

Warszawa, 2018



Ministerstwo
Energii

Polski przemysł dla energetyki jądrowej

WYTYCZNE

WSPOMAGAJĄCE DZIAŁANIA PRZEDSIĘBIORSTW KRAJOWYCH W BUDOWIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH

BADANIA NIENISZCZĄCE (NDT) ZŁĄCZY SPAWANYCH URZĄDZEŃ
I KONSTRUKCJI DLA ELEKTROWNI JĄDROWYCH ORAZ WYMAGANIA
W ZAKRESIE PERSONELU DO ICH PRZEPROWADZENIA



Instytut Spawalnictwa

Autorzy opracowania:

dr inż. Jerzy Niagaj, prof. nzw. – Pełnomocnik ds. Energetyki Jądrowej

dr inż. Maciej Różański

mgr inż. Marcin Matuszewski

mgr Rafał Jurkiewicz

Zamawiający:

Ministerstwo Energii

ul. Krucza 36 / Wspólna 6

00-522 Warszawa

Zakres wytycznych:

Niniejsze wytyczne zawierają zestawienie wymagań zawartych w uznanych i stosowanych na świecie amerykańskich, francuskich, niemieckich i rosyjskich kodach jądrowych w zakresie badań nieniszczących (NDT) złączy spawanych urządzeń i konstrukcji dla elektrowni jądrowych oraz kwalifikacji personelu do przeprowadzenia tych badań.

Projekt współfinansowany ze środków Ministerstwa Energii.

Wszelkie uwagi, sugestie i propozycje co do dalszych działań w zakresie przygotowania polskiego przemysłu do kooperacji z energetyką jądrową prosimy przesyłać na adres pocztowy: Ministerstwo Energii, ul. Krucza 36 / Wspólna 6, 00-522 Warszawa lub na adres e-mail: przemysl.jadrowy@me.gov.pl

Wytyczne nr: W/ME/DEJ/IS/05/18, Wydanie 1

ISBN 978-83-61272-85-4

Non-destructive testing (NDT) of welded joints of equipment and structures for nuclear power plants and requirements for NDT personnel. Instytut Spawalnictwa, 2018.

Nakład 500 szt.

© Wszystkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

	str.
1	Wprowadzenie 5
2	Badania nieniszczące urządzeń i konstrukcji spawanych podczas ich wytwarzania oraz budowy elektrowni jądrowych 8
2.1	Rola i obszar stosowania badań nieniszczących 8
2.2	Badania NDT podczas wytwarzania reaktora EPR wg kodu RCC-M 11
2.2.1	Badania NDT wg Section III „Examination Methods” 13
2.2.1.1	Badania ultradźwiękowe (MC 2000) 13
2.2.1.2	Badania radiograficzne (MC 3000) 32
2.2.1.3	Badania penetracyjne (MC 4000) 35
2.2.1.4	Badania magnetyczno-proszkowe (MC 5000) 37
2.2.1.5	Badania prądami wirowymi wyrobów rurowych (MC 6000) 44
2.2.1.6	Inne metody badań (MC 7000) 47
2.2.1.7	Kwalifikowanie i certyfikowanie personelu NDT (MC 8000) 49
2.2.2	Wymagania w zakresie NDT w zależności od klasy urządzenia 50
2.3	Wymagania kodu ASME Section III 57
2.3.1	Class 1 Components: ASME Section III, Division 1 – Subsection NB 60
2.3.2	Class 2 oraz Class 3 Components 64
2.3.3	Badania nieniszczące urządzeń nie objętych klasyfikacją wg ASME Section III 76
2.4	Wymagania norm niemieckich KTA 78
2.5	Wymagania przepisów rosyjskich PNAE oraz norm GOST R 79
3	Wymagania dotyczące personelu badań nieniszczących złączy spawanych urządzeń i konstrukcji dla energetyki jądrowej 80
4	Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w poszczególnych kodach i normach 82
5	Podsumowanie 84
6	Piśmiennictwo 87

1 Wprowadzenie

Przyjęty w dniu 28 stycznia 2014 roku Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) [1] zakłada budowę w najbliższym czasie pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce, a w dalszej perspektywie, sukcesywny rozwój krajowej energetyki jądrowej. Według aktualnych zapowiedzi Ministerstwa Energii, decyzja o rozpoczęciu procedury przetargowej i budowie elektrowni jądrowej może zapaść w pierwszej połowie 2019 roku. Niezmiennie stanowisko Ministerstwa o konieczności rozwoju w kraju energetyki jądrowej, jak również zaplanowanie uruchomienia w 2033 pierwszego bloku elektrowni jądrowej w Polsce w projekcie dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040)” (listopad 2018), umożliwiają podjęcie działań przez krajowe podmioty gospodarcze w zakresie przygotowanie się do udziału w procesie budowy pierwszej elektrowni jądrowej, a następnie jej eksploatacji.

W związku z brakiem elektrowni jądrowych (EJ), Polska nie posiada własnych przepisów dotyczących ich budowy i eksploatacji. W rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) stwierdza się, że do projektowania, materiałów i elementów stosowanych do wytwarzania, naprawy lub modernizacji, wytwarzania, eksploatacji, naprawy i modernizacji oraz likwidacji urządzeń EJ należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa stosuje się wymagania techniczne określone w dokumentach odniesienia mających zastosowanie do tych urządzeń, o ile przepisy rozporządzenia nie stanowią inaczej. Z kolei do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej.

Wśród najbardziej prawdopodobnych uczestników przetargu na dostawę technologii jądrowej wymienia się firmy lub korporacje z Francji, Japonii, Kanady, Korei Południowej i Stanów Zjednoczonych. Wzięciem udziału w przetargu zainteresowana jest również firma CGN z Chin, która pod koniec października 2017 roku rozpoczęła wspólnie z EDF proces licencjonowania reaktora HPR 1000 (Hualong One) w Wielkiej Brytanii. Wymienienie krajów, a nie potencjalnych firm-dostawców technologii jądrowej jest bardziej odpowiednie z punktu widzenia przepisów technicznych stosowanych

podczas wytwarzania reaktora jądrowego i innych głównych urządzeń i konstrukcji, ponieważ do ich projektowania i wytwarzania stosuje się wymagania kodów, norm i przepisów kraju dostawcy. W oparciu o powyższe założenia oraz zapisy ww. rozporządzenia, dokumentami odniesienia mającymi zastosowanie do urządzeń elektrowni jądrowych należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa mogą być różne kody i normy, w tym:

- **AFCEN** (Francja),
- **JSME** (Japonia),
- **KEPIC** (Korea Południowa),
- **ASME** (USA).

W skali światowej najszerze zastosowanie mają odpowiednie sekcje kodu ASME B&PVC (*American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code*), wśród których podstawową jest sekcja ASME Section III [2]. Sekcja ta wraz innymi, do których odwołuje się, jest stosowana podczas budowy elektrowni jądrowych nie tylko w Stanach Zjednoczonych, lecz również w wielu innych krajach. Kody jądrowe takich krajów jak Japonia, Korea Południowa oraz Kanada są oparte o ASME B&PVC, a istniejące niewielkie różnice lub rozszerzenia wynikają z uwarunkowań lokalnych.

Ze względu na poziom rozwoju technologii jądrowej oraz realizowane w Europie projekty reaktorów EPR w elektrowniach Olkiluoto 3, Flamanville 3 oraz Hinkley Point C, jak również Taishan w Chinach, kolejnym liczącym się dostawcą technologii jądrowej jest francuski koncern EDF/Framatome, co warunkuje, że budowa elektrowni jądrowej może przebiegać w oparciu o wymagania francuskich kodów AFCEN (*Association Française pour les règles de Conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des Chaudières Electro Nucléaires, co tłumaczy się na język angielski jako: French Association for the rules governing the Design, Construction and Operating Supervision of the Equipment Items for Electro Nuclear Boilers*). Kody AFCEN, w tym dotyczący urządzeń ciśnieniowych kod RCC-M [3], są od około 40 lat rozwijane we Francji w sposób niezależny od kodu ASME, co przyczyniło się do zdecydowanie innej ich struktury, a w niektórych przypadkach również zawartości. Nie zmienia to jednak faktu, iż odpowiednie sekcje obydwu kodów (AFCEN i ASME) są zasadniczo do siebie podobne.

Oprócz ww. dwóch podstawowych kodów „jądrowych”, na świecie stosuje się inne przepisy, które mają zastosowanie w krajach posiadających własne technologie jądrowe lub krajach, które nie posiadają własnej technologii jądrowej, ale od wielu lat eksploatują elektrownie jądrowe wybudowane przez różnych dostawców. Powoduje to, że podczas badań nieniszczących (NDT) złączy spawanych urządzeń i konstrukcji są stosowane odpowiednie przepisy dostawcy technologii jądrowej lub przepisy krajowe. Badania NDT obejmują nie tylko etap produkcyjny oraz montażowy, lecz również cały okres eksploatacji elektrowni, który obecnie wynosi około 60-70 lat. Uwzględniając tak długi okres pracy elektrowni oraz globalizację rynków światowych, polskie firmy mają spore szanse na dostarczanie usług nie tylko w Polsce, ale na rynkach krajów europejskich, azjatyckich lub innych.

W związku z powyższym, w dalszej części niniejszych wytycznych główną uwagę zwrócono na wymagania zawarte w dwóch podstawowych kodach: francuskim AFCEN oraz amerykańskim ASME, ale dodatkowo opisano również wymagania norm niemieckich KTA i przepisów rosyjskich PNAE.

W opracowaniu zestawiono wymagania w zakresie badań nieniszczących (NDT) złączy spawanych urządzeń i konstrukcji dla elektrowni jądrowych oraz wymagania w zakresie personelu do ich przeprowadzenia.

Wytyczne są przeznaczone dla przedsiębiorstw, które przygotowują się do uruchomienia produkcji urządzeń lub konstrukcji, jak również świadczenia usług na rzecz budowy elektrowni jądrowych zarówno w kraju, jak i za granicą.

2 Badania nieniszczące urządzeń i konstrukcji spawanych podczas ich wytwarzania oraz budowy elektrowni jądrowych

2.1 Rola i obszar stosowania badań nieniszczących

Badania nieniszczące, które w przepisach i publikacjach krajowych oraz światowych są najczęściej opisywane skrótem NDT (*Non-Destructive Testing*), ale także NDE (*Non-Destructive Evaluation*), NDE (*Non-Destructive Examination*) lub NDI (*Non-Destructive Inspection*), są nieodłącznym elementem nie tylko procesów produkcyjnych i montażowych, lecz również występują podczas monitorowania i przeglądów technicznych w trakcie całego okresu eksploatacji urządzeń.

W branży jądrowej rola badań nieniszczących jest szczególnie istotna, gdyż potwierdzenie wysokiej jakości złączy spawanych jest jednym z warunków bezpiecznej pracy wszystkich urządzeń, rurociągów i konstrukcji elektrowni jądrowych. Zastosowanie paliwa jądrowego do wytwarzania energii powoduje, że zasady projektowania, wytwarzania, badania, w tym badania nieniszczące (NDT), oraz odbioru urządzeń ciśnieniowych istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego są ujęte w odrębnych, specjalnych przepisach i normach, wśród których podstawowymi są amerykański kod ASME Section III [2] oraz francuski AFCEN RCC-M [3]. Niektóre układy, zespoły i podzespoły elektrowni jądrowych nie mają jednak wpływu na bezpieczeństwo jądrowe, szczególnie w obszarze wyspy turbinowej (konwencjonalnej). W związku z powyższym rozróżnia się dwie główne grupy konstrukcji, układów (systemów) i komponentów elektrowni jądrowych (*structures, systems and components (SSC)*): związane z bezpieczeństwem jądrowym (*safety-related*) oraz nie związane z tym bezpieczeństwem (*non safety-related*). W języku angielskim ostatnia grupa urządzeń i układów może być także opisywana jako: *non-nuclear* lub *non-Code* lub *No Class* lub *unclassified* lub *Non-Safety (NS)* lub *Not Classified (NC)*.

Nie wszystkie urządzenia i układy technologiczne związane z bezpieczeństwem jądrowym pełnią w elektrowni podobne funkcje oraz pracują w takich samych warunkach, a zatem stwarzają podobne ryzyko. W związku z powyższym wszystkie kody i przepisy jądrowe, w tym ww. ASME i AFCEN, zawierają wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i odbioru urządzeń ciśnieniowych i układów rurociągowych w zależności od klasy bezpieczeństwa (*safety-related classification*). Z reguły kody zawierają wymagania dla trzech klas struktur, układów i komponentów: Class 1, 2 oraz

3, gdzie Class 1 obejmuje SSC, których awaria może wywołać najbardziej poważne skutki dla osób i otoczenia, a zatem są to urządzenia obwodu pierwotnego reaktora. W niektórych krajach może występować inne oznaczenie klas bezpieczeństwa lub inna ich ilość, ale zdarza się to rzadko. Podstawą innej niż opisano klasyfikacji mogły być wcześniejsze wytyczne IAEA, które zakładały podział urządzeń i systemów na cztery klasy bezpieczeństwa. Obecnie nowe wytyczne IAEA zawierają podział na trzy klasy bezpieczeństwa i jest on zbieżny ze stosowanym w kodach ASME i RCC-M, a mianowicie: Class 1, 2, 3.

Strukturę i metodę (porady i wskazówki) w zakresie identyfikacji i klasyfikacji struktur, układów i komponentów (SSC) istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa na podstawie ich funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa opisano w wytycznych IAEA Safety Standards Series No. SSG-30 [4], które odwołują się z kolei do dokumentów IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1) [5] oraz IAEA Safety Standards Series No. SGR Part 4 (Rev. 1) [6] zawierających opis wymagań. Celem wytycznych IAEA jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa poprzez spełnienie odpowiednich wymogów jakościowych oraz niezawodności obiektów. Zasady projektowania inżynierskiego elementów ważnych dla bezpieczeństwa w elektrowni jądrowej muszą być określone i zgodne z odpowiednimi przepisami i normami krajowymi lub międzynarodowymi oraz stosować sprawdzone rozwiązania techniczne, z należyty uwzględnieniem ich przydatności do technologii jądrowej.

Przy opracowywaniu projektu, dostawca technologii jądrowej klasyfikuje poszczególne układy, struktury i komponenty (SSC) do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa jądrowego. W tym miejscu należy nadmienić, że kody jądrowe ASME lub RCC-M nie klasyfikują urządzeń i układów według klas bezpieczeństwa jądrowego, lecz tylko formułują wymagania w ramach każdej z tych klas. Wyjątek stanowi Class 1, która zawsze obejmuje urządzenia i rurociągi układu chłodzenia rdzenia reaktora, w tym bezpośrednio reaktor jądrowy, wytwornice pary, stabilizator ciśnienia, główną pompę cyrkulacyjną układu chłodzenia, główne rurociągi, zawory bezpieczeństwa itd.

W Polsce w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) w § 4.1. wskazuje się, że „do urządzeń EJ należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa stosuje się wymagania techniczne określone w dokumentach odniesienia mających zastosowanie do tych urządzeń, o ile przepisy rozporządzenia

nie stanowią inaczej”. Z kolei wg § 4.2. „do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej”.

Wspomniane powyżej kody ASME Section III [2] i RCC-M [3] zawierają wymagania w zakresie NDT tylko na etapie wytwarzania urządzeń ciśnieniowych Class 1, 2 i 3. Wymagania do badań nieniszczących przeprowadzanych w trakcie eksploatacji urządzeń i rurociągów elektrowni jądrowych są ujęte natomiast w kodach ASME Section XI [7] oraz AFCEN RSE-M [8].

W dalszej części niniejszych wytycznych opisano wymagania odpowiednich sekcji kodów AFCEN oraz ASME dotyczących badań nieniszczących (NDT) złączy spawanych urządzeń i konstrukcji Class 1, 2, 3 podczas ich wytwarzania oraz urządzeń nie objętych klasyfikacją, które są stosowane podczas budowy reaktorów EPR™ firmy Framatome, AP1000 firmy Westinghouse oraz ABWR firmy Hitachi GE. Wybór tych reaktorów wynika z faktu, że ww. firmy są najbardziej prawdopodobnymi uczestnikami przetargu na dostawę technologii jądrowej dla pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

Dodatkowo przedstawiono wymagania niemieckich norm jądrowych KTA (*Kerntechnischer Ausschuss*) oraz przepisów rosyjskich PNAE (*Правила и нормы в атомной энергетике*), gdyż ich znajomość może być przydatna krajowym firmom świadczącym usługi w zakresie NDT przy realizacji dostaw wyrobów „jądrowych” na rynek niemiecki lub dla elektrowni jądrowych z reaktorami typu VVER w Czechach, Finlandii, Bułgarii oraz na Słowacji i Węgrzech, które są od dawna eksploatowane lub zostaną wkrótce wybudowane, np. VVER-1200 w Finlandii (Hanhikivi 1) i na Węgrzech (Paks II).

2.2 Badania NDT podczas wytwarzania reaktora EPR wg kodu RCC-M

Wodny ciśnieniowy reaktor typu EPR™ został opracowany przez francuską firmę Framatome wchodzącej w skład koncernu EDF. Firma Framatome powstała na początku br. wskutek przekształceń, które nastąpiły w firmie AREVA. Nazwa nie jest jednak nowa, gdyż firma zajmująca się produkcją urządzeń jądrowych dla pierwszego obiegu reaktora działała pod nazwą Framatome już wcześniej, przed zmianą tej nazwy na AREVA.

Podstawowym przepisem podczas projektowania oraz wytwarzania urządzeń ciśnieniowych części jądrowej elektrowni (nazywanej również wyspą jądrową) jest wspomniany już wcześniej kod RCC-M [3]. Kod ten zawiera wymagania do urządzeń zaliczanych do klas bezpieczeństwa 1, 2 i 3 w zależności od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa. W rozdziale A 4100 RCC-M podkreślono, że klasa komponentów jest określona w ich specyfikacji technicznej. W związku z powyższym kod RCC-M nie definiuje, które z poszczególnych urządzeń lub komponentów należy do której klasy bezpieczeństwa (poza komponentami Class 1), lecz zawiera tylko wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów zaliczanych do Class 1, 2 i 3.

Struktura kodu RCC-M wygląda następująco:

- **Section I „Nuclear Island Components”**
- **Section II „Materials”**
- **Section III „Examination Methods”**
- **Section IV „Welding”**
- **Section V „Fabrication”**
- **Section VI „Probationary Phase Rules”**

Jak wynika z powyższego zestawienia, kod RCC-M posiada osobną sekcję **Section III „Examination Methods”** dotyczącą metod badawczych. W sekcji tej opisano przede wszystkim ogólne zasady przeprowadzenia wszystkich badań, w tym badań nieniszczących, jak również wymagania do próbek i urządzeń badawczych. Sekcja III zawiera następujące rozdziały:

- **MC 1000** „Mechanical, Physical, Physico-chemical and Chemical Tests”
- **MC 2000** „Ultrasonic Examination”
- **MC 3000** „Radiographic Examination”
- **MC 4000** „Liquid Penetrant Examination”
- **MC 5000** „Magnetic Particle Examination”
- **MC 6000** „Eddy Current Examination of Tubular Products”
- **MC 7000** „Other Examination Methods”
- **MC 8000** „Qualification and Certification of Non-Destructive Examination Personnel”
- **MC 9000** „Terminology”

Ww. rozdziały zawierają z kolei podrozdziały, w których wymagania są uszczegóławiane przede wszystkim w zależności od rodzaju badanego wyrobu lub/oraz rodzaju stali, np. odlew, odkuwka, blacha, rura, jak również złącze spawane lub warstwa napawana. Przykładowo rozdział **MC 2000 „Ultrasonic Examination”** zawiera następujące podrozdziały:

- **MC 2100** „General”
- **MC 2200** „Ultrasonic Examination of Castings”
- **MC 2300** „Ultrasonic Examination of Forgings”
- **MC 2400** „Ultrasonic Examination of Ferritic Steel or Austenitic Alloy Plates at least 6 mm Thick”
- **MC 2500** „Ultrasonic Examination of Tubes”
- **MC 2600** „Ultrasonic Examination of Full Penetration Welds in Ferritic Steel”
- **MC 2700** „Ultrasonic Examination of Buttering, Cladding and Plating”

Idąc dalej w głąb, każdy z ww. podrozdziałów zawiera kolejne paragrafy, w których są opisane wymagania w zależności od specyfiki badań poszczególnych wyrobów lub stali. Przykładowo podrozdział **MC 2500 „Ultrasonic Examination of Tubes”** zawiera następujące paragrafy:

- **MC 2510** „Scope of Method”
- **MC 2520** „General Conditions”
- **MC 2530** „Examination Conditions”

- **MC 2540** „Test Equipment”
- **MC 2550** „Power and Gain Setting”
- **MC 2560** „Checking and Setting of the Automatic Device”
- **MC 2570** „Characterization of Indications”
- **MC 2580** „Test Report”

Poniżej w pierwszej kolejności opisano zawartość poszczególnych rozdziałów w odniesieniu do różnych metod badań NDT, a następnie przeprowadzono analizę osobiwości wymagań w zakresie NDT w zależności od klasy urządzeń.

2.2.1 Badania NDT wg Section III „Examination Methods”

2.2.1.1 Badania ultradźwiękowe (MC 2000)

Badania ultradźwiękowe jako jedna z metod objętościowych ma szerokie zastosowanie podczas badań i kwalifikowania złączy spawanych, jak również odkuwek i odlewów. Zastosowanie techniki ultradźwiękowej ma swoje zalety ze względu na dobre właściwości wiązki ultradźwiękowej pod względem wykrywania tzw. niezgodności płaskich do których zalicza się pęknięcia oraz przyklejenia pomiędzy poszczególnymi warstwami oraz pomiędzy spoiną a ściankami ukosowania. Ważnym aspektem jest również dobra penetracja elementów oraz złączy o większych grubościach ścianki, co daje możliwość badania złączy o podwyższonej grubości. Ma to szczególne znaczenie w przypadku badania złączy o dużych grubościach ścianek, gdzie technika radiograficzna boryka się z uzyskaniem powtarzalnych i wyraźnych wyników. Techniki objętościowe pozwalają na skuteczne badanie wówczas, kiedy zastosowane będą przy jednoczesnym uwzględnieniu parametrów badanych elementów. Ważnym aspektem badań ultradźwiękowych jest nieograniczony dostęp do powierzchni skanowania, jak również jej przygotowanie pod względem czystości oraz dokładnego ustawienia łączonych ścianek. Od wielu lat widoczne jest stałe zastosowanie techniki ultradźwiękowej w przemyśle jądrowym. Główne elementy ciśnieniowe oraz urządzenia wymagające wysokiej precyzji i dokładności są badane poprzez zastosowanie ultranowoczesnych technik ultradźwiękowych, opartych na głowicach wieloprzetwornikowych techniką Phased Array oraz wykorzystując technikę oceny fali dyfrakcyjnej w skrócie TOFD.

2.2.1.1.1 Wymagania ogólne (MC 2100)

Podrozdział **MC 2100 „General” (Wymagania ogólne)** przedstawia podstawowe informacje dotyczące zastosowanej techniki badań ultradźwiękowej oraz wytycznych związanych z ustaleniem techniki referencyjnej. Mowa jest głównie o badaniu ręcznym, opartym na technice puls-echo [P-E]. Dopuszczone jest zastosowanie innych technik ultradźwiękowych (MC 2170) opartych na zaawansowanych rozwiązaniach, do których zalicza się techniki Phased Array oraz TOFD. Zastosowanie technik innych niż opisanych w podrozdziale (MC 2100), muszą być zweryfikowane pod względem możliwości uzyskania przynajmniej takich samych lub lepszych wyników wykrywalności. Przepisy (MC 2100) powinny być stosowane tylko wówczas kiedy nie zostały ustalone inne wytyczne z wykonawcą.

W podrozdziałach **Wymagań ogólnych** opisano następujące zagadnienia:

MC 2110 – Scope

MC 2120 – General conditions

MC 2130 – Ultrasonic examination equipment

MC 2140 – Examination performance conditions

MC 2150 – Charakterization of indication

MC 2160 – Examination report

MC 2170 – Special requirements for automated procedures

W przypadku zastosowania innej techniki badań UT wg wytycznych RCC-M (MC 2100) wymagane jest sporządzenie odrębnej procedury oraz instrukcji z wyszczególnieniem elementów oraz zasady zastosowanej techniki wg podrozdziału MC 2170. Ogólne zasady badań ultradźwiękowych oparte są na normie EN 583-1 (PN-EN ISO 16810 [9]). Do przeprowadzenia badań wymagane są odpowiednie kwalifikacje oraz certyfikat zgodnie z podrozdziałem MC 8000 wg wskazań zawartych w podrozdziale MC 2121. Badania muszą spełniać warunki określone w zawartych procedurach, instrukcjach, danych o obiekcie, stosowanych urządzeniach ultradźwiękowych oraz osprzęcie opisanych szczegółowo w podrozdziale MC 2122.

Kontrolę aparatury ultradźwiękowej należy przeprowadzić wg wytycznych zawartych w normie EN 12668-1 [10]. Stosowane głowice powinny spełniać wytyczne normy EN 12668-2 [11], które opisano w podrozdziale MC 2132. W podrozdziale tym

wyszczególniono zakresy zastosowanych częstotliwości oraz wymiarów pojedynczych przetworników piezoelektrycznych w odniesieniu do badanego materiału oraz geometrii. Specyfikacja dopuszcza zastosowanie głowic specjalnych z odmiennymi parametrami dotyczącymi długości fali, różnych kątów oraz zastosowania głowic miniaturowych wówczas, gdy nie mogą być zastosowane głowice konwencjonalne. Wymagane jest stosowanie środków sprzęgających wg podrozdziału MC 2133 zgodnie z kryteriami rozdziału F 6000. Przepis mówi, że środki sprzęgające powinny być usuwane po badaniu w szczególności, jeżeli badane elementy są wykonane z ze stali austenitycznych lub stopów na bazie niklu.

W kodzie mowa jest także o zastosowaniu wzorców kalibracyjnych zgodnie z normą EN 12223 (EN ISO 2400 [12]). Podrozdział MC 2134.2 określa warunki wytwarzania wzorców kalibracyjnych zgodnie z paragrafem 6.3.1.1 z normy EN 583-2 (PN-EN ISO 16811 [13]). Wzorce powinny być wykonane z takiego samego materiału z uwzględnieniem obróbki cieplnej oraz odpowiednim usadowieniem niezgodności (reflektorów) zgodnie z charakterystyką danego złącza (kąt, głębokość, wielkość, kształt), jak również umieszczaniu reflektorów w odniesieniu do całej badanej grubości. Chropowatość nie powinna przekraczać $R_a - 6,3 \mu\text{m}$.

Wytyczne dotyczące powierzchni badania opisują jej przygotowanie pod względem czystości. Mowa jest również o kształcie strefy przesuwu głowicy, który mógłby wpływać negatywnie na propagację fali (kąt, tłumienie itp.) lub na elementy, które mogłyby ograniczać przesuw głowicy, a zatem wpływać na błędną interpretację wyników lub uniemożliwiać zbadanie całej objętości. Jeśli nie określono inaczej, według podrozdziału MC 7200 wymagana jest chropowatość nie przekraczająca $R_a 12,5 \mu\text{m}$.

W podrozdziale MC 2142 „Scanning Method” opisano aspekty kontroli całego sprzętu ultradźwiękowego zgodnie z normą EN 12668-3 [14]. W odniesieniu do kalibracji podstawy czasu w stosunku do części ze stali ferrytycznych wymaga się stosowanie wzorca kalibracyjnego wg specyfikacji zawartej w MC 2134.1. Dotyczy to w szczególności kontroli głowic kątowych pod względem wyznaczania między innymi kąta propagacji fali. W przypadku badania elementów ze stali austenitycznych i stopów o wysokiej zawartości niklu zaleca się stosowanie wzorców z reflektorami odniesienia, wykonanych z materiału o podobnych właściwościach akustycznych lub najlepiej takich samych. Wymagany jest co najmniej taki sam zakres wykrywalności, jak dla

normalnych wzorców dla stali ferrytycznych. Kontrolę należy przeprowadzać przed rozpoczęciem każdego badania.

Kalibracja wzmocnienia odbywa się na wzorcach z reflektorami płaskodennymi oraz specjalnymi rowkami (nacięciami) zgodnie z wytycznymi normy EN 583-2 [13]. Wymagana jest kontrola ustawienia wzmocnienia referencyjnego w przypadku rozpoczęcia każdego badania oraz przynajmniej co 2 godziny w normalnym cyklu badawczym lub gdy osoba badająca podejrzewa wystąpienie przekłamań. Kontrolę należy przeprowadzić również pod względem weryfikacji wzmocnienia po zakończeniu badań. Badanie jest poprawne, jeśli po kontroli nie wystąpi różnica wzmocnienia o więcej niż 2 dB w stosunku do wzorcowania wstępnego.

Dopuszcza się stosowanie krzywej odniesienia DAC uzyskanej od otworów wykonanych we wzorcu zgodnie z wytycznymi pkt. 6.3 normy EN 583-2 [13] oraz krzywych odniesienia w technice TCG, które umożliwiają zbilansowanie wzmocnienia w stosunku do odległości od reflektora.

Wg podrozdziału MC 2144 „Scanning Method”, badana powierzchnia powinna być skanowana w stanie zgodnie z wytycznymi właściwego punktu kodu RCC-M. Badanie powinno być przeprowadzane przy wysokich nastawach (poziomach) czułości z uwzględnieniem szumów tła. Oczywiście ustawienia czułości powinny być adekwatne w stosunku do wykrywalności wskazań i w innych przypadkach może być konieczne obniżenie czułości w celu poprawnej interpretacji, aczkolwiek nie można ustawiać parametrów wzmocnienia poniżej przyjętych kryteriów referencyjnych. Zalecane jest odpowiednie ustawienie czułości w zależności od kierunku wykrytego wskazania w celu lepszej interpretacji. Głębokość strefy pola bliskiego należy zanotować, jeśli jest to wymagane. Można wówczas zapisać strefę martwą (pole bliskie) jako odległość L zgodnie ze szkicem przedstawionym w MC 2144.

W przypadku charakteryzowania wskazań oraz wymiarowania, podrozdział MC 2150 wskazuje jako główne źródło charakteryzowania wskazań normę EN 583-5 (PN-EN ISO 16827 [15]) przywołując odpowiednie wyjaśnienia dotyczące oceny amplitudy (MC 2151.1). Ocenę należy dokonać zgodnie z wytycznymi paragrafu C2, który w głównej mierze opiera się na technice krzywych DAC zgodnie z załącznikiem C. Wielkość wskazań wyznacza się jako procent wysokości amplitudy w stosunku do krzywej DAC zgodnie z punktem MC 2143.1/a. Jest to standardowa analiza zbieżna z wytycznymi normy spoinowej EN ISO 11666 [16]. W przypadku zastosowania wymagań zgodnie z punktem MC 2143/b analizuje się wysokość wskazania od

niezgodności w odniesieniu do wysokości wskazania referencyjnego od najbliższego otworu (reflektora) wyrażone w procentach.

Ocenę rozmiaru wskazania przeprowadza się standardowo na zasadzie 6-decybelowego spadku echa zgodnie z pkt. D2 wg załącznika D (MC 2151.2). Grupowanie wskazań przedstawiono w odpowiednich punktach tych przepisów (MC 2151.3), gdzie opisano postępowanie wówczas, gdy mamy do czynienia z jednym wskazaniem skumulowanym.

Inną formą oceny wskazań jest technika obserwacji wahaniami i spadku amplitudy echa dna, co zazwyczaj wskazuje na rozproszenie lub pochłonięcie fali poprzez skupiska niezgodności wewnątrz badanego elementu. Każdy obszar, w którym występuje spadek, opisuje się za pomocą współczynnika R oraz wzoru wg podrozdziału MC 2152.1. Wyodrębnia się dwie wartości F_{01} (Amplituda pierwszego echa dna określona wg MC 2143.1) oraz wartość F1 (Amplituda pierwszego echa dna z rozpatrywanej strefy) w celu określenia, czy nie mamy do czynienia ze spadkiem echa dna wynikającym z geometrii dna danej części. Rozmiar powierzchni wskazań wykrytych poprzez ocenę spadku amplitudy od dna przeprowadza się stosując oznaczanie granic strefy obniżonej amplitudy poprzez spadek 6 decybelowy.

Informacje które należy zamieścić w protokole omówiono w podrozdziale MC 2160.

Według podrozdziału MC 2170, zastosowanie zautomatyzowanej metody ultradźwiękowej wymaga przygotowania odpowiedniej dokumentacji, w której należy wykazać proces z przeprowadzonej kwalifikacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na zapobieganie błędom związanym z badaniem zautomatyzowanym, które mogą negatywnie wpływać na powtarzalność wyników badań.

2.2.1.1.2 Badania ultradźwiękowe odlewów (MC 2200)

Podrozdział MC 2200 przedstawia główne wytyczne dotyczące zagadnień związanych z badaniem elementów odlewanych.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2210 – Scope of the method

MC 2220 – General conditions

- MC 2230** – Examination conditions
- MC 2231** – Time of examination
- MC 2232** – Test areas
- MC 2233** – Scanning methods
- MC 2234** – Reference blocks
- MC 2235** – Distance-amplitude correction curves
- MC 2236** – Characterization of an indication

Zakres metody dotyczy badań ultradźwiękowych techniką puls-echo (P-E) przy użyciu głowic na fale podłużne odlewów ze staliwa ferrytycznego wg wytycznych dotyczących badań ultradźwiękowych opisanych w Section II „Materials” przepisów RCC-M. W zakresie warunków badań obowiązują wytyczne specyfikacji ogólnej (MC 2100) uzupełnione o warunki dodatkowe opisane w poniższych podrozdziałach. Poszczególne etapy badań podczas produkcji (MC 2231), jak również poziomy jakości oraz obszary badań (MC 2232) opisano szczegółowo w Section II kodu RCC-M. W podrozdziale MC 2233 mowa jest o doborze metody badania w celu zapewnienia możliwości zbadania całej objętości. Pole bliskie (strefa martwa) określone jest zgodnie z wytycznymi podrozdziału MC 2144 z wyjątkiem technik skanowania, które pozbawione są występowania tego zjawiska (głowice, metody skanowania etc.).

Wzorce kalibracyjne powinny spełniać wymagania podrozdziału MC 2134.2, który wymaga zastosowania reflektorów płaskodennych o średnicy 6 mm wykonanych precyzyjnie w ilości umożliwiającej objęcie całego zakresu grubości badanego elementu. Pierwszy reflektor należy zlokalizować w maksymalnej odległości 25 mm od powierzchni skanowania, kolejno ostatni należy wykonać w odległości maksymalnej grubości +/- 20%. W przypadku badania elementów o grubości powyżej 40 mm należy zastosować krzywą odniesienia DAC zgodnie z podrozdziałem MC 2143.1 zarejestrowaną od minimum trzech reflektorów (MC 2234) w przypadku elementu o grubości 40 mm. Przy niższej grubości wymagana jest krzywa wyznaczona z dwóch punktów. Wg podrozdziału MC 2236.1, charakterystyka wskazań amplitudy określa się zgodnie z wymaganiami podrozdziału MC 2151.1.

Rozmiar wskazań wyznaczmy techniką 6-decybelowego spadku zgodnie z wymaganiami podrozdziału MC 2151.2.

2.2.1.1.3 Badania ultradźwiękowe odkuwek (MC 2300)

Podrozdział MC 2300 przedstawia główne wytyczne dotyczące zagadnień związanych z badaniem elementów kutych.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2310 – General

MC 2311 – General conditions

MC 2312 – Examination conditions

MC 2313 – Scanning procedures

MC 2314 – Ultrasonic examination documents

MC 2315 – Examination report

MC 2316 – Certification of examination personnel

MC 2320 – Shear wave examinations and/or longitudinal inclined beam examinations

MC 2321 – Reference block

MC 2322 – Setting and indication characterization

Wg podrozdziału MC 2311 wymagania ogólne w stosunku do badań elementów kutych opierają się w głównej mierze na znanej normie EN 10228-3 [16] opisującej proces badania odkuwek ze stali ferrytycznych i martenzytycznych oraz normie EN 10228-4 [17] dotyczącej odkuwek ze stali austenitycznych. Wymagania w stosunku do chropowatości muszą być zgodne z rozdziałem 10 ww. norm EN 10228. W stosunku do prętów stalowych należy zastosować normę EN 10308 [18], w której podane są wytyczne odnośnie badania prętów, jak również informacje dotyczące chropowatości wymaganej w stosunku do prętów ze stali ferrytycznej i austenitycznej.

W Section II kodu RCC-M zawarto z kolei informacje dotyczące badań w odniesieniu do etapów produkcji odkuwek oraz samych obszarów badań. W stosunku do elementów rodzaju (*type*) 1, 2 oraz 3 wymaga się, aby powierzchnie skanowania były równoległe. Należy wybrać odpowiedni etap produkcji, który umożliwi zbadanie całej objętości elementu kutego z uwzględnieniem procesów obróbki cieplnej. Po procesie należy poddać badaniu element w jak najszerszym zakresie (MC 2312). W odniesieniu do pola bliskiego (tzw. strefa martwa) nie jest wymagana kontrola, chyba że jest to opisane w odrębnych specyfikacjach lub umowie.

Wzorce kalibracyjne wg pkt. 7.4 w przypadku stali austenitycznej i austenityczno-ferrytycznej należy wykonać zgodnie z wymaganiami podrozdziału MC 2134.2 w celu potwierdzenia krzywych odniesienia DGS. Środek sprzęgający zgodnie z punktem 7.5 podrozdziału MC 2133. Chropowatość nie może przekraczać 12.5 μm , wytyczne zgodnie z pkt. 11.

Według wytycznych w pkt. 11, do kalibracji głowic prostych oraz kątowych można zastosować technikę krzywych DAC lub DGS do wyboru. W przypadku wystąpienia problemu z zapewnieniem odpowiedniego stosunku amplitudy do szumów można głowice na fale poprzeczne zastąpić głowicami prostymi na fale podłużne. Rozmiar wskazań wyznaczmy techniką 6-decybelowego spadku echa.

Specyfikacja dotycząca badań ultradźwiękowych odkuwek stosowanych w przemyśle jądrowym wyróżnia 3 rodzaje skanowanych elementów:

- **Type 1 parts.** Pierwszy rodzaj odkuwek, o ile nie określono inaczej, dotyczy takich, w których najmniejszy wymiar jest większy lub równy 50 mm. W przypadku elementów, w których będą nawiercane otwory, należy badanie wykonać przed tym procesem w miejscach przyszłego wiercenia. Badania elementów cylindrycznych oraz o kształcie prostopadłościanu przeprowadza się w takim zakresie, na jaki pozwala tłumienie oraz rozproszenie wiązki ultradźwiękowej.
- **Type 3 parts.** Trzeci rodzaj dotyczy badania elementów wzdłuż osi. W celu ograniczenia zjawiska występowania wskazań pozornych oraz zminimalizowania efektu krawędziowego należy ograniczyć poprzez odpowiedni dobór głowic, biorąc pod uwagę geometrię elementów. Badanie należy przeprowadzić, o ile tłumienie fali oraz transformacja nie przeszkadza w interpretacji.
- **Type 4 parts.** Czwarty rodzaj dotyczy badania falami podłużnymi oraz poprzecznymi przed oraz po obróbce skrawaniem w zależności od geometrii oraz samej dostępności obszarów oraz powierzchni skanowania. W przypadku braku echa dna w badanym elemencie należy przeprowadzić kontrolę z obydwóch stron do połowy elementu z uwzględnieniem 10% zakładki.

Dokumenty z badań ultradźwiękowych zgodnie z podrozdziałem MC 2160 przepisów RCC-M. W protokole z badań należy zawrzeć informacje zgodnie z podrozdziałem MC 2160 z wyjątkiem pkt. 16, gdzie należy zarejestrować długość pola bliskiego (tzw. pole martwe). Wg podrozdziału MC 2316 badanie powinno być przeprowadzone przez certyfikowany personel zgodnie z wymaganiami MC 8000.

Podrozdział MC 2320 zawiera informacje na temat badań falą poprzeczną oraz podłużną. W przypadku kiedy w specyfikacji zamówienia wg Section II kodu RCC-M jest mowa o wzorcu kalibracyjnym oraz metodzie kalibracji, zaleca się zastąpienie wymagań opisanych w normie EN 10228-3 [16] oraz EN 10228-4 [17].

W odniesieniu do wzorców kalibracyjnych, przepisy mówią o wzorcu prostokątnym o kształcie równoległoboku z wyjątkiem wzorców referencyjnych wykorzystywanych do badań elementów cylindrycznych o średnicy do 250 mm. Jest to podyktowane prawidłowym dopasowaniem profilu głowicy w stosunku promienia krzywizny w granicach 25%. Szerokość wzorca powinna wynosić maksymalnie 60 mm. Dla grubości do 100 mm szerokość wzorca może być mniejsza niż 60 mm w celu wyeliminowania efektu krawędziowego. Długość wzorca powinna umożliwiać swobodne wykrywanie wszystkich reflektorów.

Ustawienia oraz charakterystyka wskazań należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi podrozdziałów MC 2143.1 oraz MC 2151.1.

2.2.1.1.4 Badania ultradźwiękowe blach ze stali ferrytycznej oraz austenitycznej o grubości do 6 mm (MC 2400)

Podrozdział MC 2400 prezentuje główne wytyczne dotyczące zagadnień związanych z badaniem blach, przede wszystkim w aspekcie wykrycia ewentualnego rozwarstwienia.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2410 – General

MC 2411 – Coupling medium

MC 2412 – Grade of the stepped block

MC 2413 – Attenuation measurement

Wg podrozdziału MC 2410, wymagania ogólne w stosunku do badania blach na rozwarstwienie do grubości 6 mm opierają się na wytycznych normy EN 10160 [19] oraz EN 10307 [20] z dodatkowymi wytycznymi według podrozdziału MC 2120, gdzie w tabl. 1 podano szczegółowe informacje na temat zastosowania głowicy na fale podłużne w przypadku blach powyżej 60 mm. Wytyczne zabraniają również stosowania reflektorów w kształcie prostokątnych nacięć. W przypadku powierzchni po

obróbce końcowej ze stali austenitycznej lub stopów na bazie niklu zaleca się usunięcie środka sprzęgającego. Wzorzec kalibracyjny schodkowy powinien być wykonany ze stali o takich samych właściwościach akustycznych.

Celem badania jest rejestracja spadku wysokości amplitudy w celu wykrycia obszarów niezgodności. Mowa jest o rejestracji wskazań o spadku poniżej 18 dB z uwzględnieniem spadków spowodowanych jakością powierzchni i przylegania głowicy. W zależności od używanej głowicy oraz klasy jakości wymagane jest zastosowanie odpowiedniej płyty wzorcowej ze względu na różne odległości pierwszego echa dna w odniesieniu do całkowitej wysokości ekranu (MC 2413.2).

Przed rozpoczęciem badania wymaga się oznaczenie progu rejestracji spadku decybelowego echa dna wg rys. 1 w podrozdziale MC 2413.2.1. W wyznaczonej strefie oznaczonej wg progu 18 decybelowego spadku należy wykonać ponowną ocenę z uwzględnieniem powierzchni, przylegania głowicy, strat przeniesienia itp. Jeśli specyfikacja zamówienia tego wymaga, może być wykonane dodatkowe badanie. W podrozdziale MC 2413.2.2 stwierdza się, że w przypadku, gdy echo właściwe od dna przekracza wysokość ekranu pomimo 18 decybelowego spadku, należy dostosować wysokość amplitudy poprzez odpowiednie zmniejszenie wzmocnienia tak, aby było widać wierzchołek amplitudy. Amplituda powinna być zanotowana jako właściwy próg rejestracji. Aspekty przedstawiono na rys. 2 w podrozdziale MC 2413.2.2. Strefę tę należy traktować według wytycznych podrozdziału MC 2413.2.1.

2.2.1.1.5 Badania ultradźwiękowe rur (MC 2500)

Podrozdział MC 2500 opisuje wymagania oraz techniki badań ultradźwiękowych klasycznych oraz w technice zanurzeniowej rur walcowanych bez szwu oraz ze szwem za pomocą głowic na fale poprzeczne.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2510 – Scope of the method

MC 2520 – General conditions

MC 2530 – Examination conditions

MC 2531 – Time of examination

MC 2532 – Test areas

MC 2533 – Scanning methods

MC 2534 – Reference tubes

MC 2540 – Test equipment

MC 2550 – Power and gain setting

MC 2560 – Checking the setting of the automatic device

MC 2570 – Characterization of indications

MC 2580 – Test report

Badanie dotyczy rur wykonanych ze:

- stali węglowej,
- stali nierdzewnej austenitycznej,
- stopów o wysokiej zawartości niklu, jeśli jest wymagane wg Section II niniejszego kodu RCC-M.

Specyfikacja nie obejmuje:

- rury wykonane poprzez odkuwanie i wytaczanie prętów,
- rury wykonane bezpośrednio przez odkuwanie na trzpieniu,
- rury grubościenne (grubość ≥ 50 mm) uzyskiwane bezpośrednio przez ciągnięcie na trzpieniu lub przelotowo,
- rury odlewane.

Oдноśnie ogólnych warunków badań specyfikacja opiera się na wymaganiach normy EN 10246-6 (PN-EN ISO 10893-10:2011 [21]) oraz EN 10246-7 [21]. Etapy badań wg MC 2531 oraz zakres obszaru badań wg MC 2532 na produkcji opisano w Section II kodu RCC-M. Badania należy wykonać z przynajmniej dwóch kierunków skanowania uwzględniając przesuw wzdłuż osi rury oraz po obwodzie. Dobór głowic powinien mieścić się w zakresie $35^\circ - 70^\circ$ z uwzględnieniem grubości ścianki rury. Powyższe informacje opisano szerzej w Section II przepisów RCC-M.

Według MC 2534 wzorce kalibracyjne w przypadku stali o zawartości pierwiastków stopowych powyżej 6% należy wykonać z tego samego gatunku z uwzględnieniem obróbki cieplnej, podobnie jak w przypadku rur badanych. We wzorcach wykonuje się nacięcia w kształcie prostokąta lub litery V na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej rury uwzględniając kierunek wzdłużny (osiowy) oraz obwodowy na rurze.

W podrozdziale MC 2534.1 wyszczególniono informacje dotyczące rur bez szwu. Wymagani opisują m.in. głębokość frezowanych nacięć. W przypadku stali węglowych przyjmuje się poziom nasilenia U2, natomiast stali nierdzewnych oraz stopów na bazie niklu, należy zastosować głębokości nacięć w odniesieniu do dwóch poziomów nasilenia, U1 ustawienia ostre oraz łagodniejsze U2. W przypadku rur wymienników ciepła przyjmuje się nacięcie (karb) o szerokości 0,1 mm.

Według podrozdziału MC 2534.2 w przypadku walcowanych rur spawanych bez powierzchni zabezpieczających, nacięcia (reflektory) należy zlokalizować w obrębie lica i grani. Przyjmuje się głębokość wykonanych nacięć dla poziomu nasilenia U2 z uwzględnieniem grubości rury.

W odniesieniu do sprzętu badawczego dopuszcza się zastosowanie rozwiązań manualnych lub zautomatyzowanych (MC 2540). W stosunku do sprzętu manualnego obowiązuje weryfikacja aparatury (kalibracja) wg wytycznych MC 2100.

Podrozdział MC 2542 dopuszcza stosowanie zautomatyzowanych systemów badawczych opartych na badaniu spoin rur poprzez przesuw spiralny oraz obrót rury. Wymagane jest zastosowanie badania z zakładką 20% oraz dokładnym określeniem położeniem głowic. Urządzenia zautomatyzowane powinny posiadać system sortujący oraz urządzenie rejestrujące wyniki. Ważnym elementem zautomatyzowanego sposobu badań jest możliwość określenia położenia niezgodności na rurze. Kontrola tego procesu jest ważnym aspektem weryfikacji poprawnego działania, jak również samokalibracji.

Kalibracja wzmocnienia wg podrozdziału MC 2550 odbywa się za pomocą próbki referencyjnej na zasadzie ustalenia wskazań od reflektora na 75% wysokości ekranu. W zautomatyzowanej kontroli rur korzysta się ze wzorców rzeczywistych rur na stanowisku właściwym lub ze specjalnych stanowisk kalibracyjnych. Kalibracje przeprowadza się przy takich samych ustawieniach parametrów prędkości, jak podczas badania.

Jeżeli system umożliwia jednoczesną rejestrację nacięć referencyjnych od zewnętrznej oraz wewnętrznej strony, wówczas uzyskaną amplitudę ustala się jako poziom odniesienia. W przypadku układów wieloprzetwornikowych ustala się poziomy jakości dla poszczególnych nacięć referencyjnych, w innym przypadku bierze się pod uwagę nacięcie o najmniejszej amplitudzie jako poziom odniesienia referencyjnego.

Wymaga się przeprowadzenie kontroli nastawy wzmocnienia na początku badań oraz po ich zakończeniu, jak również w cyklu 2-godzinnym. Nie jest wymagane

sporządzanie raportu z kontroli wzmocnienia. Dopuszcza się różnicę we wzmocnieniu względem kalibracji na wzorcu o +/- 2 dB. Jeżeli stwierdzi się różnicę powyżej 2 dB należy wykonać ponowne badanie z uwzględnieniem poprawnie skorygowanych ustawień (MC 2560).

Według MC 2570, wskazania należy charakteryzować poprzez sporządzenie katalogu wskazań, jeżeli jest to wymagane w Section II kodu RCC-M, jako wysokość amplitudy wyrażoną w procentach w stosunku do amplitudy referencyjnej zdefiniowanej w podrozdziale MC 2550. Podczas produkcji należy kontrolować amplitudę rzeczywistą do wysokości amplitudy akceptacyjnej. Długość wskazań należy oceniać zgodnie z wytycznymi podrozdziału MC 2151.2, jeśli wymaga tego Section II kodu.

Raport powinien zawierać informacje wyszczególnione w podrozdziale MC 2580. Aby uniknąć niepotrzebnego powtarzania, niektóre z wyżej wymienionych informacji mogą być podane w dokumentach producenta dołączonych do raportu z badania.

2.2.1.1.6 Badania ultradźwiękowych złączy spawanych ze stali ferrytycznej z pełnym przetopem (MC 2600)

Niniejszy podrozdział MC 2600 przedstawia wymagania dotyczące badań ultradźwiękowych spoin doczołowych i odgałęzień rurowych z pełnym przetopem ze stali ferrytycznej o grubości większej lub równej 10 mm. Dotyczy to przede wszystkim badań, które zostały określone w rozdziałach 4000 odpowiedniego podrozdziału Section I przepisów RCC-M.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2610 – Scope of the method

MC 2620 – General conditions

MC 2630 – Examination conditions

MC 2631 – Time of examination

MC 2632 – Test areas

MC 2633 – Surface preparation

MC 2534 – Scanning conditions

MC 2635 – Reference block

- MC 2636** – Power and gain setting
- MC 2637** – Characterization of indications
- MC 2638** – Grouping of indications
- MC 2639** – Examination of repaired areas

W podrozdziale MC 2610 zaznaczono, że w przypadku złączy spawanych austenitycznych ze względu na trudności techniczne (struktura spoiny, tłumienie, rozproszenie itp.) lub gdy ze względu na grubość złączy nie można wykonać poprawnie badań radiograficznych złączy, wówczas zainteresowana strona powinna przedstawić inną metodę (technikę) badania stronie wykonawczej, ale ówczesnie udowadniając jej przydatność, czyli mówiąc precyzyjnie, wykrywalność oraz możliwość charakteryzowania niezgodności.

W przypadku ogólnych warunków opisanych w podrozdziale MC 2620, wymagania opierają się na wytycznych ogólnych podrozdziału MC 2100 uzupełnionych o warunki podane poniżej. W kwestii warunków badań, czyli określenia etapów (MC 2631) oraz obszaru (MC 2632) badań podczas wytwarzania, specyfikacja ultradźwiękowa opiera się na wytycznych Section I (rozdziału 4000) kodu RCC-M. W rozdziale mówi się o badaniu całej objętości spoiny oraz strefy wpływu ciepła (SWC). Przygotowanie powierzchni powinno spełniać wytyczne podrozdziału MC 2141, gdzie wymaga się, aby chropowatość nie przekraczała Ra 6,3 µm.

Wytyczne dotyczące powierzchni spoin czołowych opisano w podrozdziale MC 2633.1. Jeśli jest wystarczający dostęp od strony zewnętrznej i wewnętrznej, spoina powinna być obrobiona mechanicznie. Odnośnie powierzchni spoin pachwinowych oraz rozgałęzionych ukazanych na rysunkach: MC 2633.2a; MC 22633.2b; MC 2633.2c, ściegi spoiny powinny być łagodnie połączone bez ostrych wgłębień i podtopień. W przypadku połączeń rozgałęzionych, grań powinna być usunięta poprzez obróbkę mechaniczną wg. szkicu MC 2633.2b i MC 2633.2.c.2.

Według podrozdziału MC 2634.1, warunki podczas skanowania złączy spawanych doczołowych powinny umożliwiać zbadanie całej objętości spoiny na tyle, na ile pozwala geometria oraz konstrukcyjne ograniczenia powierzchni. Badanie należy przeprowadzić z uwzględnieniem 14 stron wprowadzania (propagacji) fali UT uwzględniając wszystkie obszary na elemencie (z podziałem na propagacje dla 12 fal poprzecznych i 2 fal podłużnych) zgodnie ze szkicem MC 2634.1.a.1. W dalszej części podrozdziału MC 2634.1 szczegółowo opisano wymagania dotyczące zastosowanych

kątów wprowadzania wiązki, które nominalnie powinny różnić się o co najmniej 15° uwzględniając geometrie potencjalnej niezgodności oraz usytuowanie w spoinie (ukosowanie itp.) w celu dobrej penetracji stref wrażliwych. Należy pamiętać również o doborze odpowiednich kątów w celu przeprowadzenia całkowitej penetracji z uwzględnieniem grubości. W pkt. 1 opisano przypadki, gdzie ze względu na brak dostępu z jednej powierzchni, technikę opartą na jednym odbiciu wiązki od powierzchni przeciwległej należy zastąpić poprzez wykorzystanie wiązki bezpośredniej z przeciwległej ścianki z uwzględnieniem 12 kierunków wprowadzania (propagacji) fali. W uwadze (3) wg MC 2634.1 mowa jest o braku wymagań w stosunku do badania złączy o grubości 100 mm lub większej. W tym przypadku wykorzystuje się głowice ze stosunkowo małą strefą pola bliskiego bez odbicia od ścianki przeciwległej w celu pokrycia stref, które nie zostały w pełnym zakresie zbadane podczas właściwego skanowania.

W przypadku elementów platerowanych warstwą austenityczną lub z powłokami o dużej zawartości niklu, nie wymaga się wprowadzania wszystkich wiązek, tylko z wybranych, do których zaliczamy 1 do 4, 9 oraz 10. Dodatkowo strefy pola martwego mogą być zbadane z orientacji 1, 3, 9 i 10 wg szkicu MC 2634.1.a-1 przy użyciu głowic ze stosunkowo małym polem bliskim (strefa martwa). Kąt wprowadzania wiązki powinien być co najmniej równy największemu kątowi w stosunku do badani pierwotnego.

W uwadze (1) w podrozdziale MC 2634.1 zawarto informację, w jaki sposób należy przeprowadzić badanie dotyczące tzw. strefy martwej. Symulacje przedstawia szkic MC 2634.1.a.2. Głowice z krótkim polem bliskim (N) stosowane są w celu wykrywania i charakteryzowania wskazań tylko i wyłącznie w pierwotnej strefie użytych głowic (uwaga 2).

W przypadku użycia głowic prostych na fale podłużne należy zastosować wytyczne wg szkicu MC 2634.1.a.1 w stosunku od obydwóch powierzchni. W przypadku braku dostępu powierzchni skanowania lub gdy badane elementy są pokryte powłokami ze stali, nie wymaga się skanowania z kierunków 13 oraz 14. Wówczas skanuje się od dostępnej powierzchni przy użyciu kierunku propagacji 13. W odniesieniu do strefy martwej stosujemy odpowiednie głowice z krótkim polem bliskim z orientacji 13.

Badanie spoin pachwinowych i odgałęzień opisano w podrozdziale MC 2634.2. Badanie powinno umożliwiać skanowanie całej objętości spoiny z uwzględnieniem

dostępności powierzchni przesuwu. Stosuje się orientacje i kierunki wprowadzania wiązki wg szkiców MC 2634.2.a; MC 2634.2.b; MC 2634.2.c. Należy zastosować kąty wprowadzania wiązki w zakresie 35 do 70 stopni zgodnie z geometrią spoiny (ukosowanie itp.). Podczas badania dwoma głowicami na fale poprzeczne, kąty propagacji fali powinny różnić się o co najmniej 15°. W przypadku baraku dostępu od którejś z powierzchni, stosuje się tą samą zasadę, jak dla spoin czołowych wg uwagi (3). W przypadku elementów pokrytych powłoką ze stali austenitycznej lub powłoki ze stopu o dużej zawartości niklu nie jest wymagane badanie z dwóch stron. Należy wówczas przeprowadzić skanowanie głowicami na fale poprzeczne od powierzchni bez powłoki. Badanie głowicami prostymi przeprowadza się niezależnie od powierzchni. Zastosowanie badania na zasadzie jednego odbicia nie jest wymagane w stosunku do elementów spawanych o grubości równej lub większej od 150 mm.

W MC 2134.2 są opisane wzorce kalibracyjne. W podrozdziale tym mowa jest o wzorcach w kształcie równoległoboku w odniesieniu do złączy płaskich. W przypadku złączy obwodowych o krzywiznie w granicach 25 % należy użyć wzorca z odpowiednim profilem. Również wymiary przetworników brane są pod uwagę w stosunku do promienia krzywizny. Dla promienia równego lub mniejszego niż 100 mm należy zastosować głowice o największym wymiarze wynoszącym 15 mm lub mniejszym. W przypadku promieni równych lub mniejszych niż 250 mm, można użyć głowic o wymiarze przetwornika większym niż 15 mm.

Podobnie jak w poprzednich podrozdziałach, wymagana jest również odpowiednia szerokość wzorca, która powinna wynosić 60 mm. Dopuszcza się mniejsze szerokości wzorca w przypadku, kiedy mamy do czynienia z wzorcami dla grubości ≤ 100 mm, ale uwzględniając brak występowania efektu krawędziowego. Długość powinna być adekwatna do możliwości wykrywania wskazań w całej objętości badanego złącza.

Wzmocnienie należy ustawiać zgodnie z wytycznymi podrozdziału MC 2143 z użyciem odpowiednich reflektorów opisanych w podrozdziale MC 2635.2.

Identyfikacji oraz charakteryzacji wskazań należy wykonać zgodnie z wymaganiami podrozdziałów MC 2151.1 oraz MC 2151.2. Wskazania są charakteryzowane poprzez określenie pozycji, amplitudy, rozmiaru oraz określenie objętości wskazania (MC 2637). W odniesieniu do pozycji przyjmuje się jasno zdefiniowany układ współrzędnych. Amplitudę ocenia się zgodnie z opisem w podrozdziale MC 2151.1. Rozmiar wskazań oceniamy zgodnie podrozdziałem MC

2151.2. Wskazanie uznane jest za odizolowane jeśli jego rozmiar mierzony zgodnie z MC 2151.2 jest mniejszy niż 10 mm, wówczas gdy jego głębokość mierzona od powierzchni skanowania wynosi 100 mm lub mniej oraz 10%, jeśli głębokość jest większa niż 100 mm.

Objętościowa lub wolumetryczna charakterystyka wskazań powinna zostać przeprowadzona zgodnie z tzw. procedurą kaskadową podaną w dokumencie B francuskiego Instytutu Spawalnictwa opisanym w (US 319-21).

Stosuje się wartości progowe wymienione na rys. B 221-2 w zaleceniach IS US 319-21, wykorzystując echa referencyjne uzyskane dla wierconych otworów 2 mm.

Alternatywnie, wolumetryczna charakterystyka wskazań może być wykonana zgodnie z zaleceniami normy EN 1713 (PN-EN ISO 23279 [22]).

Grupowanie wskazań wg MC 2638 dotyczy podziału na wskazania pojedyncze i odosobnione. Dwa sygnały wykryte za pomocą dwóch różnych głowic (różnych kątów i orientacji) uznaje się za pochodzące z tego samego reflektora, gdy zostaną spełnione dwa warunki, odległość między środkiem ich występowania na powierzchni skanowania wynosi mniej niż 10 mm maksymalnej głębokości wskazania lub gdy odległość na przekroju złącza jest mniejsza niż 10 % maksymalnej głębokości.

Wskazania mogą być zgrupowane razem, jeśli są spełnione następujące dwa warunki. Odległość dzieląca ich rzuty obszaru na powierzchnię skanowania jest mniejsza lub równa 6 długościom mniejszego wskazania lub wymiar wynosi 20 mm oraz gdy odległość dzieląca wskazania (sygnał) na przekroju spoiny jest mniejsza lub równa 20 mm. Pod uwagę bierze się najwyższe wskazanie amplitudy z każdego oddzielnego wskazania. Poprzez łączenie najdalej od siebie oddalonych wskazań ustala się jego łączną wielkość. Reguła dotycząca łączenia wskazań ma odniesienie jedynie do wskazań ustawionych w linii.

W podrozdziale MC 2639 wskazuje się, że powierzchnie naprawiane w miejscu spawania należy poddać badaniu ultradźwiękowemu zgodnie z warunkami, jakie określono dla badania pierwotnego.

2.2.1.1.7 Ultradźwiękowe badanie spoin z napawaną warstwą buforową oraz powierzchni platerowanych i z warstwami typu „cladding” (MC 2700)

W niniejszym podrozdziale opisano wytyczne dotyczące badania elementów ze stali nierdzewnej spawanych z wykorzystaniem napawanych stref buforowych

o wysokiej zawartości niklu, jak również z powłokami zabezpieczającymi typu „cladding”, jak również powierzchni platerowanych o grubości powyżej 2 mm określonych szczegółowo w Section II lub Section I (rozdział 4000) kodu RCC-M.

W poszczególnych podpunktach przedstawiono wymagania dotyczące:

MC 2710 – Scope of the method

MC 2720 – General conditions

MC 2730 – Examination conditions

MC 2731 – Time of examination

MC 2732 – Test areas

MC 2733 – Preparation of surface

MC 2734 – Scanning methods

MC 2735 – Reference block

MC 2740 – Characterization of indications

MC 2750 – Examination of repaired areas

Ogólne warunki badania opierają się na wytycznych podrozdziału MC 2100. Czas badania wg MC 2731 elementów z powłokami zabezpieczającymi oraz zakres badań wg MC 2732 określono w Section II lub Section I, rozdziały 4000 kodu RCC-M.

Przygotowanie powierzchni do badania opisano w podrozdziale MC 2141.

Wytyczne przedstawione w podrozdziale MC 2733 dopuszczają występowanie nierówności ściegów lica napoiny tylko wówczas, kiedy otrzymany sygnał jest zadawalający w stosunku do szumów. W innym przypadku należy lico napoiny odpowiednio zeszlifować w celu dostosowania powierzchni. Sprzężenie uważa się za wystarczające, jeżeli występuje echo dna oraz szum tła są poniżej amplitudy właściwej. Złącza z napawaną strefą buforową oraz powierzchnie napawane powłokami ochronnymi powinny być w 100% objęte badaniem z dodatkowego obszaru materiału rodzimego w zakresie minimum 4 mm z każdej strony (MC 2734.1). Badanie należy przeprowadzić za pomocą głowic prostych na fale podłużne z dwoma przetwornikami w celu możliwości wykrycia niezgodności w powłokach napawanych, jak i również w samej spoinie oraz materiale rodzimym. Wg MC 2734.2 powłoki napawane należy zbadać od strony lica za pomocą głowic generujących fale podłużne umożliwiające skanowanie całej objętości powłoki.

Wymagane są wzorce referencyjne zgodne z wytycznymi podrozdziału MC2134.2 oraz opisanymi poniżej. Podrozdział MC 2735.1 opisuje geometrię wymaganych wzorców w odniesieniu do elementów z powłokami oraz spoin z napawanymi strefami buforowymi. Wg MC 2735.1 wzorce powinny mieć kształt w formie równoległoboku z napawanymi powłokami imitującymi takie same właściwości (rozmiar drutu, elektrod, liczba ściegów, rozmieszczenie, ustawienia oraz obróbka cieplna). Stan powierzchni oraz grubość wzorca powinna odpowiadać warunkom badanego elementu.

Wg MC 2735.2 otwory referencyjne (a) należy wykonać prostopadle do powierzchni powłoki napawanej (*cladding*) nawiercając od powierzchni nie napawanej do granicy wtopienia powłoki z materiałem rodzimym. Pozostałe otwory powinny być nawiercane do granicy wtopienia poszczególnych ściegów napoiny. Średnica reflektorów płaskodennych powinna wynosić 19 mm. Od boku próbek wzorcowych wymaga się nawiercenie otworów równoległych do powierzchni plateru zgodnie z granicami ściegów.

W przypadku spoin z napawaną warstwą buforową (b) otwory płaskodenne o średnicy 3,2 mm należy nawiercić prostopadle do strefy buforowej wtopienia z materiałem rodzimym. Otwory powinny być nawiercone na głębokość kolejno od 5 mm do 15 mm z umiejscowieniem co 5 mm. Ostatni otwór powinien być zlokalizowany na granicy strefy buforowej i materiału roboczego. Krawędzie otworów powinny być nie bliżej niż 20 mm od krawędzi. Przy powierzchniach platerowanych stosuje się wiązkę ultradźwiękową od powierzchni znajdującej się naprzeciwko powierzchni skanowania.

Identyfikacja wskazań wg MC 2741 dotycząca warstw napawanych typu „*cladding*” rozróżnia dwa rodzaje wskazań: wskazania objętościowe z jednym wyróżniającym się echem oraz wskazania ciągłe w przypadku ciągłego przyklejenia warstwy. Ocenę amplitudy wykonuje się zgodnie z wymaganiami podrozdziału MC 2151.1. Ocena amplitudy musi być zgodna z MC 2151.1. Wskazania objętościowe odnosi się do otworu płaskodennego. Wskazania ciągłe analizuje się poprzez porównanie z otworem płaskodennym o średnic 19 mm. W stosunku do oceny rozmiaru wskazania obowiązują wytyczne wg MC 2151.2. Grupowanie wskazań opisano w podrozdziale MC 2741.3. Dwa oddzielne wskazania można zgrupować wówczas, gdy zostały spełnione następujące warunki:

- odległość dzieląca wskazania rzucone na powierzchnię skanowania jest nie większa niż sześciokrotność długości najmniejszego wskazania lub 20 mm w przypadku wskazań punktowych,
- odległość wskazań w przekroju spoiny jest mniejsza lub równa 20 mm.

W przypadku grupy wskazań do oceny bierze się wskazanie o największej amplitudzie. Reguła dotyczy wskazań ustawionych w linii. Wg MC 2741.3.2 niezgodności charakteryzujące się przyklejeniem warstwy są grupowane, jeżeli odległość między nimi jest mniejsza lub równa 6-krotności długości mniejszego wskazania. Pod uwagę brana jest najwyższa amplituda oraz suma powierzchni wskazań grupowanych. Grupowaniu podlegają wyłącznie wskazania ustawione w linii.

Ocena amplitudowa w stosunku do wskazań wykrytych w strefie napoin buforowych przeprowadzana jest zgodnie z wytycznymi podrozdziału MC 2151.1. W podrozdziale MC 2151.2 opisano wymagania dotyczące oceny rozmiaru wskazań. W odniesieniu do grupowania tego typu wskazań należy odnieść się do wymagań podrozdziału MC 2638. Przy powierzchniach platerowanych ocenę wskazania należy scharakteryzować zgodnie z MC 2152.1. Brak przylegania zdefiniowane jest tam jako $R > 8$. W przypadku oceny rozmiaru należy odnieść wyniki do wymagań podrozdziału MC 2152.2, przyjmując wytyczne $R = 4$.

W przypadku badań miejsc naprawianych należy przeprowadzić badanie na takich samych warunkach, jak przy badaniu pierwotnym.

2.2.1.2 Badania radiograficzne (MC 3000)

Drugą metodą badań objętościowych, poza metodą ultradźwiękową (UT) są niewątpliwie badania radiograficzne (RT), których największą zaletą jest możliwość badania elementów cienkościennych, w tym stali austenitycznych i nierdzewnych, ale także odlewów o zmiennych grubościach ścianek i skomplikowanych kształtach. Radiografia stosowana od lat w badaniach NDT nadaje się idealnie do wykrywania niezgodności, takich jak pustki, pęcherz, jamy skurczowe, czy nawet wtrącenia materiałów o wyższej lub niższej gęstości. Niezgodności płaskie, takiej jak pęknięcia, przyklejania lub braki przetopu są z reguły wykrywane badanie RTG, jednak istnieje możliwość, iż nie uda się ich wykryć w związku z niewłaściwymi warunkami

przeprowadzenia badań. W tym celu ważne jest zadbanie o aspekty jakościowe podczas prac spawalniczych tak, aby w efekcie otrzymać złącze spawane o minimalnej liczbie niezgodności.

Należy także pamiętać, że prowadzenie badań radiograficznych wymaga zawsze odpowiedniego przygotowania, ale także zaplanowania i założenia czasu na tego typu badania. W tym celu bardzo ważne jest koordynowanie wszelkich prac na budowach obiektów energetycznych tak, aby badania odbywały się w obszarze, w którym nie są prowadzone żadne inne prace wykonawcze. Z tego powodu większość badań radiograficznych przeprowadza się w nocy w celu ograniczenia liczby osób postronnych, które mogłyby zostać narażone na oddziaływanie promieniowania jonizującego.

We francuskim przemyśle energetycznym badania radiograficzne znajdują od wielu lat duże zastosowanie podczas inwestycji i remontów nowych reaktorów jądrowych. W tym celu bardzo ważne jest zrozumienie rozdziału **MC 3000 „Radiographic Examination”** dotyczącego specyfiki badań radiograficznych, który składa się z 3 podrozdziałów:

- **MC 3100** „General”
- **MC 3200** „Radiographic Examination Of Steel Castings”
- **MC 3300** „Radiographic Examination Of Welds”

Podrozdział **MC 3100 „General”** przedstawia informacje począwszy od kwalifikacji personelu (MC 3121), doboru sprzętu i technik badawczych (MC 3130), opisu wymagań jakościowych w zakresie wzorców i zacierzenia radiogramu (MC 3138) po etap końcowy obejmujący dokumentację z badań (MC 3170).

- **MC 3110** „Scope”
- **MC 3120** „General Conditions”
- **MC 3130** „Radiographic Examination Equipment”
- **MC 3140** „Examination Conditions”
- **MC 2150** „Processing And Examination Of Radiographic Films”
- **MC 3160** „Radiographic Film Quality”
- **MC 3170** „Examination Report”

Podrozdział MC 3122 kodu RCC-M wskazuje, że prowadzenie badań RT powinno być realizowane w oparciu o procedury i instrukcję, których treść musi się pokrywać z ww. dokumentacją, jednak w każdym wypadku musi być przedstawiona do zatwierdzenia jednostce notyfikowanej i klientowi końcowemu. Całość dokumentacji wykonawczej musi zawierać minimalne wymagania formalne i dodatkowe, które w całości pozwolą na opisanie metodyki badań radiograficznych. Wykonanie badań radiograficznych wymaga udowodnienia spełnienia wymagań jakościowych i powtarzalności stosowanej techniki badawczej. W tym celu należy dokonać doboru źródła w zależności od grubości złącza (MC 3142), typu badanego elementu oraz właściwej czułości błony radiograficznej (MC 3131) i grubości okładek (MC 3133).

Kolejnym aspektem, o którym nie można zapomnieć, to dobór techniki i warunków badania, w tym minimalnej odległości obiekt – błona wraz z uwzględnieniem nieostrości geometrycznej, mającej istotny wpływ na poziom wykrywalności (MC 3143). Zdefiniowano dwie podstawowe techniki badania RT (MC 3144) przez jedną lub dwie ścianki, a otrzymany obraz radiograficznych jako pojedynczy lub podwójny. W przepisach RCC-M ujęto także zapisy dotyczące wskaźników jakości (MC 3145), warunków odbioru filmów w zakresie zaczerwienia (MC 3138) oraz zadymienia błon (MC 3152), a nawet warunków przechowywania filmów (MC 3139). Dopiero poprawnie wykonany film, po weryfikacji oznaczenia i wymogów formalnych może zostać poddany ocenie zgodnie z przyjętymi poziomami akceptacji.

W dalszej części omówione zostały badania odlewów staliwnych wg MC 3200 „Radiographic Examination Of Steel Castings” w przypadku, gdy takie badania są wymagane przez Section I oraz/lub Section I (rozdział 4000).

- **MC 3210** Scope
- **MC 3220** General Conditions
- **MC 3230** Examination Conditions
- **MC 3240** Areas Radiographed
- **MC 3250** Examination Of Weld Repaired Zones

W przepisach został opisany podział odlewów w zależności od chropowatości powierzchni (MC 3235.4). Rozróżnia się odlewy specjalnego przeznaczenia oraz części uniwersalne. Dobór warunków badania jest jednakowy zarówno dla odlewów, jak i złączy spawanych, który musi zagwarantować spełnienie wymagań jakościowych. W przypadku badań radiograficznych odlewów należy pamiętać o tym, że są obszary, których badanie jest utrudnione (MC 3240), a otrzymane wyniki umożliwiają ocenę w ograniczonym zakresie. W tym celu dobór techniki i ilości pozycji badanych, wpłyną zasadniczo na pewność oceny i zagwarantują, że odlew będzie pozbawiony niedopuszczalnych wad.

W przypadku badania RT złączy spawanych, wykonuje się je w zgodnie z wymaganiami opisanymi w rozdziale MC 3300 „Radiographic Examination Of Welds”.

- **MC 3310** Scope
- **MC 3311** General Conditions
- **MC 3312** Examination Conditions
- **MC 3313** Identification Of Test Areas

W rozdziale tym opisano dobór technik badania w zależności od rodzaju złącza spawanego, jego grubości i średnicy rur lub zbiorników (MC 3312.5). W zależności od kształtu elementu, jak spoina doczołowa, ułożenie wskaźników obrazu jest jasno sprecyzowane (MC 3312.6). Kod RCC-M omawia także przygotowanie powierzchni do badań (MC 3312.3), w tym szlifowanie spoin tak, aby stan przejścia między spoiną a materiałem był łagodny.

2.2.1.3 Badania penetracyjne (MC 4000)

W kolejnym rozdziale MC 4000 „LIQUID PENETRANT EXAMINATION” poruszono metodologię badań penetracyjnych i ogólne zasady, które obowiązują podczas ich prowadzenia. Badania penetracyjne stosowane są zawsze na etapie produkcji dla materiałów nie ferromagnetycznych takich jak: stal austenityczna, aluminium i jego stopów. Bardzo często z powodzeniem badania PT stosowane są także do badań stali węglowych, zwłaszcza w przypadku weryfikacji, gdy np. wskazania w badaniach magnetycznych nie dają jednoznacznego wyniku.

- **MC 4100** General
- **MC 4200** Control Method

Techniki badań penetracyjnych powinny być zawsze potwierdzone zgodnie z wymaganiami ogólnymi wg MC 4100 „General”, jednak w przypadku stosowania innych technik badania należy udowodnić, że ich stosowanie pozwala na osiągnięcie tej samej czułości lub wyższej niż technika uznana.

- **MC 4110** Scope
- **MC 4120** General Conditions

Podobnie jak w przypadku innych metod badań NDT, w omawianym podrozdziale są zawarte zapisy dotyczące kwalifikacji i certyfikacji personelu badań nieniszczących (MC 4121), w tym także zapis o dokumentacji, która powinna być nieodłącznym elementem podczas kontroli badanego elementu przy badaniach penetracyjnych (MC 4122).

W przypadku kontroli czułości metody badań PT zapisy podrozdziału MC 4200 „Control Method” odnoszą się bezpośrednio do norm europejskich, precyzując zakres badania w zależności od temperatury i chropowatości powierzchni (MC 4122). Strona wykonująca badania może wybrać technikę badania: między barwną lub w świetle UV, jeśli nie jest to narzucone dokumentacją techniczną lub wymaganiami klienta. Stosowanie techniki UV ma miejsce w przypadku elementów precyzyjnych lub weryfikowanych po obróbce mechanicznej, co przekłada się na technikę o najwyższej czułości wykrywalności względem wszystkich metod badań NDT. Należy jednak pamiętać, iż w technice UV mamy 4 klasy czułości, a jej wybór musi uwzględniać stan chropowatości powierzchni, tak aby dobrać ją odpowiednio, a otrzymane wyniki uznać za wiarygodne i właściwe. W przypadku badania złączy spawanych, odlewów o znacznej chropowatości stosuje się odpowiednie warunki badania. Temperatura badanego obiektu także wywiera ogromny wpływ na poziom wykrywalności, co jest związane z lepkością cieczy: im jest ona niższa, tym czas penetrowania i wywołania należy odpowiednio wydłużyć, tak aby móc zagwarantować poprawność stosowania w/w metody.

2.2.1.4 Badania magnetyczno-proszkowe (MC 5000)

2.2.1.4.1 Wymagania ogólne (MC 5100)

W podrozdziale MC 5100 określono ogólne warunki badań magnetyczno-proszkowych za pomocą techniki nanoszenia środka magnetycznego podczas, gdy pole magnetyczne jest indukowane przez cewkę lub za pomocą przepływu prądu elektrycznego. W poszczególnych podrozdziałach rozdziału MC 5000 umieszczono informacje dotyczące:

MC 5100 – General

MC 5110 – Scope

MC 5120 – General conditions

MC 5130 – Magnetic particle examination equipment

MC 5140 – Conditions for performance of examination

MC 5150 – Interpretation of indications

MC 5160 – Cleaning

MC 5170 – Demagnetization

MC 5180 – Test report

Definicje odnoszą się do warunków określonych w podrozdziałach: MC 5137, MC 5144, MC 5145, MC 5148, MC 5231, MC 5232, MC 5331, MC 5332. Dopuszcza się zastosowanie innych technik, ale wyniki muszą być przynajmniej takie same, jak w opisanych metodach.

Podobnie jak w innych opisanych metodach badań NDT, personel badający powinien być kwalifikowany (MC 5121) oraz certyfikowany zgodnie z wytycznymi rozdziału MC 8000. W dalszej części dokumentu zdefiniowano wymagania dotyczące dokumentów związanych z badaniem magnetycznym. Każde badanie magnetyczno-proszkowe powinno być zidentyfikowane według dostarczonych dokumentów w postaci procedur, rysunków, szkiców itp. Dokumenty te muszą zawierać informacje opisane szczegółowo w podrozdziale MC 5122. Wyżej wymieniony podrozdział wyszczególnia informacje na temat badanego obiektu, odniesienia w stosunku do odpowiednich rozdziałów kodu, użytego sprzętu badawczego, warunków badania, zastosowanych technik badania, środków magnetycznych oraz samych kryteriów badania.

W dalszej części kodu RCC-M, podrozdział MC 5130 opisuje rodzaj stosowanych technik badań magnetyczno-proszkowych. Jednym z opisywanych urządzeń jest tak zwany defektoskop prądowy do badania elementów poprzez wykorzystanie bezpośredniego przepływu prądu (MC 5131). Do magnesowania stosuje się defektoskopy magnetyczno-prądowe, które potrafią generować wysokie natężenia strumienia przy jednocześnie niskim prądzie. Podrozdział podaje rodzaje prądu oraz elementy obsługi, które powinny być zainstalowane w używanym defektoskopie (np. amperomierz, włącznik). Specyfika badania polem magnetycznym poprzez przepływ prądu wymaga zastosowanie specjalnych elektrod, które powinny posiadać dobre właściwości przewodności elektrycznej i cieplnej. Można zastosować specjalne nakładki ze specjalnych stopów wg wymagań podrozdziału MC 5146.

Pozostałe defektoskopy używane do badań elementów w przemyśle jądrowym mogą być oparte na bezpośrednim przepływie strumienia magnetycznego generowanego przez aparaty jarzmowe (YOKE) z nastawnymi nóżkami dopasowującymi oraz za pomocą defektoskopów stałoprądowych lub cewki nawiniętej na badany przedmiot (MC 5132). Urządzenia mogą być zasilane prądem przemiennym (AC) lub stałym (DC). Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie badania wykorzystującego różne metody magnesowania, co zdecydowanie korzystnie wpływa na jakość oraz wydajność badania (MC 5133).

W podrozdziale MC 5134 niniejszego kodu opisano wymagania w stosunku do sprawdzania urządzeń amperomierzem co 6 miesięcy zgodnie z warunkami określonymi pisemnie. W stosunku do aparatury mierniczej (luksomierz, radiometr, miernik pola magnetycznego), według podrozdziału MC 5134.2 wymaga się przeprowadzenie kalibracji raz na 12 miesięcy zgodnie z zapisanymi warunkami.

Kolejnym aspektem wymagań kodu jest wykorzystanie zawiesin magnetycznych (MC 5135). Specyfikacja dopuszcza dwa rodzaje środków magnetycznych, do których zalicza się środki suche na bazie proszków wytwarzane z tlenku ferromagnetycznego o barwie naturalnej lub barwione oraz z pigmentem fluorescencyjnym (MC 5135.1). Kolejnym środkiem magnetycznym jest zawiesina na bazie roztworu nafty lub wody (MC 5135.2), która naturalnie zawiera drobniejsze cząstki niż te, które są używane w proszkach suchych. Do środków na bazie wody wymaga się zastosowanie tak zwanych inhibitorów korozji oraz zalecane jest użycie środków zwilżających. Stężenie cząstek magnetycznych widzialnych w świetle białym powinno być utrzymywane w granicach zalecane przez producenta i we wszystkich

przypadkach stosunek powinny być wyższy niż 2 g / l w produktach nowych. Dla gotowych zawiesin, stężenie, mierzone przy użyciu próbki wg ASTM, powinno wynosić od 12 do 24 ml / l.

Dostępne są także fluorescencyjne zawiesiny, dzięki którym uzyskujemy jeszcze lepszą wykrywalność przy użyciu lampy fluorescencyjnej. W tym przypadku wymagane stężenie cząstek może być niższe: minimalna wartość 0,5 g / l w przypadku produktów nowych i pomiędzy 1 a 5 ml / l dla zawiesin gotowych zmierzone przy użyciu próbki testowej ASTM.

Według podrozdziału MC 5135.3, środki należy kontrolować za pomocą wskaźników pola magnetycznego, w których umieszczono specjalne nacięcia o różnym gradiencie oraz głębokości, co zapewnia określenie jakości zawiesiny w warunkach narzuconych przez wykorzystywaną aparaturę. W podrozdziale MC 5136 opisano wytyczne dotyczące urządzeń do automatycznego nanoszenia zawiesiny magnetycznej. Urządzenie powinno w sposób niezakłócony umożliwić równomierne nanoszenie zawiesiny.

Kolejne podrozdziały kodu RCC-M zawierają szczegółowe informacje dotyczące wymagań dotyczących pola magnetycznego oraz kontroli parametrów pola magnetycznego (MC 5137). Badanie stycznego natężenia pola magnetycznego należy przeprowadzać na elemencie badanym w kierunku ustawienia sondy zgodnie z oznaczeniem producenta w odpowiednim miejscu umożliwiającym wiarygodny pomiar (MC 5137.1). Podczas badania małych elementów można wykorzystać próbkę odniesienia zawierającą naturalne lub sztuczne wskazania (MC 5137.2). W przypadku wykorzystania techniki bezpośredniego przepływu prądu przez cały badany element wartość pola magnetycznego należy wyliczyć ze standardowego wzoru (MC 5137.3). Podczas badania poprzez użycie przenośnych styków elektrycznych zaleca się stosowanie parametrów wg tabeli (MC 5231) w przypadku badania poprzez bezpośredni przepływ prądu (technika prądowa) zaleca się ustawienie odległości pomiędzy biegunami wg tabl. MC 5332.2b.

Czas (MC 5141) oraz obszary badań (MC 5142) podczas wytwarzania opisano szczegółowo w wytycznych Section II oraz/lub Section I (rozdział 4000) kodu RCC-M. W odniesieniu do przygotowania powierzchni podrozdział MC 5143 standardowo wymaga, aby badany element był czysty oraz wolny od nierównomierności powierzchni, które mogłyby wpływać na jednorodne rozprowadzenie zawiesiny

magnetycznej. W przypadku badania w normalnym oświetleniu można użyć farby podkładowej w celu poprawy kontrastu. Po badaniu podkład powinien być usunięty.

Następnym ważnym elementem badań magnetyczno-proszkowych jest wybór odpowiedniej metody magnesowania (MC 5144), który zależy od geometrii, stanu oraz klasy badanego elementu przyjmując rodzaj oraz orientacje wykrywanych wskazań. W przypadku, gdy badany element jest narażony na pękanie, należy zastosować metodę przepływu strumienia magnetycznego (jarzmo). Oprócz wymagań powyższych dobór metody zależy również od temperatury badanego elementu który podany jest w tabeli MC 5144.2.

Ważnym aspektem wymagań kodu RCC-M jest etap kontroli warunków magnesowania (MC 5145). Na badanym obszarze wymagane jest natężenie pola w zakresie 2400 do 4000 A/m. Kontrola może być przeprowadzona za pomocą wzorców odniesienia typu ASNOR, BERTHOLD, ASME. Wymienione wzorce odniesienia należą do szybkich metod kontroli natężenia pola magnetycznego i dlatego w przepisach stwierdza się, że nie można polegać tylko na nich, z wyjątkiem opisanym w podrozdziale MC 5137.4.

W podrozdziale MC 5146 opisano specjalne środki ostrożności, w których zwrócono szczególną uwagę m. in. na długość przewodów oraz czystość elementów łączących. Elektrody powinny być odpowiednio duże i wykonane z materiału, który nie wpływa na przegrzanie w punktach styczności z badanym elementem. W miarę możliwości elektrody powinny być przykładane pod kątem prostym do badanego elementu. Miejsca styku elektrod z badanym elementem należy poddać kontroli wizualnej po badaniu. W przypadku wątpliwości z oględzin wizualnych należy te miejsca sprawdzić poprzez badanie powierzchniowe techniką strumieniową (jarzmo) lub poprzez badanie penetracyjne. Dodatkowe badanie nie jest wymagane podczas spawania.

Podczas badania zawieszinę magnetyczną należy nanieść natychmiast po włączeniu magnesowania (MC 5147). Magnesowanie powinno trwać minimum 3 sekundy od czasu nałożenia zawiesziny. W przypadku wykorzystania proszków magnetycznych suchych, kontrolę należy przeprowadzić natychmiast po magnesowaniu. Przy zastosowaniu zawieszin należy kontrole przeprowadzać na bieżąco oraz po procesie magnesowania (MC 5148). Podczas badania w świetle widzialnym wymagane jest minimum 500 lx na badanej powierzchni. W przypadku zawieszin fluorescencyjnych badanie należy przeprowadzić w zaciemnionym miejscu

przy użyciu lampy ze światłem ultrafioletowym pamiętając o rozgrzaniu lampy. Czas rozgrzewania to minimum 5 minut. Ważnym aspektem jest również adaptacja wzroku do warunków zaciemnionych. Wymagane jest minimum 10 W/m^2 natężenia światła ultrafioletowego z odległości nie mniejszej niż 30 cm.

Interpretacja wskazań opiera się o wymagania podrozdziału MC 5150. Wskazanie definiuje się jako nagromadzenie cząstek ferromagnetycznych w miejscu nieciągłości materiału. Ważnym aspektem jest umiejętność właściwej oceny wskazań tak zwanych pozornych, które mogą się wiązać z nieregularną geometrią elementu, nadmierną chropowatością, dużą zmiennością gęstości materiału czy zastosowaniem zbyt mocnego natężenia pola magnetycznego, jak również występowania tak zwanego magnetyzmu szczątkowego. Każdorazowo w przypadku wątpliwości badanie należy powtórzyć. Wskazania mogą mieć charakter liniowy lub nieliniowy. Wskazanie jest klasyfikowane jako "liniowe", gdy jego największy wymiar jest większy niż trzykrotność jego najmniejszego wymiaru. Inne wskazania wówczas są klasyfikowane jako "nieliniowe".

W dalszej części przepisów opisano wymagania dotyczące czyszczenia elementu po badaniach (MC 5160), jak również samego procesu rozmagnesowania (MC 5170). Element należy rozmagnesować, gdy jest to wymagane przez wymagania Section II i/lub rozdziału 4000 oraz jeśli jest to wymagane w podrozdziałach Section I przepisów RCC-M.

Szczegółowe dane, które należy zamieścić w protokole podano w podrozdziale MC 5180.

2.2.1.4.2 Badania magnetyczno-proszkowe za pomocą techniki strumieniowej z wykorzystaniem ręcznych defektoskopów jarzmowych (typu „yoke”) (MC 5200)

W podrozdziale opisano główne zagadnienia związane z wykorzystaniem najpopularniejszej metody badań magnetyczno-proszkowych za pomocą ręcznych defektoskopów jarzmowych z wykorzystaniem techniki strumienia magnetycznego.

Podrozdział w poszczególnych podrozdziałach opisuje wymagania dotyczące:

- **MC 5210** – Scope of method
- **MC 5220** – General conditions
- **MC 5230** – Examination conditions

Zakres stosowania wymagań opisanych w podrozdziale MC 5210 dotyczy badań magnetyczno-proszkowych za pomocą strumienia magnetycznego generowanego przez jarzmo, jeśli zostały określone w Section II oraz/lub Section I (rozdział 4000) przepisów RCC-M.

Obowiązują ogólne warunki badania określone w podrozdziale MC 5100 z uwzględnieniem wymagań przedstawionych poniżej. W przepisach ujęto warunki przeprowadzania badań magnetyczno-proszkowych (MC 5231). Wymagania dotyczące natężenia pola magnetycznego opisano w tabeli MC 5231. W podrozdziale MC 5232 przedstawiono schemat badania według siatki, która ma umożliwić badanie obszaru z uwzględnieniem zakładek. Szczegółowo określono również zagadnienia związane z badaniem samego rowka spawalniczego, jak i również spoin z uwzględnieniem uwag według punkt (1).

Wymaga się aby elektrody były ustawiane w taki sposób, aby umożliwić namagnesowanie elementu w dwóch prostopadłych kierunkach z maksymalnym odchyleniem o 30°. Odległość pomiędzy jarzmami elektrod powinna mieścić się w zakresie 75 do 250 mm. Na szkicach w MC 5232.1 i MC 5232.2 przedstawiono schemat prawidłowego ułożenia elektrod. Zakładki powinny wynosić minimum 25 mm.

2.2.1.4.3 Badania magnetyczno-proszkowe za pomocą techniki strumieniowej z wykorzystaniem urządzeń typu cewka (MC 5300)

W niniejszym podrozdziale opisano główne zagadnienia związane z wykorzystaniem metody badań magnetyczno-proszkowych za pomocą różnego rodzaju cewek okalających, jak i również wykorzystania przewodu lub rdzenia wewnętrznego.

Podrozdział MC 5300 opisuje następujące zagadnienia:

- **MC 5310** – Scope of method
- **MC 5320** – General conditions
- **MC 5330** – Examination conditions

Zakres stosowania wymagań zawartych w podrozdziale MC 5310 obejmuje badania magnetyczno-proszkowe za pomocą strumienia magnetycznego generowanego przez cewkę, określone w Section II oraz/lub Section I (rozdział 4000)

przepisów RCC-M. Podobnie jak w przepisach dotyczących badania jarzmem, dla wyżej wymienionej metody obowiązują ogólne warunki badania określone w podrozdziale MC 5100 z uwzględnionymi wymaganiami specyficznymi przedstawionymi poniżej.

Warunki badania opisano w podrozdziale MC 5330. Dopuszcza się zastosowanie technik magnesowania opartych na cewkach nawiniętych na dany element lub odcinek badanej części wg szkicu MC 5331.1.a, przysyłanie prądu przez przewód zwinięty zamknięty wykorzystywany przy badaniu na przykład otworów wg szkicu MC 5331.1.b oraz przez przepływ prądu przez przewód przewleczony przez np. otwór wg szkicu MC 5331.1.c. Dopuszcza się również wykorzystanie przepływu magnetycznego wytworzonego za pomocą przenośnego lub stałego jarzma elektromagnetycznego wg szkicu MC 5331.1.d. Wymagania w stosunku do warunków związanych z wymaganym natężeniem pola magnetycznego określono w podrozdziałach MC 5332.1 i MC 5331.1. Natężenie prądu dobiera się zgodnie z wymiarami cewki (długość i średnica), które dobierane są w celu zapewnienia odpowiedniego obszaru magnesowania na elemencie określonym wg podrozdziału MC 5145. Zwoje cewki należy rozmieścić w równych odstępach jak najbliżej siebie. Każdy obszar należy zbadać z uwzględnieniem magnesowania elementu w dwóch kierunkach pod kątem 90° strumienia magnetycznego w badanym elemencie. Podczas drugiego badania można wykorzystać inne techniki magnesowania. W przypadku zastosowania cewek zewnętrznych (MC 5331.1.a), obszar poddawany badaniu podczas każdej operacji magnesowania powinien rozciągać się maksymalnie do 100 mm z każdej strony cewki lub solenoidu.

Przepisy określają również dokładnie wymagania w stosunku do mocy stosowanego elektromagnesu (MC 5332.2). Ciężar, jaki powinien podnosić elektromagnes, to co najmniej 4,5 kg dla pola magnetycznego generowanego przez prąd przemienny AC oraz 18 kg w przypadku wykorzystania pola magnetycznego generowanego przez prąd stały DC. W obydwóch przypadkach pomiary należy wykonać przy maksymalnym rozstawie biegunów. W dalszej części przepisów szczegółowo określa się tak zwaną siatkę badania, czyli rozstaw biegunów podczas badania w celu uwzględnienia zakładek. Szczegółowo określono również zagadnienia związane z badaniem samego rowka spawalniczego oraz spoin z uwzględnieniem uwag według punkt (1).

Wymaga się, aby elektrody ustawić w taki sposób, żeby umożliwić namagnesowanie elementu w dwóch prostopadłych kierunkach z maksymalnym odchyleniem o 30°. Odległość między biegunami powinna mieścić się w zakresie od 75 do 250 mm. Szkice MC 5332.2.b.1 i MC 5332.2.b.2 pokazują dwa przykłady usytuowania biegunów w odniesieniu do danego wzoru siatki powierzchniowej. W obszarach oznaczonych siatką wymaga się, aby odczyty z próbek odniesienia były zgodne z podrozdziałem MC 5137.4. W przypadku stosowania drążka z elastycznymi przegubami, odległość między krawędziami tych stref i samych biegunów nie może być mniejsza niż 25 mm. Szerokość tych stref powinna wynosić około połowy odległości dzielącej bieguny.

2.2.1.5 Badania prądami wirowymi wyrobów rurowych (MC 6000)

W podrozdziale MC 6100 „General” określono ogólne warunki badań rur wymienników. W poszczególnych podrozdziałach opisano informacje dotyczące:

- **MC 6110** – Scope
- **MC 6120** – General conditions
- **MC 6130** – Eddy current examination equipment
- **MC 6140** – Examination conditio
- **MC 6150** – Examination report

Podrozdział MC 6110 określa ogólne warunki określone w Section II przepisów RCC-M dla rur o średnicy zewnętrznej do 65 mm oraz grubości w przedziale od $\geq 0,75$ mm do < 3 mm.

Wymagania w stosunku do personelu badającego (MC 6121) powinny być zgodne wytycznymi rozdziału MC 8000, w którym opisano wymagane dokumenty, procedury oraz raporty, jak również odpowiedni proces wdrożenia.

W podrozdziale MC 6122 opisano wymagania stawiane w stosunku do badań wiropądowych rur wymienników. Wymagane dokumenty powinny zawierać informacje wymienione w odpowiednich podrozdziałach przepisów RCC-M. Informacje te przedstawiono poniżej:

- rodzaj badanego przedmiotu, jego wymiary i rodzaj użytego materiału,
- odniesienie do odpowiednich rozdziałów RCC-M i innych stosownych dokumentów,
- sprzęt badawczy:
 - urządzenie wiroprądowe,
 - sondy wiroprądowe,
 - zautomatyzowane urządzenia badające,
 - rejestrator badań,
 - próbka referencyjna rury itp.
- warunki badania: obszar badania oraz stan powierzchni,
- procedury badawcze:
 - częstotliwość prądu indukcyjnego,
 - ustawienie fazy,
- kryteria akceptacyjne.

W stosunku do wyposażenia badawczego (MC 6131) przepisy wymagają zastosowania urządzeń, które generują prąd harmoniczny o częstotliwości w zakresie od 1 do 100 kHz w cewce (sondzie) testowej (cewka wewnętrzna lub cewka okalające). Obwód powinien działać w trybie różnicowym, aparatura musi być wyposażona w kontrolę czułości sondy oraz możliwość zobrazowania oraz ustawienia fazy z zakresie 0° do 360°. Wymagana jest również rejestracja wyników w formie (MOD, VCD, DVD), urządzenie może być wyposażone również w układ nasycenia magnetycznego.

Według podrozdziału MC 6132, sondy „cewki” wiroprądowe (cewki wewnętrzne oraz okalające do badania powierzchni zewnętrznej) wykorzystywane do badań rur muszą posiadać w zestawie jeden lub więcej cewek różnicowych. W dalszej części przepisów jest również mowa zautomatyzowanych urządzeniach wiroprądowych (MC 6133), które powinny umożliwiać ruch sondy albo elementu badanego o stałej prędkości (+10%). Urządzenie obejmuje automatyczny system sortujący lub urządzenie rejestrujące. Podczas używania rejestratorów musi być zawsze możliwość korelowanie zarejestrowanego wskazania z jego położeniem na rurze.

Ważnym aspektem badań wiroprądowych rur jest przygotowanie odpowiednich próbek (wzorców rurowych) (MC 6134). Wymaga się, aby próbki odniesienia były wykonane z takiego samego materiału oraz o takiej samej średnicy i grubości ścianki, jak również powinno uwzględnić się te same procesy metalurgiczne. Cylindryczne otwory referencyjne nawierca się promieniowo. Liczba, położenie oraz wielkość tych

otworów wymienione są w tabeli MC 6134.1 dla badania standardowych stopów oraz w tabeli MC 6134.2 dla rurociągów parowych ze stali nierdzewnej lub o wysokiej zawartości niklu. Wymagania są stawiane również w stosunku do tolerancji średnicy oraz głębokości otworków, która powinna się mieścić w zakresie $\pm 5\%$. Odpowiedni kształt otworków powinny być sprawdzone za pomocą badań dodatkowych np. poprzez wykonanie replik.

W stosunku do próbek referencyjnych rur (MC 6134.1) wymaga się, aby zawierała minimum trzy otwory nawiercone w ściance rury promieniowo w płaszczyznach co 120 stopni w odległości minimum 300 mm od siebie. Maksymalne średnice otworów określono szczegółowo w zależności od grubości ścianki w tabeli MC 6134.1.

Inne wymagania stosuje się do rur wykonanych ze stali nierdzewnej oraz stopów wysokoniklowych stosowanych w wytwornicach pary głównego obiegu (MC 6134.2). Próbką wzorcowa powinna zawierać pojedynczy otwór z płaskim dnem nawiercony od zewnętrznej strony rury umiejscowiony co najmniej 300 mm od krawędzi rury, a jego średnica powinna być równa jego głębokości. Maksymalne średnice otworów w zależności od grubości ścianki podano w tabeli MC 6134.2.

W stosunku do rur referencyjnych wymienników ciepła (MC 6134.3) (z wyjątkiem rurociągów parowych generatora) wymaga się wykonanie trzech otworów rozmieszczonych na obwodzie co 120 stopni względem siebie w odległości minimum 300 mm od siebie oraz krawędzi rury. Maksymalne średnice podano w tabeli MC 6134.3.

W podrozdziale MC 6140 opisano wymagania dotyczące wykonywania badań. W stosunku do etapu badania podczas produkcji (MC 6141) oraz obszarów objętych badaniem rur (MC 6142), określono szczegółowo w Section II przepisów RCC-M. W przypadku zastosowania urządzeń zautomatyzowanych mowa jest o określeniu długości materiału, który nie jest poddawany badaniu wg niniejszego podrozdziału.

Przygotowanie powierzchni badanych rur opisano w podrozdziale MC 6143, gdzie wymaga się, aby rury były wolne od farby oraz luźnej zgorzeliny lub innych zanieczyszczeń oraz powierzchniowych nierówności, które mogłyby wpływać negatywnie na interpretację wyników badania poprzez zaburzenie przepływu prądów wirowych lub utrudniać fizyczny przesuw sondy. Maksymalna wymagana chropowatość powierzchni R_a wynosi $6,3 \mu\text{m}$ powinna być określona zgodnie

z podrozdziałem MC 7200. W przypadku niektórych zastosowań przepisów określonych w Section II może być wymagana mniejsza chropowatość.

Wymagania stawiane w stosunku do ustawień aparatury wiroprądowej opisano w podrozdziale MC 6144. Podrozdział ten odnosi się do ustawień częstotliwości w stosunku do grubości badanej ścianki oraz do ustawienia odpowiedniej w celu uzyskania optymalnego stosunku sygnału do szumów. Czułość ustawia się za pomocą otworu referencyjnego o najmniejszym sygnale amplitudowym. Warunki muszą być takie same podczas kalibracji oraz badania właściwego rury.

Ustawienia parametrów aparatury (MC 6145) należy kontrolować na początku oraz na końcu każdej zmiany, jak również co najmniej raz na dwie godziny. Wynik kontrolny uważa się za zadowalający, jeśli nie stwierdzono przesunięcia amplitudy o więcej niż $\pm 10\%$. Jeżeli stwierdzi się przekroczenie tolerancji należy bezwzględnie poddać ponownemu badaniu rury na ustawieniach skorygowanych.

Szczegółowe dane, które należy umieścić w protokole podano w podrozdziale MC 6150.

2.2.1.6 Inne metody badań (MC 7000)

2.2.1.6.1 Badania wizualne (MC 7100)

W podrozdziale MC 7100 określono ogólne warunki badań wizualnych. W poszczególnych podrozdziałach umieszczono informacje dotyczące:

- **MC 7110** – Scope
- **MC 7120** – General conditions
- **MC 7130** – Examination equipment
- **MC 7140** – Examination condition
- **MC 7150** – Examination report

Omawiany podrozdział określa ogólne warunki związane z badaniami wizualnymi powierzchni określonymi w Section II oraz/lub Section I (rozdział 4000) przepisów RCC-M. Warunki dotyczące badanej powierzchni oraz metody określania

należy zapewnić zgodnie z wytycznymi podrozdziałów: MC 2100, MC 3100, MC 4100, MC 5100, które muszą być spełnione w podrozdziale MC 7200.

W warunkach ogólnych dotyczących kwalifikacji personelu (MC 7121) zdefiniowano rodzaj badań wizualnych, dzieląc je na badania bezpośrednie oraz zdalne (pośrednie) zgodnie z normą EN 13018 [23]. Badania zdalne może przeprowadzać personel kwalifikowany oraz certyfikowany zgodnie z rozdziałem MC 8000, w którym określono proces wdrożenia. Podczas badań bezpośrednich wymagane jest zaangażowanie personelu NDT wybranego z pośród pracowników, którzy dobrze znają procesy wytwarzania badanych elementów. Personel wykonujący badanie wizualne musi wykazać się świadectwem zdolności widzenia wg normy EN 473 (PN-EN ISO 9712 [24]). Wymagane jest badanie wzroku raz na rok.

W podrozdziale MC 7122 opisano wymagania stawiane w stosunku do badań wizualnych. Wymagane dokumenty powinny zawierać informacje wymienione w odpowiednich podrozdziałach przepisów RCC-M:

- rodzaj badanego przedmiotu, jego wymiary i rodzaj użytego materiału,
- odniesienia do odpowiednich podrozdziałów RCC-M i innych stosownych dokumentów,
- sprzętu wykorzystywanego do badań wizualnych: lupy, endoskopy itp.
- warunków badań: obszarów badań, warunków powierzchni, technik badania (bezpośrednie lub pośrednie itp.),
- kryteriów oceny.

Kolejnym elementem opisanym w niniejszym podpunkcie jest kwestia wyposażenia badawczego (MC 7130). W stosunku do badań bezpośrednich (MC 7131) mowa jest o badaniu okiem nieuzbrojonym, a w razie potrzeby zastosowaniu szkła powiększającego o maksymalnym powiększeniu 6 x lub za pomocą lusterek inspekcyjnych oraz endoskopów lub wykonania replik. Podczas badań pośrednich (MC 7132) przyrządy wykorzystywane powinny wykazywać co najmniej taką samą rozdzielczość, jak podczas badań bezpośrednich. Dobrą praktyką będzie możliwość odniesienia powierzchni badanej do próbek z rzeczywistymi niezgodnościami przygotowanych przez producenta (innych niż próbki z jakością powierzchni lub standardowych wzorców odniesienia) (MC 7133).

Poszczególne etapy badań podczas produkcji (MC 7141), jak również poziomy oraz obszary badań (MC 7142) opisano szczegółowo w Section II oraz Section I (rozdział 4000) przepisów RCC-M.

W podrozdziale MC 7143 opisano warunki badań wizualnych. Obszary badane powinny być wolne od zanieczyszczeń oraz od elementów, które mogłyby ograniczać badanie oraz interpretację wyników. Standardowo badania bezpośrednio mogą być przeprowadzane z uwzględnieniem minimalnej odległości patrzenia wynoszącej 600 mm oraz spełnieniem kąta patrzenia, który musi być większy niż 30 stopni względem powierzchni. Poziom natężenia oświetlenia powierzchni badanej nie powinien być mniejszy niż 500 lx.

Szczegółowe dane, które należy zamieścić w protokole podano w podrozdziale MC 7150.

2.2.1.7 Kwalifikowanie i certyfikowanie personelu badań nieniszczących (MC 8000)

W podrozdziale MC 8100 określono ogólne warunki dotyczące kwalifikacji oraz certyfikacji personelu badań nieniszczących NDT. W podrozdziale MC 8010 mowa jest o wymaganiach stawianych personelowi badawczemu NDT. Personel zajmujący się badaniami NDT powinien być wykwalifikowany oraz certyfikowany zgodnie z normą EN 9712 [24]. Poza Europą wymagana jest certyfikacja przyznana przez niezależną organizację, zgodnie z równoważną normą, która może zostać wykorzystana po zatwierdzeniu przez wykonawcę, pod warunkiem spełnienia odpowiednich wymagań prawnych.

Definicje dotyczące personelu badawczego (MC 8020) oparto na normie EN 473 (PN-EN ISO 9712 [24]). Procesy badawcze określone w normie EN 473 zostały zdefiniowane w niniejszym przepisie jako „Metody badań”.

2.2.2 Wymagania w zakresie NDT w zależności od klasy urządzenia

W omówionej powyżej sekcji **Section III „Examination Methods”** są zawarte przede wszystkim ogólne zasady przeprowadzenia badań, w tym NDT. A zatem w sekcji tej brakuje zakresu badań oraz kryteriów oceny w zależności od klasy bezpieczeństwa wyrobu, które znajdują się w sekcji **Section I „Nuclear Island Components”** kodu RCC-M. Wymagania do projektowania, wytwarzania, spawania, a także badań nieniszczących opisano w poniższych podsekcjach kodu RCC-M:

- **Section I „Nuclear Island Components”:**

- Subsection B „Class 1 Components”
- Subsection C „Class 2 Components”
- Subsection D „Class 3 Components”
- Subsection E „Small Components” (*small components in Class 1 and 2*)

W podrozdziale A 4250 Subsection A wyjaśniono, że wyraz „Small Components” opisuje komponenty Class 1 oraz 2 o określonych parametrach technicznych. Komponenty Class 3 odpowiadające opisowi w ww. rozdziale także mogą być rozpatrywane jako „Small Components”, a zatem wymagania Subsection E są również w ich przypadku możliwe do stosowania.

2.2.2.1 Class 1 Components

W Subsection B kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów Class 1 w zakresie: materiałów stosowanych do wytwarzania tych komponentów (B 2000), ich projektowania (B 3000) oraz wytwarzania i kontroli jakości (B 4000), prób ciśnieniowych (B 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (B 6000).

Poniżej przedstawiono tytuły rozdziałów i podrozdziałów, w których przedstawiono wymagania dotyczące badań nieniszczących urządzeń zaliczanych do klasy 1:

B 2000 – Materials

B 2500 – Mechanical Properties

B 2510 – Determination of the RT_{NDT}

B 4000 – Fabrication and Associated Examinations

B 4400 – Welding and Associated Techniques

B 4430 – Preparation and Examination of Edges and Surfaces for Welding

B 4460 – Non-Destructive Examination of Production Welds

B 4470 – Production Weld Test Coupons and Destructive Tests

B 4480 – Chemical Analysis of Cladding

Jak wynika z powyższego zestawienia, wymagania w zakresie badań nieniszczących przedstawiono w dwóch rozdziałach: w rozdziale B 2000 „Materials” oraz B 4000 „Fabrication and Associated Examinations”.

W rozdziale B 2000 „Materiały” wymagania dotyczące badań nieniszczących opisano za pomocą zaledwie kilku zdań. W paragrafie B 2510 stwierdza się, że badania radiograficzne RT (NDT) następujących części określa się zgodnie z załącznikiem nr 1 specyfikacji technicznej, w której mowa jest o badaniu dyszy wody zasilającej w przypadku wytwornicy pary, jak również dysz udarowych, wtryskowych oraz zaworowych sprężarek.

W rozdziale B 4000 „Wytwarzanie i związane z nim badania” wymagania dotyczące badań nieniszczących opisano w kilku podrozdziałach, ale najobszerniej w podrozdziale B 4460 „Badania nieniszczące spoin produkcyjnych”.

Już w pierwszym zdaniu podrozdziału B 4460 stwierdza się, że wymagania w zakresie badań nieniszczących powinny spełniać wymagania podrozdziału S 7710 „Class 1 Welds” w sekcji **Section IV „Welding”**, z uwzględnieniem wszystkich siedmiu dodatkowych uwag zawartych w podrozdziale B 4460.

Pierwszy dodatkowy podpunkt w podrozdziale B 4460 dotyczy badań ultradźwiękowych oraz badań powierzchniowych spoin pachwinowych otworów (eye-holes; hand-holes) elementów generatora pary.

W podpunkcie 2 opisano wymagania dotyczące powierzchni napawanych oraz platerowanych stopem niklowo-chromowo-żelazowym wykonywanym na stali ferrytycznej. Mowa jest o badaniu objętościowym po wykonaniu co najmniej dwóch warstw pod warunkiem, że grubość warstwy spoiwa jest wystarczająca do

zapewnienia, że SWC nie jest podgrzewana do powyżej temperatury AC1 podczas kolejnych operacji spawania. Badanie zwykle przeprowadza się po obróbce cieplnej odprężającej wg podrozdziału S 7713.2 a1 (akapit pierwszy). Dopuszcza się również przeprowadzenie badania po dodatkowej obróbce cieplnej lub po zwykłym podgrzaniu, jeżeli zażąda tego producent, ale pod warunkiem, że uzasadni swój wniosek.

Według podpunktu 3, w przypadku spoin montażowych na odlewanych króćcach rurowych układu chłodzenia reaktora dopuszcza się stosowanie penetrametrów drutowych.

W przypadku badań radiograficznych spoin wg podpunktu 4, badanie tulei układu grzejnego sprężarki (*pressurizer heating element*) należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi Section III – MC 3000 stosując dodatkowe instrukcje dotyczące ustawiania źródła w płaszczyźnie złącza poprzez wykonanie dwóch ekspozycji co 90° względem siebie. Wymaga się również zastosowanie dwóch błon radiograficznych podczas jednej ekspozycji. Ze względu na szczególny charakter tego badania nie jest wymagane zastosowanie wzorców pręcikowych.

W odniesieniu do zgrzein tarcowych wg podpunktu 5 należy przeprowadzić badanie penetracyjne na powierzchni zewnętrznej zgrzeiny zgodnie z wytycznymi rozdziału MC 4000, stosując kryteria odniesienia wg S 7714.1. W przypadku zastosowania badań ultradźwiękowych należy je wykonać zgodnie z procedurą wraz z przyjętymi kryteriami akceptacji, które zostały zatwierdzone przez wykonawcę. Dodatkowe wytyczne odnoszą się również do badania radiograficznego elementów odlewanych o grubości powyżej 100 mm.

W podpunkcie 6 mowa jest o tym, że dopuszcza się występowanie wtrąceń żużlowych w strefie rdzenia (1/3 grubości badanego elementu) pod warunkiem że długość pojedynczego wtrącenia jest mniejsza niż 40 mm oraz, że dodatkowe badania nie wykażą iż w zacienionym obszarze badania nie ma innych wad.

W ostatnim podpunkcie (7) zaleca się, aby badanie penetracyjne stali ferrytycznych pokrywanych warstwami buforowymi ze stopów Ni Cr Fe przeprowadzić po pośredniej obróbce cieplnej pod warunkiem, że temperatura jest wyższa lub równa 535 °C.

2.2.2.2 Class 2 Components

W Subsection C kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów Class 2 w zakresie: materiałów stosowanych do wytwarzania tych komponentów (C 2000), ich projektowania (C 3000) oraz wytwarzania i kontroli jakości (C 4000), prób ciśnieniowych (C 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (C 6000).

W Subsection C, podobnie jak w Subsection B, zastosowano podział na rozdziały i podrozdziały, których tytuły w większości są praktycznie takie same. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection C, w których przedstawiono wymagania dotyczące badań nieniszczących urządzeń zaliczanych do Class 2:

C 2000 – Materials

C 4000 – Fabrication and Associated Examinations

C 4400 – Welding

W rozdziale C 2000 stwierdza się, że wg podrozdziału C 4460 dotyczącego badania spoin komponentów Class 2, badania nieniszczące podczas produkcji przeprowadza się zgodnie z wymaganiami opisanymi w podrozdziale S 7720 bez żadnych dodatkowych wymagań, jak to miało miejsce w przypadku komponentów Class 1.

2.2.2.3 Class 3 Components

W Subsection D kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów Class 3 w zakresie: materiałów stosowanych do wytwarzania tych komponentów (D 2000), ich projektowania (D 3000) oraz wytwarzania i kontroli jakości (D 4000), prób ciśnieniowych (D 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (D 6000).

W Subsection D zastosowano podział na rozdziały i podrozdziały, których tytuły w większości przypadków brzmią podobnie jak w Subsection C z niewielkimi zmianami. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów

Subsection D, w których przedstawiono wymagania dotyczące badań nieniszczących urządzeń zaliczanych do Class 3:

D 2000 – Materials

D 4400 – Welding and Associated Techniques

D 4430 – Preparation and Examination of Edges and Surfaces for Welding

D 4440 – Welding of Production Welds

D 4450 – Repair by Welding

D 4460 – Non-Destructive Examination of Production Welds

D 4470 – Production Weld Test Coupons and Destructive Tests

D 4480 – Chemical Analysis of Cladding

W rozdziale D 2000 stwierdza się, że wg podrozdziału D 4460 dotyczącego badania spoin komponentów Class 3, badania nieniszczące podczas produkcji przeprowadza się zgodnie z wymaganiami opisanymi w podrozdziale S 7730 bez żadnych dodatkowych wymagań.

2.2.2.4 Small Components

W Subsection E kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów niedużych – Small Components. Zakres tej podsekcji jest podobny do poprzednich tylko jeśli chodzi o tytuły głównych rozdziałów. A zatem w rozdziale E 2000 opisano wymagania dotyczące materiałów stosowanych do wytwarzania Small Components, w E 3000 ich projektowania, w E 4000 wytwarzania i towarzyszących badań oraz w E 4500 prób ciśnieniowych. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection E, w których przedstawiono wymagania dotyczące zaworów i pomp:

E 2000 – Materials

E 4000 – Fabrication and its Associated Examinations

E 4400 – Examination of the Welds

E 4410 – Visual and Dimensional Examination

E 4420 – Surface Examination

E 4430 – Volumetric Examination

E 4440 – Examination of Socket Welded Joints on Instrumentation Piping

W podrozdziale E 4410 mowa jest o tym, że wymagane jest badanie wizualne wszystkich złączy spawanych techniką bezpośrednią okiem uzbrojonym i nie uzbrojonym, jak również za pomocą metod pośrednich wykorzystujących urządzenia zdalne, do których zaliczamy endoskop, szkło powiększające, itp. (E 4411). Badaniu podlega cała spoina w zakresie lica oraz grani plus 5 mm strefy materiału rodzimego (E 4412). Kolejnym aspektem poruszonym jest konieczność wykonania badania wizualnego przed każdym innym badaniem oraz przed obróbką cieplną oraz w przypadku, gdy badana spoina nie będzie dostępna ze względu na kolejne operacje (E 4413). W stosunku do kryteriów oceny stwierdza się, że nie dopuszcza się żadnych pęknięć, kraterów oraz wymiary powinny odpowiadać wymiarom zgodnym z rysunkami (E 4414).

W podrozdziale E 4420 opisano wytyczne dotyczące badań powierzchniowych. Tego typu badania wykonywane są na wszystkich połączeniach spawanych oprócz spoin objętych podrozdziałem E 4440 oraz spoin istniejących oprzyrządowania. W odniesieniu do metody badawczej przepis mówi o zastosowaniu badań penetracyjnych jako głównej metody powierzchniowej. Badanie penetracyjne należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi rozdziału MC 4000 lub normy EN 571-1 (PN-EN ISO 3452-1 [25]). Ważnym aspektem jest również przygotowanie powierzchni pod względem czystości oraz dostępności. Badaniu podlega cała powierzchnia spoiny wraz ze strefą przylegającą po minimum 5 mm (E 4422). Badanie przeprowadza się po etapie zakończenia i przygotowania spoiny. W przypadku, jeśli podczas etapu produkcji spoiny w późniejszym procesie nie będą dostępne, należy przeprowadzić badania przed tą fazą produkcji (E 4423). Kryteria akceptacyjne (E 4424) uwzględniają wyłącznie wskazania powyżej 2 mm długości. Niedopuszczalne są wskazania liniowe oraz wskazania nielinowe o wymiarach większych niż 5 mm.

2.2.2.5 Badania nieniszczące urządzeń nie objętych klasyfikacją wg RCC-M

Jak już wspomniano we Wprowadzeniu do niniejszych Wytycznych, w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków

technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) stwierdza się, że do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej.

Kod RCC-M został opracowany we Francji, a głównym dostawcą technologii jądrowej w Europie Zachodniej jest francuska firma Framatome (wcześniej AREVA). Powoduje to, że wymagania do urządzeń i komponentów nie objętych klasyfikacją od początku opracowywania reaktorów typu PWR we Francji bazowały na normach i przepisach francuskich. Z chwilą powstania Unii Europejskiej, normy krajowe zaczęły sukcesywnie zastępować przez normy typu EN lub EN ISO. Przyczyniło się to do tego, że urządzenia i komponenty ciśnieniowe aktualnie budowanych elektrowni jądrowych z reaktorem EPRTM opracowano z uwzględnieniem wymagań kodu RCC-M oraz ww. norm typu EN i EN ISO. W odniesieniu do badań nieniszczących dotyczących elementów nie objętych wymaganiami kodu RCC-M w zakresie złączy spawanych urządzeń i konstrukcji nie objętych według podziału Class 1, 2, 3 stawia się wymagania jak dla urządzeń ciśnieniowych PED (Dyrektywa ciśnieniowa). Badania nieniszczące realizowane są wg poszczególnych norm związanych bezpośrednio z metodą badań NDT, do których zaliczymy badania radiograficzne (RT), ultradźwiękowe (UT), penetracyjne (PT), magnetyczno-proszkowe (MT) oraz badania wizualne (VT) oraz metodą prądów wirowych (ET). Wymagania stawiane badaniom elementów nie objętym wytycznymi kodu RCC-M opisano szczegółowo w normach związanych z techniką przeprowadzania badań oraz poziomami akceptacji. W większości przypadków wymagania w stosunku do poziomów jakości złączy dla urządzeń ciśnieniowych PED opiera się na klasyfikacji według poziomów jakości B, C oraz D wymienionych w normie PN EN ISO 5817 [26]. Bezpośrednie przełożenie poziomów jakości względem poszczególnych kryteriów akceptacji zamieszczono w normie PN EN ISO 17635 [27]. Ważnym aspektem wytycznych PED jest również zastosowanie norm zharmonizowanych dotyczących badanych elementów oraz rodzaju zastosowanego materiału.

2.3 Wymagania kodu ASME Section III

Na początku należy nadmienić, że kod ASME Section III [2] nie dotyczy konkretnego typu reaktora. A zatem wymagania w nim zawarte mają zastosowanie zarówno w przypadku projektowania i wytwarzania reaktora typu PWR (w tym AP1000), jak i BWR (w tym ABWR).

ASME Section III składa się z pięciu części (*Division*) oraz wielu podsekcji (*Subsection*). Wymagania dotyczące urządzeń ciśnieniowych Class 1, 2 i 3 są opisane w Division 1, a zatem wymagane badania nieniszczące są także opisane w tej samej części kodu ASME.

W podsekcji NCA [28] przedstawiono wymagania dotyczące zapewnienia jakości, znakowania wyrobów oraz autoryzowanych inspekcji. Zawiera ona również aktualne interpretacje zapisów Section III, w tym w najnowszym wydaniu.

W podrozdziale NCA-2110 Subsection NCA kodu ASME Section III stwierdza się, że klasa komponentów jest określona w ich specyfikacji konstrukcyjnej (*Design Specification*), a Właściciel elektrowni jądrowej jest odpowiedzialny za stosowanie kryteriów bezpieczeństwa do klasyfikowania urządzeń w budowanej elektrowni jądrowej zgodnie z przepisami niniejszej podsekcji (NCA-2120 „Purpose of Classifying Items of a Nuclear Power Plant” i NCA-2130 „Classifications and Rules of This Section”). Powyższy zapis powoduje, że również producenci zaworów i pomp stosowanych w elektrowniach jądrowych powinni przestrzegać wymagań poszczególnych sekcji kodu ASME.

Kod ASME Section III, podobnie jak kod AFCEN RCC-M, nie definiuje, które z urządzeń lub komponentów elektrowni są zaliczane do poszczególnych klas bezpieczeństwa (poza komponentami Class 1), lecz zawiera tylko wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów, które w dokumentacji konstrukcyjnej są zaliczane do Class 1, 2 i 3. Wymagania te są opisane w poniższych podsekcjach kodu ASME Section III:

- **ASME Section III „Rules for Construction of Nuclear Facility Components”**
 - Division 1:**
 - Subsection NB „Class 1 Components”
 - Subsection NC „Class 2 Components”
 - Subsection ND „Class 3 Components”

Do komponentów Class 1 zalicza się urządzenia będące częścią pierwotnego układu chłodzenia rdzenia reaktora. Komponenty Class 2 to urządzenia będące elementami ważnymi z punktu widzenia bezpieczeństwa chłodzenia awaryjnego układu chłodzenia rdzenia. Komponenty Class 3 to urządzenia będące elementami niezbędnymi do funkcjonowania elektrowni jądrowej.

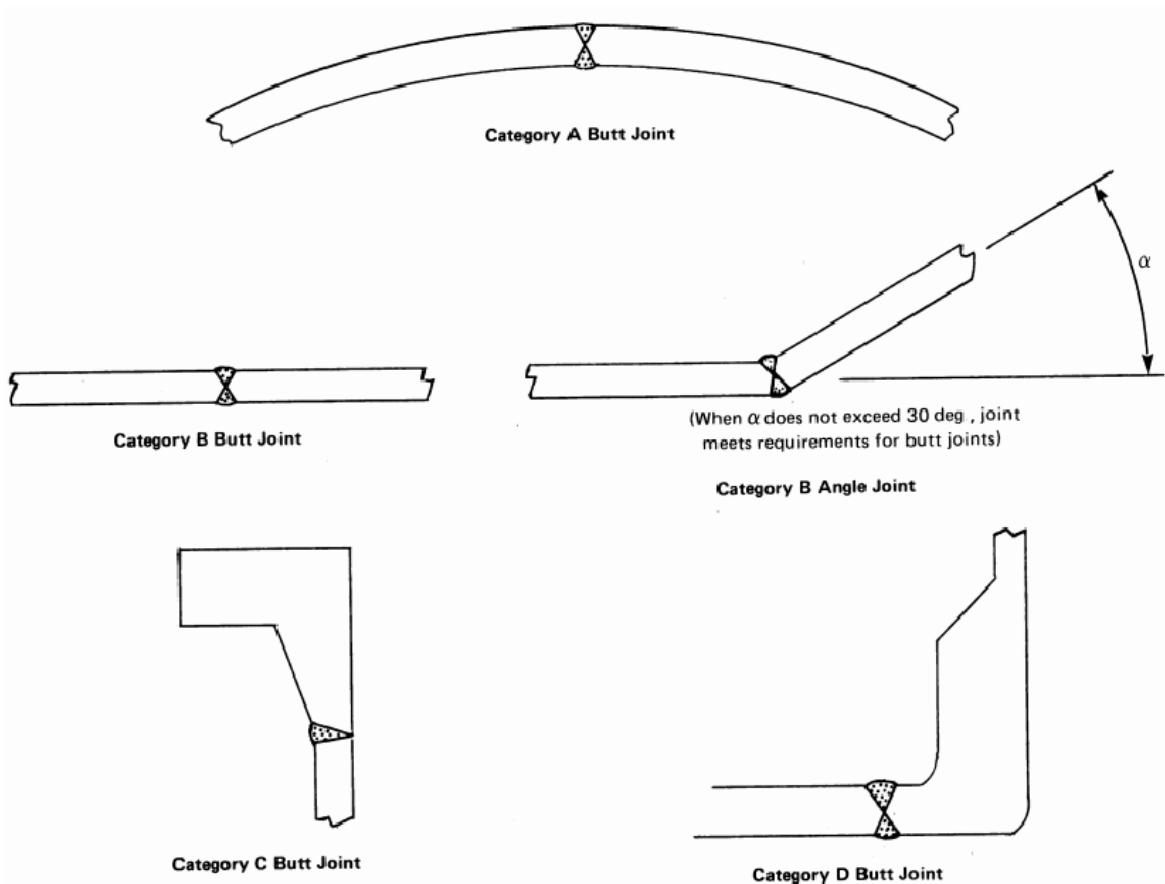
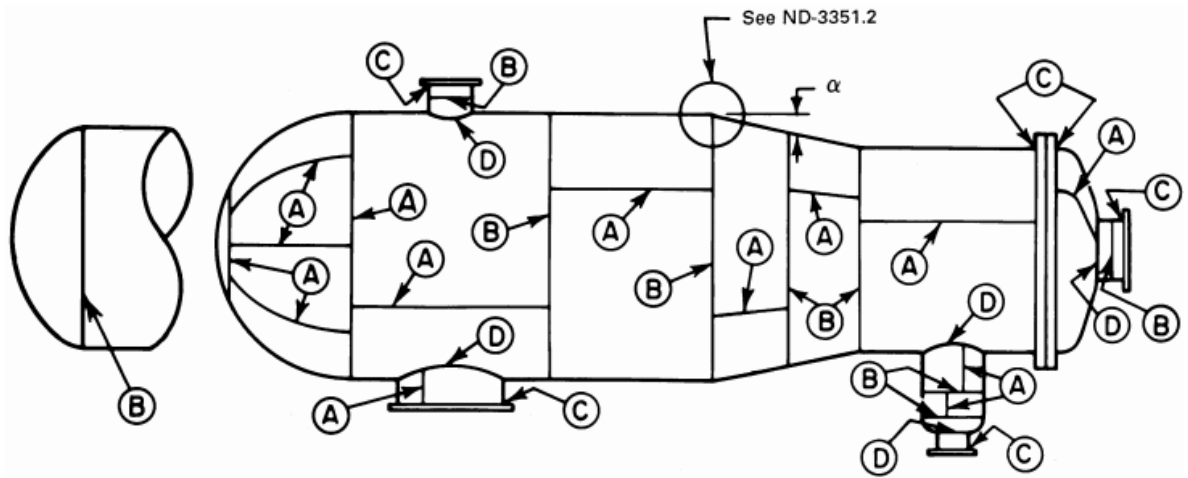
Struktura podsekcji NB, NC oraz ND kodu ASME Section III jest zawsze taka sama i zawiera główne rozdziały przedstawione w tabl. 2.1. Jak widać, badania urządzeń ciśnieniowych niezależnie od klasy bezpieczeństwa zawsze są opisywane w rozdziale **Nx-5000**, a więc NB-5000, NC-5000 oraz ND-5000.

Tablica 2.1

Struktura podsekcji NB, NC oraz ND kodu ASME Section III

Nr rozdziału	Tytuł	
	<i>oryginał</i>	<i>tłumaczenie</i>
Nx-1000	Introduction	Wprowadzenie
Nx-2000	Material	Materiał
Nx-3000	Design	Projektowanie
Nx-4000	Fabrication and Installation	Wytwarzanie i instalowanie
Nx-5000	Examination	Badanie
Nx-6000	Testing	Próby odbiorowe
Nx-7000	Overpressure Protection	Ochrona przed nadciśnieniem
Nx-8000	Nameplates, Stamping with Certification Mark, and Reports	Tabliczka znamionowa, stemplowanie znakiem certyfikacyjnym oraz raporty

W każdej sekcji, niezależnie od klasy urządzenia ciśnieniowych dokonano podziału spoin w zależności od ich umiejscowienia w konstrukcji urządzenia i określono je symbolami A, B, C i D (rys. 2.1), podobnie jak ma to miejsce w rozdziale kodzie ASME Section VIII [28]. Podział ten jest o tyle istotny z punktu widzenia rozważań dotyczących badań nieniszczących (NDT) połączeń spawanych w urządzeniach ciśnieniowych stosowanych w elektrowni jądrowej (EJ), że stanowi podstawę do określenia wymagań jakościowych i zastosowania poszczególnych metod NDT.



Rys. 2.1. Kategoria spoin w zależności od umiejscowienia w ciśnieniowym urządzeniu spawanym.

2.3.1 Class 1 Components: ASME Section III, Division 1 – Subsection NB

Subsection NB zawiera zasady i wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, prób odbiorowych i przygotowywania raportów w odniesieniu do komponentów zaliczanych do Class 1. Wymagania w zakresie badań nieniszczących przedstawiono w następujących rozdziałach i podrozdziałach podsekcji NB:

- NB-2000 Material
 - NB-2500 Examination and Repair of Pressure-Retaining Material
- NB-4000 Fabrication and Installation
 - NB-4300 Welding Qualifications
 - NB-4400 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
- NB-5000 Examination
 - NB-5100 General Requirements for Examination
 - NB-5110 Methods, Nondestructive Examination Procedures, and Cleaning
 - NB-5120 Time of Examination of Welds and Weld Metal Cladding
 - NB-5130 Examination of Weld Edge Preparation Surfaces
 - NB-5140 Examination of Welds and Adjacent Base Material
 - NB-5200 Required Examination of Welds for Fabrication and Preservice Baseline
 - NB-5300 Acceptance Standards
 - NB-5320 Radiographic Acceptance Standards
 - NB-5330 Ultrasonic Acceptance Standards
 - NB-5340 Magnetic Particle Acceptance Standards
 - NB-5350 Liquid Penetrant Acceptance Standards
 - NB-5360 Eddy Current Preservice Examination of Installed Nonferromagnetic Steam Generator Heat Exchanger Tubing
 - NB-5370 Visual Acceptance Standards for Brazed Joints
 - NB-5380 Bubble Formation Testing
 - NB-5400 Final Examination of Vessels
 - NB-5410 Examination After Hydrostatic Test

- NB-5500 Qualifications and Certification of Nondestructive Examination Personnel
 - NB-5510 General Requirements
 - NB-5520 Personnel Qualification, Certification, and Verification
 - NB-5530 Records

Rozdział NB-2000 dotyczy materiałów podstawowych stosowanych przy wytwarzaniu urządzeń w EJ. Podrozdział NB-2500 dotyczy badań nieniszczących i określa dla jakich urządzeń ciśnieniowych i materiałów do ich wykonania należy przeprowadzić te badania. Poszczególne podparagrafy NB-2500 precyzyjnie określają, dla jakich materiałów należy przeprowadzić badania nieniszczące i na jakim etapie wytwarzania. Należy zwrócić uwagę, że jednym z głównych kryteriów doboru metody badań nieniszczących oraz zakresu przeprowadzania tych badań jest grupa stosowanego materiału (ASME P-Number) oraz jego grubość. Określono więc metody badawcze oraz procedury przeprowadzania badań oraz naprawy dla materiałów:

- po hartowaniu i odpuszczaniu,
- blach po usuwaniu z nich niedopuszczalnych niezgodności,
- elementów odkuwanych,
- elementów rurowych bezszwowych oraz zgrzewanych/spawanych (bez dodatku spoiwa) oraz armatury,
- elementów rurowych spawanych z dodatkiem spoiwa oraz armatury,
- elementów odlewanych,
- śrub, nakrętek i bolców.

Rozdział NB-4000 dotyczy wymagań jakościowych podczas wytwarzania i instalowania elementów EJ dla komponentów klasy 1. Na początku niniejszego rozdziału określono, że warunkiem przystąpienia do produkcji jest stosowanie materiałów podstawowych posiadających atest zgodnie z poszczególnymi paragrafami kodu ASME Section III oraz spełniających wymagania podparagrafu NB-2500.

Paragraf NB-4300 określa warunki kwalifikowania stosowanych w produkcji technologii spawania i podaje, że każda stosowana technologia musi być

kwalfikowana zgodnie z normą ASME Section IX [29] i spełniać wymagania niniejszego rozdziału. Wyjątek stanowi technologia zgrzewania kołków, dla której określono odrębne wymagania. Paragraf NB-4300 jest bardzo obszerny, a poszczególne jego podparagrafy określają sposób przygotowania krawędzi materiału podstawowego, sposób identyfikacji złącza, miejsce wybijania cechy przez spawacza lub operatora itp. Należy zwrócić uwagę również na fakt, że wymagania dotyczące kwalifikowania technologii spawania są rozszerzone w stosunku do normy ASME Section IX. Dodatkowe wymagania dotyczące m.in. badań połączeń spawanych określono w podparagrafach od NB-4330 do NB-4360. Z kolei paragraf NB-4400 zawiera już praktyczne informacje dotyczące zasad wykonywania, badania oraz ewentualnej naprawy połączeń spawanych.

Najistotniejszy z punktu widzenia badań nieniszczących jest rozdział NB-5000. W paragrafie NB-5100 określono wymagania ogólne dotyczące badań nieniszczących. Praktycznie na wstępie, w podparagrafie NB-5110 przytoczono odniesienie do sekcji ASME Section V [30], w której szczegółowo opisano zasady, urządzenia i procedury prowadzenia badań nieniszczących, w tym ultradźwiękowych, radiograficznych, magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych. W podparagrafie NB-5110 określono również sposoby digitalizacji i archiwizacji wyników przeprowadzonych badań. Zwrócono uwagę, że każde postępowanie w zakresie badań nieniszczących musi być przeprowadzone zgodnie z pisemną procedurą (odwołanie do ASME Section V).

Istotnym, z punktu widzenia kryterium pozwalającym ocenić faktyczną jakość złącza spawanego, jest moment przeprowadzenia badania. W podparagrafie NB-5120 określono czas wykonania badania radiograficznego, ultradźwiękowego, magnetyczno-proszkowego oraz penetracyjnego. W każdym przypadku wymagane jest badanie po częściowej i końcowej obróbce cieplnej. Wyjątek stanowi badanie połączeń spawanych wykonanych z materiałów grupy P-No.1 (odpowiednik grupy 1 wg raportu technicznego ISO/TR 15608 [31]). W tym przypadku dopuszcza się przeprowadzenie badania zarówno przed, jak i po obróbce cieplnej.

Podparagraf NB-5130 określa, kiedy należy przeprowadzić badania krawędzi materiału podstawowego przygotowanego do spawania. Dopuszcza się badanie metodą penetracyjną oraz magnetyczno-proszkową i dla grubości materiału podstawnego powyżej 2 cali (50 mm). Elementy o większych grubościach wymagają przeprowadzenia badań radiograficznych i ultradźwiękowych. Określono również dopuszczalne wymiary niezgodności, których obecność nie wymaga naprawy.

NB-5140 określa wymagania dotyczące obszaru połączenia spawanego podlegającemu badaniu nieniszczącemu. W każdym przypadku jest to spoina oraz ½ cala (13 mm) po obu stronach spoiny.

W paragrafie NB-5200 określono wymagania dotyczące badania nieniszczącego spoin w trakcie produkcji urządzeń oraz po wykonaniu, a przed oddaniem do użytkowania. Przy czym w poszczególnych podparagrafach określono wymagania w zależności od kategorii spoin. Przykładowo w podparagrafach od NB-5210 do NB-5240 określono, jakimi metodami należy badać złącza odpowiednio kategorii A, B, C i D oraz w zależności od typu złącza i rodzaju spoiny.

W paragrafie NB-5300 określono kryterium oceny złączy ze wskazaniem wielkości charakterystycznych poszczególnych rodzajów niezgodności, powyżej których dana niezgodność klasyfikowana jest jako wada i dyskwalifikuje złącze jako możliwe do eksploatacji.

Przykładowo w podparagrafie NB-5320 (kryterium oceny w badaniach radiograficznych) podano, że w przypadku występowania na radiogramie wskazań zdefiniowanych jako pęknięcie, brak przetopu lub przyklejenie złącze jest dyskwalifikowane. Dyskwalifikacja złącza występuje również w przypadku innych wskazań o wymiarach większych niż:

- ¼ cala (6 mm) dla t do ¾ cala (19 mm),
 - $1/3 t$ dla $t = ¾$ cala (19 mm) do $2 ¼$ cala (57 mm),
 - ¾ cala (19 mm) dla t większego od $2 ¼$ cala (57 mm),
- gdzie t jest grubością cieńszego z łączonych elementów.

Niedopuszczalne są ponadto wskazania nagłej zmiany jasności radiogramu przy badaniu ściegu graniowego, występowanie grup niezgodności o łącznej długości większej od t itp. Inne wskazania na radiogramie powinny być rozpatrywane zgodnie z wymaganiami kodu ASME Section III.

Podparagraf NB-5330, podobnie jak dla badań radiograficznych w NB-5320, identyfikuje i podaje wielkości graniczne niezgodności wykrytych podczas badań ultradźwiękowych. Kryteria oceny dla badań magnetyczno-proszkowych podano w podparagrafie NB-5340, a w NB-5350 dla badań penetracyjnych. Natomiast w podparagrafie NB-5360 przywołano kryteria oceny dla badań prądami wirowymi powołując się na podparagraf NCA-3252 (c). NB-5370 ogólnie określa wymagania co

do wyglądu połączenia lutowanego. Z kolei podparagraf NB-5380 przywołuje artykuł 10 kodu ASME Section V w odniesieniu do warunków i oceny wyników badań szczelności w próbie bąbelkowej.

Paragraf NB-5400 i podparagraf NB-5410 dotyczą ostatecznego badania kontrolnego połączeń spawanych zbiorników ciśnieniowych. Badaniu podlegają wszystkie kategorie spoin, tj. A, B, C i D. Badanie przeprowadzane jest po próbie ciśnieniowej za pomocą metody magnetyczno-proszkowej lub penetracyjnej i tylko w miejscach dostępnych.

Z kolei paragraf NB-5500 dotyczy kwalifikacji i certyfikowania personelu przeprowadzającego badania nieniszczące na obiektach elektrowni jądrowej.

W podparagrafie NB-5510 podano ogólne wymagania dotyczące personelu NDT. W podparagrafie NB-5520 podano sposób i wytyczne kwalifikowania personelu wykonującego badania nieniszczące w obiektach EJ, jego certyfikowania oraz weryfikowania, które powinny być zgodne z wymaganiami ASNT (*The American Society for Nondestructive Testing* - Amerykańskie Towarzystwo Badań Nieniszczących) SNT-TC-1A [32]. Z kolei podrozdział NB-5530 reguluje jedynie kwestie dostępności i przechowywania świadectw kwalifikacji operatorów NDT.

2.3.2 Class 2 oraz Class 3 Components

Wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, kontroli, prób odbiorowych i przygotowywania raportów w odniesieniu do komponentów zaliczanych do Class 2 oraz 3 są opisane odpowiednio w Subsection NC oraz Subsection ND. Jak już wspomniano wyżej (tabl. 2.1), tytuły rozdziałów oraz większości podrozdziałów są takie same, jak w Subsection NB, zawierającej wymagania do komponentów Class 1. Występujące różnice dotyczą przede wszystkim rozdziałów w Subsection NC i ND opisujących projektowanie, badanie i próby odbiorowe. Różnice pomiędzy podsekcjami NC i ND są minimalne. Poniżej przykładowo przedstawiono tytuły podrozdziałów w podsekcji NC, w których ujęto wymagania w zakresie badań nieniszczących komponentów Class 2:

- NC-2000 Material
- NC-4000 Fabrication and Installation
- NC-5000 Examination

- NC-5100 General Requirements for Examination
- NC-5200 Examination of Welds
- NC-5300 Acceptance Standards
 - NC-5320 Radiographic Acceptance Standards
 - NC-5330 Ultrasonic Acceptance Standards
 - NC-5340 Magnetic Particle Acceptance Standards
 - NC-5350 Liquid Penetrant Acceptance Standards
 - NC-5360 Visual Acceptance Standards for Brazed Joints
 - NC-5380 Gas and Bubble Formation Testing
- NC-5400 Final Examination of Components
 - NC-5410 Examination After Pressure Testing
- NC-5500 Qualifications and Certification of ND Examination Personnel
 - NC-5510 General Requirements
 - NC-5520 Personnel Qualification, Certification, and Verification
 - NC-5530 Records
- NC-5700 Examination Requirements for Expansion Joints

Bardziej istotne z punktu widzenia wytwórcy są różnice występujące nie w tytułach, lecz w treści niektórych rozdziałów. Dla usystematyzowania i szerszego oglądu sprawy, poniżej dokonano porównania wszystkich rozdziałów normy ASME Section III, Subsection: NB, NC i ND, nawet jeśli nie różnią się one treścią.

Na wstępie należy zwrócić uwagę na kategorię spoin w urządzeniach ciśnieniowych. We wszystkich trzech podsekcjach normy (NB, NC i ND) spoiny są objęte tymi samymi kategoriami (rys. 2.1).

Paragraf **Nx-2000** (mówiąc o konkretnych paragrafach w każdej podsekcji literę B, C i D zastąpiono literą „x”). dotyczy materiałów podstawowych stosowanych przy wytwarzaniu urządzeń elektrowni jądrowych (EJ). Zasadniczo tematyka większości podparagrafów dotyczących doboru i wymagań stawianych materiałom stosowanym przy budowie EJ nie stanowi istoty niniejszego opracowania, dlatego też temat ten nie zostanie dalej szczegółowo omówiony. Inaczej się w ma sprawa w przypadku podparagrafu **Nx-2500** dotyczącego badań i naprawy materiałów podstawowych wykorzystywanych do budowy EJ.

A zatem, pierwsze różnice pojawiają się już w podstawowych wymaganiach dotyczących zakresu przeprowadzenia badań materiałów na urządzenia ciśnieniowe.

Analiza podparagrafów **Nx-2510** wykazała, że w **NB-2510** wymaga się przeprowadzenia badań i spełnienia wymagań Subsection NB dla wszystkich materiałów podstawowych z wyjątkiem pomp i zaworów o średnicy wlotowej DN mniejszej od 50 mm oraz rur bezszwowych i armatury o średnicy DN poniżej 25 mm, dla których określono osobne wymagania. Elementy odkuwane i odlewane mogą być badane za pomocą badań penetracyjnych i magnetyczno-proszkowych, a jedynie zakończenia połączeń spawanych w odlewach pomp i zaworów muszą być badane radiograficznie na zakończeniu spoiny, na długości t (t - grubość cieńszego z łączonych elementów).

W **ND-2510** wymagania dotyczące badań nieniszczących urządzeń ciśnieniowych klasy 3 są identyczne jak w **NC-2510**.

Nx-2520 dotyczy tylko konstrukcji klasy 1, a więc w kodzie ASME Sect. III widnieje tylko podparagraf NB-2520 i określa on warunki przeprowadzenia badań nieniszczących po obróbce cieplnej (hartowaniu i odpuszczaniu). W sekcji NC i ND kodu ASME Sect. III podparagraf NC-2520 i ND-2520 został całkowicie pominięty.

Nx-2530 dotyczy badań i napraw elementów płaskich. NB-2530 określa precyzyjnie sposób przeprowadzenia badań ultradźwiękowych dla elementów płaskich o grubości poniżej 50 mm (NB-2532). Natomiast NC-2530 i ND-2530 w tej kwestii odnosi się do wymagań podanych w specyfikacjach materiałowych. Wymagania odnośnie czasu przeprowadzenia badań materiału podstawowego (również po naprawie) nie różnią się w sekcji NC i ND. Natomiast sekcja NB nakłada dodatkowe obostrzenia.

Również sposób naprawy powierzchni płaskich (blach), gdy występują na nich niezgodności nie różnią się niczym w przypadku sekcji NC i ND. W obu przypadkach wymaga się usunięcia ewentualnych niezgodności poprzez szlifowanie lub obróbkę skrawaniem a następnie naprawę zgodnie z wymaganiami podparagrafu NC-2539 i ND- 2539.

Nx-2540 dotyczy badania i naprawy elementów kutych i prętów. I tak, w poszczególnych punktach podparagrafów NC-2540 i ND-2540 określono, że wymagania dotyczące jakości i badań elementów kutych i prętów są określone w specyfikacji materiałowej. Natomiast dodatkowe wymagania dotyczące sposobu przeprowadzenia badań dotyczą badań penetracyjnych i magnetyczno-proszkowych. Wymagania dotyczące czasu przeprowadzenia badań są takie same, jak w NC-2537 i ND-2537. W NB-2540 określono specjalne wymagania dotyczące sposobu

przeprowadzenia badań ultradźwiękowych, magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych i podano kryteria akceptacji dla elementów odkuwanych i prętów. Dodatkowo rozbudowano podparagraf dotyczący czasu przeprowadzania badań (NB-2547).

Podparagraf **Nx-2550** dotyczy badań rur bezszwowych i ze szwem oraz armatury. Tak więc, NC-2550 dopuszcza do badań rur bezszwowych i ze szwem oraz armatury jedną z metod, tj.: ultradźwiękową, radiograficzną lub prądami wirowymi. Dodatkowo określono w nim kryteria akceptacji dla rur o różnym zakresie średnic dla wszystkich trzech metod badania.

ND-2550 do kwestii badania rur oraz armatury podchodzi mniej restrykcyjnie. Określono, że badane materiały mają spełnić wymagania specyfikacji materiałowej oraz podparagrafów ND-2557 (określa czas przeprowadzenia badań), ND-2558 (określa metodę usuwania niezgodności) i ND-2559 (określa sposób naprawy poprzez spawanie. Należy zwrócić uwagę, że nie dopuszcza się naprawy poprzez spawanie elementów wymienników ciepła wykonanych z miedzi i niklu).

Dla porównania w NB-2550 podano dokładne wytyczne do badań rur i armatury. Na przykład, dla rur o średnicy do 64 mm wymagane jest przeprowadzenie badań ultradźwiękowych w obydwu kierunkach oraz dodatkowo badań wiroprądowych. Precyzyjnie określono wymagania dotyczące badań elementów wykonanych z miedzi oraz niklu i ich stopów co w zasadzie pominięto w NC-2550 i ND-2550.

Nx-2560 dotyczy badań i naprawy elementów rurowych oraz armatury spawanej z dodatkiem spoiwa. Dla urządzeń klasy 2 (podsekcja NC) oprócz wszystkich wymagań materiałowych określonych w odpowiednich rozdziałach omawianej normy ASME wszystkie połączenia spawane powinny być badane radiograficznie (zgodnie z wymaganiami podparagrafu NC-2553). Z kolei w ND-2560 określono, że połączenia spawane muszą spełniać wymagania specyfikacji materiałowej oraz wymagań niniejszego dokumentu. Dla porównania w NB-2560 wymaga się 100% badań radiograficznych. Ponadto podaje wymagania do przeprowadzenia badań ultradźwiękowych elementów płaskich przed ich dalszą fabrykacją. Określa również sposoby przeprowadzenia alternatywnych metod badań, tj.: magnetyczno-proszkowego oraz penetracyjnego.

Nx-2570 reguluje kwestie badań i naprawy elementów odlewanych grawitacyjnie i odśrodkowo. Zakres badań jest odmienny dla elementów w urządzeniach klasy 2 i 3. W podsekcji NC i ND w układzie tabelarycznym

sklasyfikowano elementy w zależności od średnicy wlotowej i podano wymagania odnośnie badań dla danej grupy odlewów. W tabeli **NC-2571-1** dokonano podziału odlewów w zależności od średnicy wlotowej (NPS – Nominal Pipes Size) i określono wymagania do nich w zakresie przeprowadzanych badań nieniszczących.

NPS 2 (DN 50) lub mniejsze

Odlewy zwykłe nieciśnieniowe nie wymagają dodatkowych badań z wyjątkiem odlewów specjalnej kategorii zgodnie z normą ASME 16.34 [33], dla których wymaga się przeprowadzenia badań zgodnie z podparagrafem NC-2571.

Odlewy ciśnieniowe wymagają przeprowadzenia badań radiograficznych lub ultradźwiękowych lub za pomocą kombinacji obu metod.

Odlewy nieciśnieniowe naprawiane za pomocą metod spawalniczych grupy P-No. 1 i P-No. 8 nie wymagają dodatkowych badań.

Odlewy ciśnieniowe naprawiane za pomocą metod spawalniczych wykonanych z materiałów grupy P-No. 1 i P-No. 8 wymagają przeprowadzenia dodatkowych badań magnetyczno-proszkowych lub penetracyjnych, a w przypadkach, gdy naprawa przekraczała 10 mm lub 10% grubości materiału, dodatkowo wymagane jest przeprowadzenie badań radiograficznych.

NPS 2 do NPS 4 (DN 50 do DN 100)

Odlewy nieciśnieniowe o współczynniku jakości 1.0 powinny zostać zbadane za pomocą metody magnetyczno-proszkowej lub penetracyjnej na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej, jeśli jest to możliwe, w miejsce badań objętościowych z wyjątkiem zakończeń spawanych, dla których powinno zostać przeprowadzone badanie radiograficzne na szerokości t (t – grubość cieńszego ze spawanych elementów).

Odlewy nieciśnieniowe o współczynniku jakości 0,7 nie wymagają dodatkowych badań nieniszczących.

Odlewy cieśnieniowe bez określonego współczynnika jakości wymagają przeprowadzenia badań radiograficznych lub ultradźwiękowych lub za pomocą kombinacji obu metod.

Odlewy nieciśnieniowe naprawiane za pomocą metod spawalniczych wykonanych z materiałów grupy P-No. 1 i P-No. 8 i współczynnika jakości 0,7 nie wymagają dodatkowych badań nieniszczących.

Odlewy ciśnieniowe naprawiane za pomocą metod spawalniczych wykonanych z materiałów grupy P-No. 1 i P-No. 8 i współczynnika jakości 0,7 wymagają przeprowadzenia dodatkowych badań magnetyczno-proszkowych lub penetracyjnych, a w przypadkach, gdy naprawa przekracza 10 mm lub 10% grubości materiału, dodatkowo wymagane jest przeprowadzenie badań radiograficznych.

Powyżej NPS 4 (DN 100)

Odlewy ciśnieniowe przeprowadzenia badań radiograficznych lub ultradźwiękowych lub za pomocą kombinacji obu metod.

Spoiny naprawcze powinny być badane magnetyczno-proszkowo lub penetracyjnie. Dodatkowo, jeśli wymagane są badania radiograficzne odlewów, każda spoina naprawcza z wtopieniem w materiał podstawowy na głębokość większą od 10 mm lub 10% grubości cieńszego elementu również musi być badana radiograficznie.

W podparagrafie **ND-2571-1** dokonano z kolei podziału tylko na dwie grupy odlewów. O średnicy mniejszej i większej od NPS2 (50 mm) i określono do nich wymagania w zakresie przeprowadzanych badań nieniszczących:

Mniejsze od NPS2 (50 mm)

Odlewy zwykłe nieciśnieniowe nie wymagają dodatkowych badań z wyjątkiem odlewów specjalnej kategorii zgodnie z normą ASME 16.34 [33], dla których wymaga się przeprowadzenia badań zgodnie z podparagrafem ND-2571.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 0,8 z wyjątkiem przyłączy rurowych, pomp i zaworów wymagają jedynie badań wizualnych.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 0,85 z wyjątkiem przyłączy rurowych, pomp i zaworów wymagają przeprowadzenia badań magnetyczno-proszkowych lub penetracyjnych powierzchni zewnętrznych odlewów oraz powierzchni wewnętrznych w miejscach dostępnych.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 1,0 z wyjątkiem przyłączy rurowych, pomp i zaworów wymagają przeprowadzenia badań radiograficznych lub ultradźwiękowych. Opcjonalnie dopuszcza się przeprowadzenie badań magnetyczno-proszkowych lub penetracyjnych.

Spoiny naprawcze bada się magnetyczno-proszkowo lub penetracyjnie, gdy sam odlew również wymaga takiego badania. Jeżeli badanie radiograficzne jest wymagane

dla odlewu, wówczas spoina naprawcza również podlega badaniu radiograficznemu, gdy głębokość wtopienia przekracza 10 mm lub 10% grubości materiału. W przypadku odlewów podlegających tylko częściowemu badaniu radiograficznemu miejsca naprawiane, które nie są objęte obowiązkiem badania radiograficznego, bada się jedynie magnetyczno-proszkowo lub penetracyjnie.

Większe od NPS2 (50 mm)

Odlewy zwykłe nieciśnieniowe nie wymagają dodatkowych badań z wyjątkiem odlewów specjalnej kategorii zgodnie z normą ASME 16.34 [33], dla których wymaga się przeprowadzenia badań zgodnie z podparagrafem ND-2571.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 0,8 z wyjątkiem zaworów wymagają jedynie badań wizualnych.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 0,85 z wyjątkiem zaworów wymagają badań magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych przeprowadzonych dla powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych, tam gdzie jest to możliwe.

Odlewy ciśnieniowe o wymaganym współczynniku jakości 1,0 z wyjątkiem zaworów wymagają przeprowadzenia badań radiograficznych lub ultradźwiękowych. Opcjonalnie dopuszcza się przeprowadzenie badań magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych.

W poszczególnych podparagrafach **Nx-257y** doprecyzowujących warunki przeprowadzenia badań nieniszczących oraz określających dopuszczalne wielkości niezgodności liniowych i punktowych nie różnią się pomiędzy sobą w podparagrafach NC-257y oraz ND-257y.

Poniżej przeprowadzono analizę paragrafów **Nx-4000**, które dotyczą wytwarzania i instalacji urządzeń. Zasadnicza różnica pomiędzy NC-4000 i ND-4000 polega na zakresie obejmowania paragrafu. W przypadku NC-4000 zakres obejmuje akcesoria, komponenty, zbiorniki magazynowe o ciśnieniu magazynowania 0 do 100 kPa oraz zbiorniki ciśnieniowe, dla których określono wymagania dotyczące sposobu wykonania w nich połączeń spawanych. ND-4000 dotyczy jedynie akcesoriów, komponentów i zbiorników magazynowych o ciśnieniu magazynowania 0 do 100 kPa. Zbiorniki ciśnieniowe nie są w ogóle klasyfikowane jako urządzenia klasy 3 w elektrowni jądrowej.

W podsekcji NC poświęcono cały jeden podparagraf (NC-4260) zasadom i wymaganiom dotyczącym projektowania połączeń spawanych w zbiornikach ciśnieniowych z rozdzieleniem wymagań dla spoin kategorii A, B, C i D. W podsekcji ND pominięto całkowicie ten podrozdział (ND-4260) jako, że zbiorniki ciśnieniowe klasyfikowane są jako urządzenia klasy 1 i 2.

Paragraf **Nx-4300** określa wymagania dotyczące kwalifikowania technologii spawania. Zarówno w przypadku podsekcji NC jak i ND ustalono, że wszystkie stosowane technologie spawania muszą być kwalifikowane zgodnie z podparagrafem Nx-4320. Wyjątek stanowią technologie zgrzewania łukowego kołków. Nie podlegają one wymaganiom zdefiniowanym w ASME Sect. IX [29]. Wymagania i ograniczenia zastosowania technologii zgrzewania łukowego oraz kondensatorowego kołków zdefiniowano w Nx-4311.1 i 2 i są one takie same dla obydwu podsekcji NC i ND.

W podsekcji ND zamieszczono podparagrafy ND-4312 i ND-4313. Podparagrafów tych nie obejmuje podsekcja NC. Pierwszy z nich określa warunki przeprowadzenia badań dla złączy z kategorią spoin A i B, występujących w zbiornikach wykonanych z tytanu. Podparagraf ND-4313 wprowadza jedynie ograniczenie zakazujące łączenia tytanu z innymi materiałami za pomocą metod spawalniczych.

Podparagraf Nx-4320 reguluje kwestie kwalifikowania technologii spawania, dokumentacji oraz znakowania spoin. Wymagania dotyczące kwalifikowania technologii spawania są takie same dla obu podsekcji. Dodatkowo w podsekcji ND, podparagrafie ND-4321 doprecyzowano wymagania stawiane podwykonawcom nie posiadającym odpowiednich certyfikatów. Podparagraf Nx-4322 jest identyczny w przypadku obu podsekcji i reguluje kwestię kompletowania i przetrzymywania dokumentacji jakościowej zarówno dotyczącej technologii spawania, jak i uprawnień spawaczy. W obu przypadkach (Nx-4323 i Nx-4324) kategorycznie zakazuje się transferowania kwalifikowanych technologii od jednego posiadacza kwalifikowanej technologii do innego z wyjątkiem sytuacji dopuszczonych przez kod ASME Sect. IX.

W paragrafie **Nx-4300** omówiono ponadto dokładniej kwestie związane z przeprowadzeniem badań do kwalifikowania technologii spawania. Podparagraf Nx-4333 w obydwu podsekcjach reguluje w identyczny sposób wymagania dotyczące obróbki cieplnej stali ferrytycznych.

Podparagraf Nx-4334 i poszczególne jego punkty oraz Nx-4335 i jego punkty regulują kwestię miejsca pobierania próbek do badań udarność z płyty próbnej ze

spoiną lub napoiną. Jednak badania niszczące nie są przedmiotem niniejszego opracowania, więc w niniejszych wytycznych nie zostaną omówione szczegółowo.

Paragraf **Nx-5000** poświęcony jest w całości badaniom nieniszczącym (NDT) w urządzeniach elektrowni jądrowych (EJ). Podobnie jak w paragrafie NB-5000, już na początku paragrafów NC-5000 i ND-5000, w podparagrafach NC-5110 i ND-5110, przytoczono odniesienie do sekcji ASME Section V [30], w której szczegółowo opisano zasady, urządzenia i procedury prowadzenia badań nieniszczących, w tym ultradźwiękowych, radiograficznych, magnetyczno-proszkowych, penetracyjnych oraz innych.

W wymaganiach ogólnych, w podparagrafie NC-5111 stwierdza się, że nie jest dopuszczalne stosowanie błon fluorescencyjnych, które z kolei można stosować dla konstrukcji klasy 3 (ND-5111). W podsekcji NC nakłada się ponadto obowiązek stosowania identyfikatorów jakości obrazu IQIs, co nie jest wymagane dla badań radiograficznych konstrukcji klasy 3. Zakres badań radiograficznych jest różny dla klasy 2 i 3 urządzeń i jest określony w NC-5111 i ND-5111.

Procedury przeprowadzenia badań nieniszczących dla obu podsekcji są identyczne i opisano je w NC-5112 i ND-5112. Również sposób oczyszczania powierzchni po badaniu nieniszczącym jest taki sam i jest opisany w NC-5113 oraz ND-5113.

Podparagraf Nx-5120 dotyczy momentu przeprowadzania badań nieniszczących w trakcie procesu wytwarzania i ma identyczne brzmienie w podsekcjach NC i ND. I tak, badanie radiograficzne należy przeprowadzać po częściowej lub całkowitej obróbce cieplnej, jeżeli jest wymagane, z wyjątkiem konstrukcji wykonanej z materiałów grupy 1 (P-No. 1), dla których badania radiograficzne można przeprowadzić w dowolnym momencie. W przypadku materiałów grupy 3 (P-No. 3) badania radiograficzne można prowadzić: przed, pomiędzy poszczególnymi operacjami lub po ostatecznej obróbce cieplnej pod warunkiem jednak, że spoiny te są również poddane badaniom ultradźwiękowym po częściowej lub całkowitej obróbce cieplnej. Badania magnetyczno-proszkowe lub penetracyjne przeprowadza się po obróbce cieplnej z wyjątkiem materiałów grupy 1, które mogą być poddane badaniom zarówno przed, jak i po obróbce cieplnej. Połączenia różnoimienne zawsze poddaje się badaniu po ostatecznej obróbce cieplnej. Badania penetracyjne i magnetyczno-proszkowe powierzchni spoiny, które w późniejszym procesie produkcyjnym są pokrywane przez napawanie, powinny być

zbadane przed napawaniem. W przypadku, w którym po obróbce cieplnej nie ma możliwości dostępu do spoin w celu przeprowadzenia badań, dopuszcza się przeprowadzenie tych badań przed obróbką cieplną.

Badania ultradźwiękowe złączy materiałów ferrytycznych wykonanych elektrożużlowo przeprowadza się po wyżarzaniu normalizującym lub po ostatecznej obróbce cieplnej.

W podsekcji NC podano dodatkowo wytyczne do badania nieniszczącego krawędzi spawanych. Wymaganiom tym nie są poddane konstrukcje klasy 3, a więc wymagań tych nie ma w podsekcji ND.

W NC-5130 wymagane jest badanie krawędzi spawanych dla złączy doczołowych kategorii A, B, C i D z pełnym przetopieniem. Badanie prowadzi się metodą penetracyjną lub magnetyczno-proszkową. Przyjęto osobne kryteria akceptacji i zakres badań dla różnych grubości spawanych materiałów.

Z kolei w NC-5140 określono wymagania dotyczące badań otworów wycinanych w ścianach zbiorników ciśnieniowych. Wymagania te nie obejmują zbiorników nie ciśnieniowych, które są traktowane jako urządzenia klasy 3.

Nx-5200 jest paragrafem dedykowanym wyłącznie do badań nieniszczących połączeń spawanych. Podparagraf NC-5211 dotyczy badań połączeń spawanych w spoinach kategorii A zbiorników ciśnieniowych. A zatem, dla połączeń o grubości powyżej 5 mm każdego z łączonych elementów wymagane są badania radiograficzne, natomiast dla grubości poniżej 5 mm alternatywnie mogą zostać przeprowadzone badania penetracyjne lub magnetyczno-proszkowe. Natomiast ND-5211.2 nie nakłada obligatoryjnie obowiązku przeprowadzania badań radiograficznych dla wszystkich połączeń kategorii A, przy czym głównym kryterium konieczności lub braku konieczności przeprowadzenia badań radiograficznych jest grubość złącza. Przykładowo, dla materiałów, w zależności od ich grupy, należy przeprowadzać badania radiograficzne złączy doczołowych, jeśli grubość tych złączy przekracza 32 mm w przypadku 1 grupy materiałowej (P-No. 1), 19 mm dla grupy No. 3 oraz 16 mm dla grup P-No. 4, 7 i 10. Wymagania dotyczące badań nieniszczących materiałów nieżelaznych zostały określone w podparagrafie ND-5211.3. W pewnym uproszczeniu należy przyjąć, że złącza wykonane z większości stosowanych w konstrukcjach EJ materiałów nieżelaznych (gat. SB-163, SB-333, SB-334, SB-335, SB-336, SB-407, SB-408, SB-409, SB-443, SB-444 i SB-446) o grubości powyżej 10 mm podlegają obligatoryjnie badaniom radiograficznym. Złącza kategorii A i B w zbiornikach

ciśnieniowych wykonanych z tytanu podlegają badaniom radiograficznym bez względu na grubość złącza, a pozostałe złącza bada się penetracyjnie. Krawędzie materiału podstawowego w gat. SB-333, SB-334, SB-335, SB-336 badać należy penetracyjnie. Złącza spawane w pozostałych konstrukcjach z materiałów w gat. SB-407, SB-408, SB-409, SB-443, SB-444 i SB-446 badać należy tylko penetracyjnie.

Podparagraf NC-5212 dotyczy badania połączeń spawanych wzdłużnych w rurach, pompach i zaworach i nakłada obligatoryjne badania tych połączeń metodą radiograficzną. ND-5212 jest nieco bardziej rozbudowany i odwołuje się do wymagań ujętych w podparagrafie ND-2500 i tylko dla złączy o średnicy powyżej NPS2 (50 mm). ND-5212 nakłada obligatoryjnie badanie radiograficzne dla połączeń spawanych, wykonanych elektrożużłowo.

Podparagraf NC-5220 dotyczy badania połączeń spawanych kategorii B w zbiornikach, pompach, zaworach, rurociągach. Dla złączy spawanych w zbiornikach ciśnieniowych (NC-5221) o grubości każdego elementu powyżej 5 mm wykonuje się obligatoryjnie badania radiograficzne. Dla mniejszych grubości można alternatywnie wykonać badanie penetracyjne. W ND-5220 wykonuje się badania radiograficzne złączy spawanych kategorii B w zbiornikach (ND-5221), gdy grubość złączy przekracza 32 mm w przypadku 1 grupy materiałowej (P-No. 1), 19 mm dla grupy No. 3, 16 mm dla grup P-No. 4, 7 i 10 oraz dla materiałów nieżelaznych w gat. SB-163, SB-333, SB-334, SB-335, SB-336, SB-407, SB-408, SB-409, SB-443, SB-444 i SB-446 o grubości powyżej 10 mm. Dodatkowo określono inne, precyzyjne warunki, przy których badania radiograficzne mogą być zastąpione innymi. Badanie połączeń spawanych kategorii B w rurach, zaworach i pompach dla konstrukcji klasy 2 przedstawiono w podparagrafie NC-5222. Stwierdza się, że złącza doczołowe badane są radiograficznie, złącza teowe ze spoiną pachwinową bada się magnetyczno-proszkowo lub penetracyjnie. Natomiast ND-5222 wymaga badania tylko złączy o średnicy powyżej NPS 2 (50 mm). Złącza te można badać naprzemiennie penetracyjnie, magnetyczno-proszkowo lub radiograficznie.

Podparagraf NC-5230 dotyczy badania połączeń spawanych kategorii C w zbiornikach, pompach, zaworach, rurociągach. Złącza doczołowe o grubości powyżej 5 mm są obligatoryjnie poddane badaniom radiograficznym. Złącza narożne o grubości materiału powyżej 5 mm badane mogą być radiograficznie lub ultradźwiękowo. Złącza doczołowe o grubości poniżej 5 mm bada się powierzchniowo magnetyczno-proszkowo

lub penetracyjnie lub alternatywnie ultradźwiękowo lub radiograficznie. Z kolei złącza teowe bada się jedynie penetracyjnie lub magnetyczno-proszkowo.

Podparagraf ND-5230 obligatoryjnie nakłada badanie radiograficznie dla łączy doczołowych w zbiornikach (ND-5231), gdy grubość złączy przekracza 32 mm w przypadku 1 grupy materiałowej (P-No. 1), 19 mm dla grupy No. 3, 16 mm dla grup P-No. 4, 7 i 10 oraz dla materiałów nieżelaznych w gat. SB-163, SB-333, SB-334, SB-335, SB-336, SB-407, SB-408, SB-409, SB-443, SB-444 i SB-446 o grubości powyżej 10 mm. Dla złączy doczołowych w króćcach i komorach włączów, pełne badania radiograficzne przeprowadza się do średnicy powyżej NPS 10 (DN 250) lub grubości ścianki 29 mm oraz niektórych złączy wykonanych elektrożuzłowo.

Podparagraf NC-5240 dotyczy badania połączeń spawanych kategorii D w zbiornikach, pompach, zaworach i rurociągach. NC-5241 nakłada obligatoryjnie badania radiograficzne dla złączy doczołowych o grubości powyżej 5 mm. Złącza narożne o grubości powyżej 5 mm bada się radiograficznie lub alternatywnie ultradźwiękowo. Złącza doczołowe o grubości poniżej 5 mm bada się powierzchniowo magnetyczno-proszkowo lub penetracyjnie lub alternatywnie ultradźwiękowo lub radiograficznie. NC-5242 dotyczy badania połączeń spawanych odgałęzień, króćców, rur, pomp i zbiorników i nakłada obowiązek badania radiograficznego odgałęzień o średnicy powyżej NPS 4 (DN 100). Poniżej tej średnicy wymagane są badania penetracyjne i magnetyczno-proszkowe.

Podparagraf ND-5240 dotyczy badania połączeń spawanych kategorii D w zbiornikach, pompach, zaworach i rurociągach. Złącza doczołowe są badane radiograficznie w zależności od ich pozycjonowania w konstrukcji i ważności spoiny. W niektórych przypadkach dopuszcza się ponadto rezygnację z przeprowadzenia badań radiograficznych (ND-5241). Wymagania zawarte w ND-5242 są identyczne jak w ND-5222.

W podsekcji NC cały paragraf NC-5250 poświęcony jest badaniu połączeń spawanych w zbiornikach ciśnieniowych wykonanych zgodnie z NC-3200. Tego podparagrafu nie ma w podsekcji ND. Tak więc NC-5251 i NC-5252 dotyczą badań spoin kategorii A i B i wymagają pełnego badania radiograficznego. NC-5253 dotyczy spoin kategorii C i wymaga pełnego badania radiograficznego dla złączy doczołowych ze spoiną czołową i badania ultradźwiękowego lub radiograficznego dla złączy narożnych z pełnym przetopieniem. Złącze teowe ze spoiną czołową spawaną dwustronnie bada się ultradźwiękowo. NC-5254 dotyczy spoin kategorii D i wymaga

pełnego badania radiograficznego spoin czołowych, badania radiograficznego lub ultradźwiękowego spoin narożnych z pełnym przetopieniem oraz badania penetracyjnego lub magnetyczno-proszkowego spoin z niepełnym przetopieniem i spoin pachwinowych w złączach teowych.

Nx-5260 w obydwu podsekcjach dotyczy złączy nietypowych. Paragraf NC-5260 dotyczy spoin pachwinowych, doczołowych z niepełnym przetopieniem, spoin pachwinowych w złączach kielichowych oraz spoin montażowych i podzielony jest na kilka podparagrafów.

Dalsza analiza wymagań wykazała, że paragraf ND-5260 dotyczy już tylko śrub zabezpieczających zaspawanych i wymaga przeprowadzania jedynie badań wizualnych do tego typu spoin.

Podparagraf Nx-5270 dotyczy w przypadku obydwu podsekcji złączy specjalnych. Brzmienie tych podparagrafów jest w zasadzie identyczne z wyjątkiem NC-5271, który dotyczy spoin uszczelniających w urządzeniach klasy 2. W podsekcji ND podparagraf ND-5271 został pominięty.

Również wymagania dotyczące zbiorników magazynowych są identyczne dla podsekcji NC i ND i zamieszczone zostały w podparagrafie NC-5280 i ND-5280. Różnica polega jedynie na tym, że w podsekcji NC zdecydowano, że procedury badawcze powinny zostać przeprowadzone zgodnie z ASME Sect. V. Z kolei w podsekcji ND tego zapisu nie ma.

Kryteria oceny i akceptacji dla danych metod badawczych w obu podsekcjach podano w **Nx-5300**.

2.3.3 Badania nieniszczące urządzeń nie objętych klasyfikacją ASME Section III

Jak już wspomniano we Wprowadzeniu do niniejszych Wytycznych, w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) stwierdza się, że do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących

wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej.

W przypadku kodu ASME oznacza to, że podczas budowy elektrowni jądrowych z reaktorami AP1000 lub ABWR badania NDT urządzeń ciśnieniowych nie objętych klasyfikacją związaną z bezpieczeństwem jądrowym powinny spełniać wymagania dokumentacji projektowej, która z dużym prawdopodobieństwem zakłada stosowanie ASME Section VIII [34] oraz odpowiednich norm amerykańskich, w tym typu ASNT. Należy zatem stosować wymagania, jak dla zwykłych urządzeń ciśnieniowych, a zatem sekcji ASME Section V [30] z uwzględnieniem wymagań ww. sekcji ASME Section VIII.

2.4 Wymagania norm niemieckich KTA

W Niemczech przepisy dotyczące zagadnień jądrowych są ujęte w normach typu KTA (*Kerntechnischer Ausschuss*), które zostały opracowane przez niemieckich producentów, inspektorów i operatorów elektrowni jądrowych. Normy te bazują na kodzie ASME, ale cechują się własnymi osobliwościami. W 2011 roku istniało 93 norm typu KTA, a kolejnych 15 było w opracowaniu [35].

Normy KTA, podobnie jak kod RCC-M, przewidują wykorzystanie do przeprowadzenia badań nieniszczących (NDT) oraz kwalifikacji personelu NDT norm europejskich typu EN oraz międzynarodowych typu EN ISO. W poszczególnych normach KTA, np. KTA 3201.3 [36], KTA 3211.3 [37], KTA 3903 [38], opisano tylko wymagania dotyczące poszczególnych wyrobów oraz specyficzne kryteria odbioru.

2.5 Wymagania przepisów rosyjskich PNAE oraz norm GOST R

Do przeprowadzenia badań nieniszczących (NDT) urządzeń ciśnieniowych i rurociągów elektrowni jądrowych zaprojektowanych i wytwarzanych w oparciu o rosyjską technologię jądrową z reaktorem typu VVER (VVER-1000 lub VVER-1200) podstawowym dokumentem są przepisy PNAE G-7-010-89 (ПНАЭ Г-7-010-89) [39]. Dokument ten ustala kolejność, rodzaj, zakres i metody badań (zarówno nieniszczących, jak niszczących) oraz normy i standardy oceny jakości złączy spawanych oraz warstw (wyrobów) napawanych, które zostały wykonane w oparciu o przepisy PNAE G-7-009-89 (ПНАЭ Г-7-009-89) [40].

Szczegółowy proces badania oraz wymagania dotyczące urządzeń i personelu do realizacji każdej ze stosowanych w „jądrówce” metod badań nieniszczących opisywały kolejne dokumenty serii PNAE (np. ПНАЭ Г-7-014-89, ПНАЭ Г-7-015-89, ПНАЭ Г-7-016-89, ПНАЭ Г-7-017-89, ПНАЭ Г-7-018-89, ПНАЭ Г-7-019-89, ПНАЭ Г-7-025-90 [41], ПНАЭ Г-7-030-91, ПНАЭ Г-7-031-91, ПНАЭ Г-7-032-91), ale od 2014 zaczęła się sukcesywna ich wymiana. W 2014 roku wprowadzono trzy dokumenty typu НП: НП-88-14 [42], НП-89-14 [43] oraz НП-90-14 [44], które odpowiednio dotyczą badań z zastosowaniem prądów wirowych, badań wizualnych oraz badań penetracyjnych. Z kolei od września 2018 obowiązują ustanowione w styczniu i marcu 2018 kolejne dokumenty zastępujące przepisy typu PNAE. Tym razem są to normy typu GOST R 50.05.xx-2018 [45÷51] o podobnym brzmieniu.

3 Wymagania dotyczące personelu badań nieniszczących złączy spawanych urządzeń i konstrukcji dla energetyki jądrowej

W przypadku certyfikacji personelu NDT odpowiedzialnego za wykonanie badań na instalacjach nuklearnych wyróżnia się personel NDT kwalifikowany z podziałem na trzy stopnie (poziomy) kwalifikacji.

Pierwszy poziom kwalifikacji jest wymagany w przepisach dotyczących krajowych regulacji oraz projektów dotyczących projektów energetyki jądrowej. Co do certyfikacji personelu wymagania stawiane są w przepisach krajowych. W Stanach Zjednoczonych na przykład, obejmuje to badania wg ASNT - w dokumencie SNT-TC-1A [32] w ramach ASME Sekcja III, zaś w przepisach francuskich obejmuje badania zgodne z normą międzynarodową PN EN ISO 9712 [24], która została wymieniona w przepisach RCC-M.

Drugi stopień kwalifikacji związany jest z dodatkowym szkoleniem wewnętrznym, bezpośrednio związanym z wymaganiami stawianymi w stosunku do miejsca pracy oraz specyfiki działalności (badane elementy, materiały, etc.). Często ten stopień kwalifikacji jest wymagany lub zalecany przez pracodawcę lub klienta zanim pracownik przystąpi do właściwej certyfikacji z danej metody NDT.

Trzeci stopień kwalifikacji stawia największe wymagania w stosunku do personelu badawczego NDT. Wymaga się, aby niezależna strona trzecia była odpowiedzialna za kwalifikacje personelu NDT, co ma związek z posiadaniem wydanego certyfikatu z danej metody. Poziom trzeci zwykle jest wymagany do badań komponentów klasy pierwszej (*first class components*).

Ważnym aspektem są również wymagania w stosunku do personelu stawiane w odniesieniu do klasy komponentu (*class components*). W odniesieniu do komponentów klasy pierwszej (*Class 1*) wymaga się, aby personel był kwalifikowany zgodnie z wytycznymi norm. W większości państw nie jest wymagana kwalifikacja w stosunku do personelu NDT. Co do interpretacji wymagań stawianych w odniesieniu do poszczególnych przepisów zarówno ASNT, jak i norm EN i EN ISO nie jest to niestety takie proste. Z powodu różnych wymagań, trudność w łatwym przeniesieniu certyfikacji między państwami stanowi poważną przeszkodę dla dostawców i operatorów zarówno istniejących instalacji, jak i projektowanych oraz nowo budowanych.

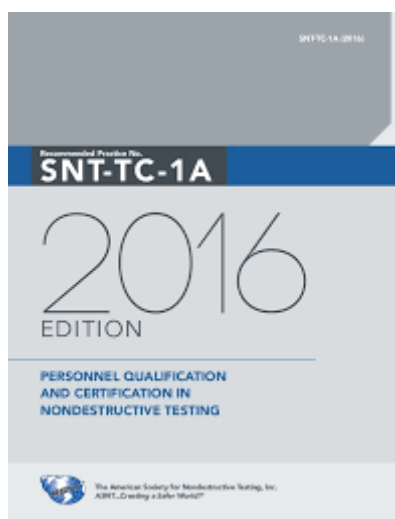
Należy podkreślić, że zarówno w przepisach SNT-TC-1A oraz normie PN EN ISO 9712 opisano szczegółowo wytyczne dotyczące kwalifikacji personelu badawczego NDT na poziomie podstawowej wiedzy dotyczącej danej metody badań.

3.1 AFCEN

W przypadku norm europejskich w odniesieniu do wymagań stawianych na przykład we Francji wymagany jest, aby personel posiadał kwalifikacje zgodne z normą PN EN ISO 9712 [24], która została wymieniona w przepisach RCC-M jako norma wymagana dla personelu badającego elementy klasy pierwszej.

3.2 ASME

W Stanach Zjednoczonych regulacje dotyczące kwalifikacji personelu NDT opisano w wytycznych ASNT (Amerykańskie Towarzystwo Badania Nieniszczącego). Wymagania szczegółowo opisano w dokumencie SNT-TC-1A [32], na który powołuje się kod ASME Section III. Z kolei w dokumencie ANSI/ASNT CP-105 [52] przedstawiono zalecenia w zakresie szkolenia personelu NDT. Zaangażowanie kwalifikowanego personelu, podobnie jak w przypadku przepisów RCC-M, jest wymagane przede wszystkim podczas projektowania oraz budowy urządzeń zaliczanych do pierwszej klasy komponentów (*first class components*).



4 Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w poszczególnych kodach i normach

Poniżej w formie tabelarycznej przedstawiono rozdziały, podrozdziały i paragrafy odpowiednich sekcji kodów AFCEN RCC-M [3] i ASME Section III [2], w których są zawarte wymagania dotyczące badań nieniszczących urządzeń i materiałów stosowanych w elektrowniach jądrowych (tabl. 4.1 i 4.2). Szczegółowo wymagania opisano w pkt. 2 i 3 niniejszych wytycznych.

Tablica 4.1

Wymagania dotyczące personelu badań nieniszczących (NDT) urządzeń w elektrowniach jądrowych

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1.	RCC-M	EN ISO 9712	EN ISO 9712	EN ISO 9712	EN ISO 9712
2.	ASME Section III ASME Section V	SNT-TC-1A	SNT-TC-1A	SNT-TC-1A	SNT-TC-1A

Tablica 4.1

Badania nieniszczące (NDT) wg RCC-M oraz ASME

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1.1	RCC-M	Subsection B	Subsection C	Subsection D	EN EN ISO
1.1.1	Materiały	B 2500	C 2500	D 2500	Wg spisu w pkt. 6
1.1.2	Wytwarzanie i badanie	B 4000	C 4000	D 4000	
1.1.2.1	Spawanie i procesy pokrewne	B 4400	C 4400	D 4400	
1.2	RCC-M Section III	✓	✓	✓	
2.1	ASME Section III	Subsection NB	Subsection NC	Subsection ND	
2.1.1	Materiały	NB-2000	NC-2000	ND-2000	ASME Sect. V
2.1.2	Wytwarzanie i instalowanie	NB-4000	NC-4000	ND-4000	
2.1.3	Badanie	NB-5000	NC-5000	ND-5000	
2.2	ASME Section V	✓	✓	✓	

5 Podsumowanie

W niniejszych wytycznych przeprowadzono analizę wymagań odpowiednich sekcji kodów AFCEN oraz ASME dotyczących badań nieniszczących (NDT) złączy spawanych urządzeń i konstrukcji Class 1, 2, 3 podczas ich wytwarzania oraz urządzeń nie objętych klasyfikacją. Kody te są stosowane podczas budowy reaktorów EPR™ firmy Framatome, AP1000 firmy Westinghouse oraz ABWR firmy Hitachi GE, które od lat uważa się za głównych potencjalnych dostawców technologii jądrowych dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Konieczność stosowania jednego z ww. kodów wynika z faktu, że Polska nie posiada własnych przepisów „jądrowych”, co tłumaczy się brakiem elektrowni jądrowych w naszym kraju. Z kolei wybór pomiędzy tymi kodami zależy od technologii jądrowej zwycięzcy przetargu. Uzasadnienie prawne stosowania kodu RCC-M [3] lub ASME Section III [2] przedstawiono w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909), w którym stwierdza się, że do projektowania, materiałów i elementów stosowanych do wytwarzania, naprawy lub modernizacji, wytwarzania, eksploatacji, naprawy i modernizacji oraz likwidacji urządzeń EJ należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa stosuje się wymagania techniczne określone w dokumentach odniesienia mających zastosowanie do tych urządzeń, o ile przepisy rozporządzenia nie stanowią inaczej. Z kolei do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej.

Wspomniane powyżej kody ASME Section III [2] i RCC-M [3] zawierają wymagania w zakresie NDT tylko na etapie wytwarzania urządzeń ciśnieniowych Class 1, 2 i 3.

Analiza wykazała, że kod RCC-M posiada osobną sekcję **Section III „Examination Methods”** dotyczącą badań urządzeń jądrowych. W sekcji tej opisano wszystkie metody badawcze, a zatem niszczące i nieniszczące (NDT). Przedstawiono w niej przede wszystkim ogólne zasady przeprowadzenia tych badań, jak również wymagania do rodzaju i przygotowania próbek oraz urządzeń badawczych, w tym ich

weryfikacji. W sekcji tej brakuje więc zakresu badań oraz kryteriów oceny w zależności od klasy bezpieczeństwa wyrobu, które znajdują się w sekcji **Section I „Nuclear Island Components”** kodu RCC-M. Wymagania do projektowania, wytwarzania, spawania, a także badań nieniszczących opisano w poniższych podsekcjach Sekcji I kodu RCC-M:

- Subsection B „Class 1 Components”
- Subsection C „Class 2 Components”
- Subsection D „Class 3 Components”
- Subsection E „Small Components” (*small components in Class 1 and 2*)

Wymagania w zakresie NDT urządzeń i komponentów nie objętych klasyfikacją bazują na normach i przepisach europejskich i międzynarodowych typu EN lub EN ISO. Badania nieniszczące są więc takie same, jak dla urządzeń ciśnieniowych wytwarzanych w oparciu o wymagania PED (Dyrektywy ciśnieniowej). Są one realizowane wg poszczególnych norm związanych bezpośrednio z metodą badań NDT, do których zaliczymy badania radiograficzne (RT), ultradźwiękowe (UT), penetracyjne (PT), magnetyczno-proszkowe (MT) oraz badania wizualne (VT) oraz metodą prądów wirowych (ET).

ASME Section III [2] składa się z kolei z pięciu części (*Division*) oraz wielu podsekcji (*Subsection*). Wymagania dotyczące urządzeń ciśnieniowych Class 1, 2 i 3 są opisane w Division 1, a zatem wymagane badania nieniszczące są także w niej obecne.

Kod ASME Section III, podobnie jak kod AFCEN RCC-M, nie definiuje, które z urządzeń lub komponentów elektrowni są zaliczane do poszczególnych klas bezpieczeństwa (poza komponentami Class 1), lecz zawiera tylko wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów, które w dokumentacji konstrukcyjnej są zaliczane do Class 1, 2 i 3. Wymagania te są opisane w poniższych podsekcjach kodu ASME Section III [2]:

- Subsection NB „Class 1 Components”
- Subsection NC „Class 2 Components”
- Subsection ND „Class 3 Components”

Struktura podsekcji NB, NC oraz ND kodu ASME Section III jest zawsze taka sama (tabl. 2.1). Powoduje to, że badania urządzeń ciśnieniowych niezależnie od klasy bezpieczeństwa zawsze są opisywane w rozdziale Nx-5000, a więc NB-5000, NC-5000 oraz ND-5000.

Analiza rozdziałów o symbolu Nx-5000 wykazała, że już na wstępie, w podparagrafie NB-5110, wskazano, że badania urządzeń jądrowych przeprowadza się w oparciu o wymagania sekcji ASME Section V [30], w której szczegółowo opisano zasady, urządzenia i procedury prowadzenia badań nieniszczących, w tym ultradźwiękowych, radiograficznych, magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych. W podparagrafach rozdziałów Nx-5000 opisano więc tylko specyficzne wymagania i kryteria oceny w zależności od klasy urządzenia: Class 1, 2 i 3.

W każdej sekcji, niezależnie od klasy urządzenia ciśnieniowych dokonano podziału spoin w zależności od ich umiejscowienia w konstrukcji urządzenia oraz określono je symbolami A, B, C i D (rys. 2.1), podobnie jak ma to miejsce w rozdziale kodzie ASME Section VIII [28]. Podział ten jest o tyle istotny z punktu widzenia rozważań dotyczących badań nieniszczących (NDT) połączeń spawanych w urządzeniach ciśnieniowych stosowanych w elektrowni jądrowej (EJ), że stanowi podstawę do określenia wymagań jakościowych i zastosowania poszczególnych metod NDT.

Dodatkowo w niniejszych wytycznych przedstawiono wymagania niemieckich norm jądrowych KTA (*Kerntechnischer Ausschuss*) oraz przepisów rosyjskich PNAE (*Правила и нормы в атомной энергетике*), gdyż ich znajomość może być przydatna krajowym firmom świadczącym usługi w zakresie NDT przy realizacji dostaw wyrobów „jądrowych” na rynek niemiecki lub dla elektrowni jądrowych z reaktorami typu VVER w Czechach, Finlandii, Bułgarii oraz na Słowacji i Węgrzech, które są od dawna eksploatowane lub zostaną wkrótce wybudowane, np. VVER-1200 w Finlandii (Hanhikivi 1) i na Węgrzech (Paks II).

W przypadku kodu RCC-M wymaga się, aby personel badań nieniszczących (NDT) posiadał kwalifikacje zgodne z normą PN EN ISO 9712 [24]. Z kolei w kodzie ASME Section III stwierdza się, że kwalifikacje personelu NDT powinny być zgodne z wymaganiami SNT-TC-1A [32] opracowanymi przez ASNT (Amerykańskie Towarzystwo Badań Nieniszczących).

6 Piśmiennictwo

1. Program polskiej energetyki jądrowej. Monitor Polski, Warszawa, 24 czerwca 2014, Poz. 502.
2. ASME B&PV, Section III „Rules for construction of nuclear facility components”. American Society of Mechanical Engineers, New York.
3. AFCEN RCC-M „Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands”. 2012 Edition.
4. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna, 2014.
5. Safety of Nuclear Power Plants: Design. IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna, 2016.
6. Safety Assessment for Facilities and Activities. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1), IAEA, Vienna, 2016.
7. ASME B&PV, Section XI „Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components ”. American Society of Mechanical Engineers, New York.
8. AFCEN RSE-M „In-Service Inspection Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands”. 2017 Edition.
9. PN-EN ISO 16810:2014-06 „Badania nieniszczące – Badania ultradźwiękowe – Zasady ogólne“.
10. PN-EN 12668-1:2010 „Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 1: Aparatura“.
11. PN-EN 12668-2:2010 „Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 2: Głowice“.
12. PN-EN ISO 2400:2013-03 „Badania nieniszczące – Badania ultradźwiękowe – Opis wzorca Nr 1“.
13. PN-EN ISO 16811:2014-06 „Badania nieniszczące – Badania ultradźwiękowe – Nastawianie czułości i zakresu obserwacji“.
14. PN-EN 12668-3:2014-02 „Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 3: Aparatura kompletna“.
15. PN-EN ISO 11666:2018-04 „Badania nieniszczące – Badania ultradźwiękowe – Poziomy akceptacji“.

16. PN-EN 10228-3:2016-07 „Badania nieniszczące odkuwek stalowych – Część 3: Badanie ultradźwiękowe odkuwek ze stali ferrytycznych lub martenzytycznych“.
17. PN-EN 10228-4:2016-07 „Badania nieniszczące odkuwek stalowych – Część 4: Badanie ultradźwiękowe odkuwek ze stali nierdzewnych austenitycznych i austenityczno-ferrytycznych“.
18. PN-EN 10308:2004 „Badania nieniszczące – Badanie ultradźwiękowe prętów stalowych“.
19. PN-EN 10160:2001 „Badanie ultradźwiękowe wyrobów stalowych płaskich grubości równej lub większej niż 6 mm (metoda echa)“.
20. PN-EN 10307:2004 „Badania nieniszczące – Badanie ultradźwiękowe wyrobów płaskich ze stali nierdzewnych austenitycznych i austenityczno-ferrytycznych o grubości równej lub większej niż 6 mm (metoda odbicia)“.
21. PN-EN ISO 10893-10:2011 „Badania nieniszczące rur stalowych – Część 10: Automatyczne badanie ultradźwiękowe rur stalowych bez szwu i spawanych (z wyłączeniem rur spawanych łukiem krytym) w celu wykrycia nieciągłości wzdłużnych i/lub poprzecznych“.
22. PN-EN ISO 23279:2017-11 „Badania nieniszczące spoin – Badania ultradźwiękowe – Charakterystyka nieciągłości w spoinach“.
23. PN-EN 13018:2016-04 „Badania nieniszczące – Badania wizualne – Zasady ogólne“.
24. PN-EN ISO 9712:2012 „Badania nieniszczące – Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących“.
25. PN-EN ISO 3452-1:2013-08 „Badania nieniszczące – Badania penetracyjne – Część 1: Zasady ogólne“.
26. PN-EN ISO 5817:2014-05 „Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych”.
27. EN ISO 17635 „Badania nieniszczące spoin – Zasady ogólne dotyczące metali“.
28. ASME B&PVC, Section III – Subsection NCA „General Requirements for Division 1 and Division 2”, 2015.
29. ASME B&PVC, Section IX „Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators”, 2015.
30. ASME B&PVC, Section V „Nondestructive Examination”, 2015.

31. ISO/TR 15608:2017 „Welding – Guidelines for a metallic materials grouping system”.
32. ASTM Recommended Practice No. SNT-TC-1A, 2016 Edition „Personnel Qualification and Certification in Non-Destructive Testing”.
33. ASME B16.34-2013 „Valves Flanged, Threaded and Welding End”.
34. ASME B&PVC, Section VIII „Rules for Construction of Pressure Vessels”, 2015.
35. Hofer D., Schau H., Karabaki H.E., Hill R. Comparison of Germany KTA and ASME Nuclear Design Codes for Class 1, 2, 3 Components and Piping. Proceeding of the ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Division Conference PVP2011, July 17-21, 2011, Baltimore, Maryland, USA.
36. KTA 3201.3:2007-11 „Components of the Reactor Coolant Pressure Boundary of Light Water Reactors – Part 3: Manufacture”.
37. KTA 3211.3:2012-11 „Pressure- and activity-retaining components of systems outside the primary circuit – Part 3: Manufacture”.
38. KTA 3903:2012-11 „Inspection, Testing and Operation of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants”.
39. ПНАЭ Г-7-010-89 „Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля”.
40. ПНАЭ Г-7-009-89 „Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения”.
41. ПНАЭ Г-7-025-90 „Стальные отливки для атомных энергетических установок. Правила контроля”.
42. РБ 088-14 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Вихретоковый контроль".
43. РБ 089-14 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Визуальный и измерительный контроль".

44. РБ 090-14 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Капиллярный контроль".
45. ГОСТ Р 50.05.01-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Контроль герметичности газовыми и жидкостными методами”.
46. ГОСТ Р 50.05.02-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль сварных соединений и наплавленных покрытий”.
47. ГОСТ Р 50.05.03-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль и измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий”.
48. ГОСТ Р 50.05.04-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль сварных соединений из стали аустенитного класса”.
49. ГОСТ Р 50.05.05-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль основных материалов (полуфабрикатов)”.
50. ГОСТ Р 50.05.06-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Магнитопорошковый контроль”.
51. ГОСТ Р 50.05.07-2018 „Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Радиографический контроль”.
52. ANSI/ASNT CP-105-2016 „Training Outlines for Qualification of Nondestructive Personnel”.