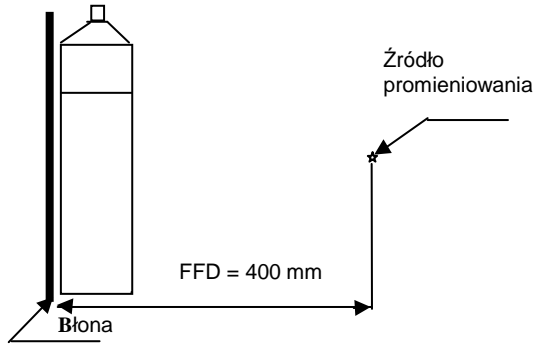
Rys.17. Obraz ekranu aparatu ultradźwiękowego przy pomiarze wielkości **a**

Do wykonania badań zastosowano cyfrowy aparat ultradźwiękowy Epoch III z głowicą fal poprzecznych MWB70-N4, o kącie załamania 70° i częstotliwości $f = 4\text{MHz}$. Umożliwia to odczytanie położenia echa od końca króćca przy właściwym zlokalizowaniu go na ekranie defektoskopu. Z monitora aparatu odczytywany jest wymiar **a**, który wyświetlany jest również w postaci cyfrowej na monitorze defektoskopu przy odpowiednim ustawieniu bramki. „Obraz” tego pomiaru zostaje zapamiętany w pamięci aparatu i dołączony jako dokumentacja do protokołu badań (Rys.17). Jednocześnie operator odczytuje pomierzoną w sposób mechaniczny odległość **b**. Dysponując pomierzonymi ultradźwiękowo grubościami rury g_1 i nakładki g_2 oraz wyznaczoną z radiogramu przerwą między nakładką i rurą przewodową (wynikającą z niedopasowania krzywizny nakładki do rury przewodowej) - Δg można obliczyć, w każdym wybranym przekroju króćca, interesująca wielkość niedopasowania króćca do rurociągu - **X**:

$$X = a - b - g_1 - g_2 - \Delta g,$$

3.5 Działania rozstrzygające - wymiarowanie radiograficzne obiektów

Na życzenie klienta dostarczono dowód obrazujący wypełnienie pojemników pianką w jego sporze z podwykonawcą (Rys.19). Zadanie polegało na właściwym doborze parametrów ekspozycji (Rys.18) i określeniu objętości wypełnienia dla poszczególnych partii pojemników na podstawie obrazu radiograficznego.



Rys.18 Schemat ekspozycji radiograficznej przy prześwietlaniu pojemników z pianką budowlaną.

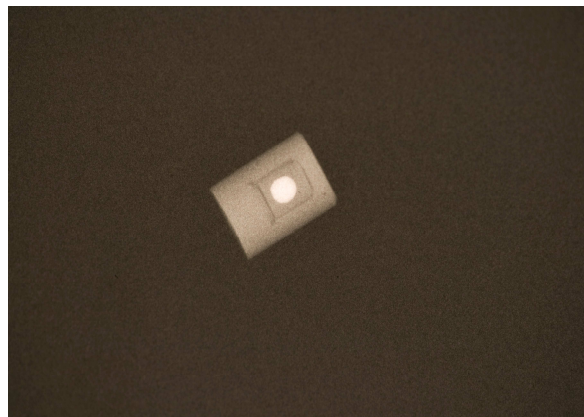


Rys.19 Obraz radiograficzny przedstawiający wypełnienie pojemników pianką

W innym przypadku zamawiający badanie chciał mieć pewność, że źródło zostało zagęszczone i przygotowane w sposób pożądany, tzn. kształt źródła zbliżony do kulistego i oraz rzeczywisty wymiar źródła zbliżony do założonego. Na Rys.20 przedstawiono zdjęcia cyfrowe radiogramów, które nie są w tej samej skali. Analiza rozmiarów została wykonana na oryginalnych radiogramach.



a) wymiar poprzeczny



b) wymiar podłużny

Rys.20 Obrazy radiograficzne zamkniętego źródła promieniotwórczego

4. Podsumowanie

W referacie zaprezentowano niektóre istotne elementy pracy specjalisty NDT 3-go stopnia w procesach przygotowania, rozwiązywania i sterowania nietypowymi zadaniami badawczymi. W tego typu działaniach wymagana jest odpowiednia wiedza inżynierska, jak też doświadczenie w praktycznym stosowaniu wielu metod NDT. Często zdarzają się sytuacje, że badanie jedną metodą/techniką nie daje jednoznacznej odpowiedzi albo uzyskana ilość informacji jest niewystarczająca, ze względu na znane ograniczenia każdej metody badań nieniszczących.

Zastosowanie, w sposób komplementarny, wielu technik specjalnych NDT np. radiografii i ultradźwięków pozwala w wielu przypadkach uwiarygodnić wynik i pozwolić na wydawanie opinii technicznych o badanym obiekcie.

Niezwykle istotną sprawą jest przygotowanie pisemnych procedur i instrukcji badania, które w przypadku rozwiązywania nietypowych problemów badawczych wymagają poszerzonej wiedzy, popartej często wykonywaniem wstępnych analiz i badań próbnych.