

Charakterystyka ogólna rurociągów w elektrowniach jądrowych z reaktorami AP1000 i ABWR oraz wymagania ASME w zakresie ich spawania

Jerzy Niagaj

Wprowadzenie

W ramach realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) przyjętego na posiedzeniu Rady Ministrów w dniu 14 października 2016 roku, w kraju nieprzerwanie trwają prace nad przygotowaniem do budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. Jak wiadomo, wśród potencjalnych dostawców technologii jądrowej najczęściej wymienia się firmy: AREVA (EPR™), Hitachi GE (ABWR) oraz Westinghouse (AP1000), chociaż wciąż nie wyklucza się udziału w przetargu kanadyjskiej firmy SNC-Lavalin (EC6) oraz koreańskiej KEPCO (APR1400). Niezależnie od typu reaktora oraz jego dostawcy, istotną częścią układów technologicznych elektrowni jądrowej stanowią rurociągi (*piping*) oraz elementy lub systemy wsporcze (*pipe supports*). Poniżej omówiono wymagania dotyczące wytwarzania rurociągów podczas budowy elektrowni jądrowych z reaktorami AP1000 i ABWR.

Klasyfikacja rurociągów w elektrowniach jądrowych

Elektrownia jądrowa działa w taki sposób, że wytwarzanie pary zasilającej turbinę odbywa się w wyniku reakcji jądrowej (rozszczipiania jąder atomowych). Zasady projektowania, wytwarzania i odbioru urządzeń i rurociągów istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego są ujęte w specjalnych przepisach i normach, tj.: kod ASME Section III [1] lub AFCEN RCC-M [2]. W kodach tych wymagania są uzależnione od klasy bezpieczeństwa (*safety-related classification*), którą z kolei ustala się na podstawie funkcji urządzeń i układów oraz ich znaczenia dla bezpieczeństwa ujętych w zaleceniach IAEA No. SSG-30 [3]. Zarówno kod AFCEN, jak i ASME zawierają wymagania dla trzech klas struktur, układów i komponentów: klasy 1, 2 oraz 3, gdzie klasa 1 obejmuje układy, których awaria może wywołać najpoważniejsze skutki dla osób i otoczenia.

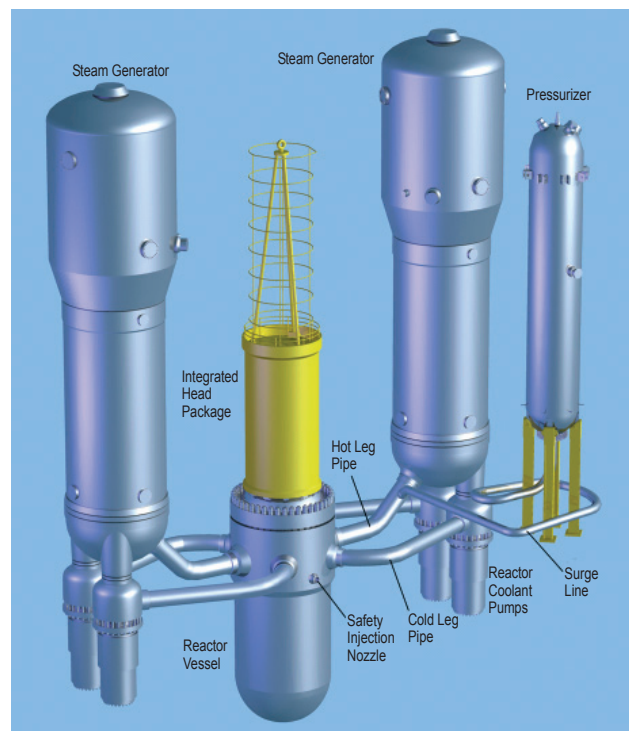
W Polsce w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) w § 3. wskazuje się, że podstawą zróżnicowania warunków technicznych dla urządzeń elektrowni jądrowej (EJ) jest klasyfikacja bezpieczeństwa, co jest zbieżne z kodami ASME i RCC-M. W § 4.1. rozporządzenia podano natomiast, 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. 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 związku z powyższym, w przypadku budowy w Polsce elektrowni jądrowej z reaktorem AP1000 firmy Westinghouse lub ABWR firmy Hitachi GE, do projektowania, wykonania i odbioru rurociągów klasy 1, 2, 3 będą stosowane wymagania zawarte w odpowiednich sekcjach i rozdziałach kodu ASME Section III [1] i innych przywołanych w nich sekcji.

Charakterystyka ogólna rurociągów w elektrowni z reaktorem AP1000

Według informacji udostępnionych przez firmę Westinghouse na stronach internetowych [4], w trakcie budowy jednej elektrowni jądrowej trzeba ułożyć 44 mile (~71 km) rurociągów. W obiegu pierwotnym (rys. 1) rurociąg wylotowy (*Outlet Piping*) ma średnicę 31" (787,4 mm) i grubość ścianki 3,25" (82,55 mm), a powrotny (*Inlet Piping*) - 22" (558,8 mm) i ściankę 2,56" (65,02 mm). Oba te rurociągi są wykonane z austenitycznej stali nierdzewnej SA-376 TP316LN. Z kolei główny rurociąg dostarczania pary charakteryzuje się średnicą 38" (965,2 mm) i jest wykonany z rur bez szwu ze stali węglowej SA-335 Gr P11. Większość



Rys. 1. Schemat obiegu jądrowego reaktora AP1000 [5]

Dr inż. Jerzy Niagaj, prof. nzw. - Pełnomocnik ds. Energetyki Jądrowej, Instytut Spawalnictwa, Zakład Technologii Spawalniczych

pozostałych rurociągów tworzących układy wyspy jądrowej do pełnienia różnych funkcji jest wykonywana ze stali SA-312 TP316N oraz w mniejszym stopniu ze stali SA-312 TP304L. Rurki w wytwornicy pary są wykonywane ze stopu niklu w gatunku N06690 (Alloy 690).

Charakterystyka ogólna rurociągów w elektrowni z reaktorem ABWR

W przypadku reaktora ABWR, łączna długość rurociągów w elektrowni jądrowej wynosi 150 km [6]. Podczas ich wykonywania na placu budowy wykonuje się około 30 000 złączy spawanych. Wytworzona w reaktorze ABWR para jest dostarczana bezpośrednio do turbiny (rys. 2) za pomocą

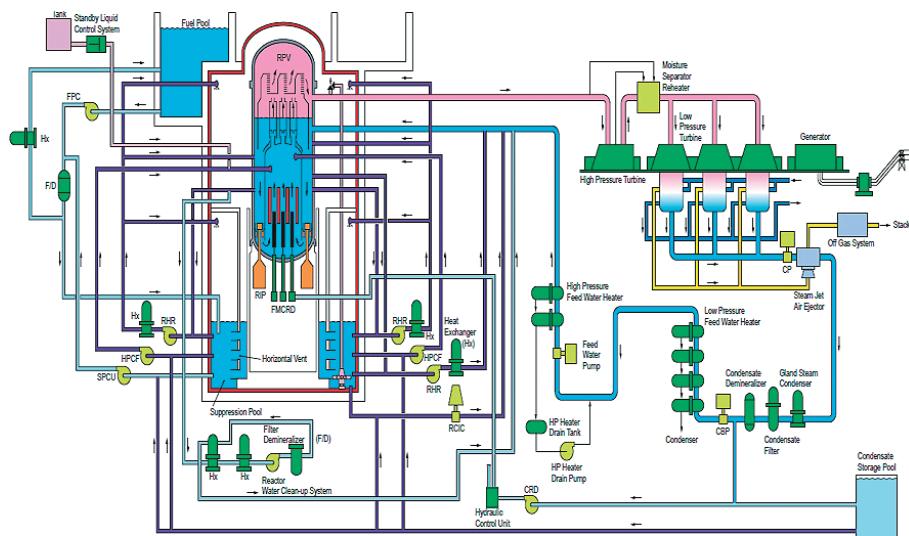
czterech głównych rurociągów ze stali węglowej (rurociągi Main Steam oznaczone kolorem czerwonym na rysunku 3) o średnicy 28" (711,2 mm). Wiele innych instalacji rurowch jest wykonywanych zarówno ze stali węglowych, jak i austenitycznych stali nierdzewnych, ze względu na warunki pracy, a przede wszystkim oddziaływanie korozyjne. Na przykład, w układzie odprowadzania ciepła resztkowego (RHR - Residual Heat Removal System) rurociągi wysokiego (High Pressure Primary Piping) i niskiego ciśnienia (Low Pressure) obwodu pierwotnego (klasy 1 oraz klasy 2) są wykonane z rur bez szwu ze stali węglowej SA-333 Gr 6 oraz ze szwem SA-672 Gr C70. Z kolei rurociągi basenu paliwowego klasy 3 (Interface to Fuel Pool Piping) tworzą rury ze stali nierdzewnej SA-376 typu 316L, SA-312 Type 316L, SA-358 Type 316L.

Wymagania ASME Section III do rurociągów klasy 1

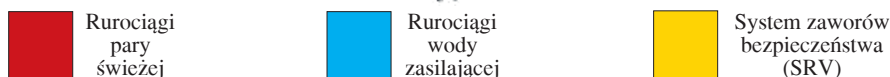
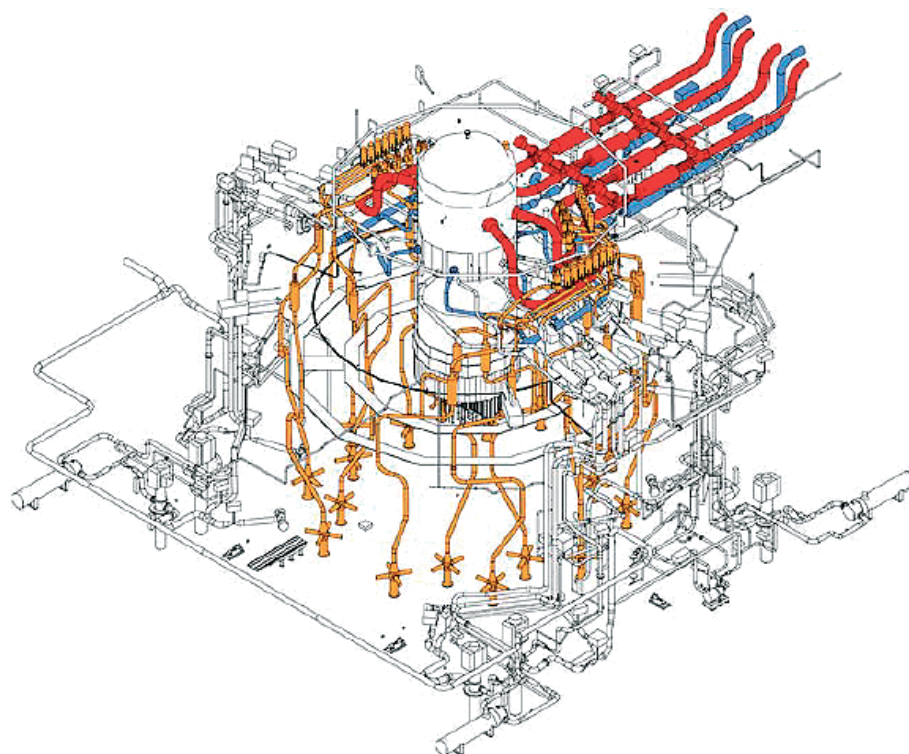
W odróżnieniu od kodów AFCEN [2], w których zawarte są wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i odbiorów reaktorów wodnych ciśnieniowych (PWR), przepisy ASME Section III nie dotyczą konkretnego typu reaktora. Wymagania zatem mają zastosowanie zarówno w przypadku reaktora typu PWR (w tym AP1000), jak i BWR (w tym ABWR).

ASME Section III składa się z pięciu części (Division) oraz wielu podsekcji (Subsection). Wymagania dotyczące rurociągów klasy 1, 2 i 3 oraz wsporników są opisane w Division 1. Pierwszą w kolejności jest podsekcja NCA [9], w której przedstawiono wymagania dotyczące zapewnienia jakości, znakowania wyrobów oraz autoryzowanych inspekcji. Zawiera ona również aktualne interpretacje zapisów Section III, w tym z najnowszego wydania.

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 podsekcji (NCA-2120 „Purpose of Classifying Items of a Nuclear Power Plant” i NCA-2130 „Classifications and Rules of This



Rys. 2. Schemat przebiegu niektórych rurociągów reaktora ABWR [7]



Rys. 3. Schemat głównego układu dostarczania pary reaktora ABWR [8]

Section”). Powyższy zapis powoduje, że producenci poszczególnych urządzeń i komponentów elektrowni jądrowych również powinni przestrzegać wymagań kodu ASME.

Kod ASME Section III, podobnie jak kod AFCEN RCCM, nie definiuje zatem, które z urządzeń lub komponentów elektrowni są zaliczane do poszczególnych klas bezpieczeństwa (poza komponentami klasy 1), lecz zawiera wyłącznie wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania, kontroli i odbioru urządzeń, komponentów i układów, które w dokumentacji konstrukcyjnej są zaliczane do klasy 1, 2 i 3 (w tym rurociągi) oraz wsporniki i zawieszania (supports). Wymagania te są opisane w poniższych podsekcjach kodu **ASME Section III Division 1:**

- Subsection NB „Class 1 Components” [10]
- Subsection NC „Class 2 Components” [11]
- Subsection ND „Class 3 Components” [12]
- Subsection NF „Supports” [13]

W podsekcji NCA nadmienia się również to, że firmy projektujące, wytwarzające oraz instalujące komponenty i wsporniki stosowane w elektrowniach jądrowych i innych obiektach jądrowych w oparciu o kod ASME Section III powinny zostać sprawdzone i posiadać stosowany certyfikat typu „N”, mianowicie:

N Certificate - Vessels, pumps, valves, *pipng systems*, storage tanks, core support structures, concrete containments, and transport packaging

NPT Certificate - Parts, appurtenances, welded tubular products, and *pipng subassemblies*

NA Certificate - *Field installation* and *shop assembly* of all items

NS Certificate - *Supports*

W odniesieniu do rurociągów oraz systemów rurociągowych i wsporczych, certyfikat typu „N” powinien posiadać wytwórca kompletnych układów rurociągowych, certyfikat typu „NPT” - wytwórca prefabrykujący poszczególne fragmenty rurociągów, certyfikat typu „NA” - wytwórca wykonujący montaż wszystkich komponentów, w tym rurociągów, w warsztacie i na placu budowy oraz certyfikat typu „NS” - wytwórca wsporników i zawiesz. Wyroby będą wówczas ostemplowane specjalnym certyfikacyjnym znakiem graficznym.

Tablica 1. Struktura podsekcji NB, NC, ND oraz NF w kodzie 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

* nie dotyczy Subsection NF - Supports

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

Struktura podsekcji NB, NC, ND oraz NF kodu ASME Section III jest zawsze taka sama i zawiera główne rozdziały przedstawione w tablicy 1.

Poniżej przedstawiono przykładowe tytuły poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów podsekcji NB [10], która zawiera zasady i wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, prób odbiorowych i przygotowywania raportów w odniesieniu do komponentów, w tym rurociągów, zaliczanych do klasy 1. Wymagania te są przedstawione w następujących rozdziałach i wybranych podrozdziałach:

- NB-1000 Introduction
- NB-2000 Material
 - o NB-2100 General Requirements for Material
 - o NB-2200 Material Test Coupons and Specimens for Ferritic Steel Material
 - NB-2210 Heat Treatment Requirements
 - NB-2220 Procedure for Obtaining Test Coupons and Specimens for Quenched and Tempered Material
 - o NB-2300 Fracture Toughness Requirements for Material
 - NB-2310 Material to Be Impact Tested
 - NB-2320 Impact Test Procedures
 - NB-2330 Test Requirements and Acceptance Standards
 - NB-2340 Number of Impact Tests Required
 - NB-2350 Retests
 - NB-2360 Calibration of Instruments and Equipment
 - o NB-2400 Welding Materials
 - NB-2410 General Requirements
 - NB-2420 Required Tests
 - NB-2430 Weld Metal Test
 - NB-2440 Storage and Handling of Welding Material
 - o NB-2500 Examination and Repair of Pressure-Retaining Material
 - o NB-2600 Material Organizations' Quality System Programs
 - o NB-2700 Dimensional Standards
- NB-3000 Design
- NB-4000 Fabrication and Installation
 - o NB-4100 General Requirements
 - o NB-4200 Forming, Fitting, and Aligning
 - o NB-4300 Welding Qualifications
 - o NB-4400 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
 - o NB-4500 Brazing
 - o NB-4600 Heat Treatment
 - o NB-4700 Mechanical Joints
- NB-5000 Examination
 - o 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-5480 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
- NBE-6000 Testing
 - NB-6100 General Requirements
 - NB-6200 Hydrostatic Tests
 - NB-6300 Pneumatic Tests
 - NB-6400 Pressure Test Gages
 - NB-6600 Special Test Pressure Situations
- NB-7000 Overpressure Protection
- NB-8000 Nameplates, Stamping with Certification Mark, and Reports.

W powyższych rozdziałach opisano wymagania dotyczące zakresu stosowania wymagań (NB-1000), stali i wyrobów z niej oraz spoiw stosowanych do wykonania komponentów i rurociągów (NB-2000), projektowania (NB-3000), całego procesu wytwarzania (NB-4000), badań nieniszczących (NB-5000), prób odbiorowych (NB-6000) oraz ochrony przed nadciśnieniem (NB-7000). W rozdziale NB-8000 wskazano ponadto, że komponenty klasy 1 powinny posiadać tabliczki znamionowe, znak certyfikacyjny oraz raporty zgodne z wymaganiami rozdziału NCA-8000 [9].

Wymagania zawarte w ww. rozdziałach i podrozdziałach są bardzo szczegółowe, co widać dzięki zestawieniu tytułów rozdziałów oraz niektórych podrozdziałów. Przykładowo, w rozdziale NB-2000 w odniesieniu do stali i spoiw oprócz wymagań standardowych (skład chemiczny, własności wytrzymałościowe itd.), przedstawiono zakres prób dodatkowych, ich przebieg, kryteria oceny wyników badań, jak również wymagania sprzętowe i inne. W pozostałych podrozdziałach omówiono z kolei dopuszczalność i przebieg napraw materiałów podstawowych (NB-2500) oraz system zapewnienia jakości dostawcy (NB-2600). Należy nadmienić, że materiały podstawowe na komponenty znajdujące się pod ciśnieniem, w tym rurociągi, powinny speł-

niać wymagania zawarte w ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, Tables 2A and 2B [14] wraz ze wszystkimi wymaganiami dodatkowymi zawartymi w rozdziale NB-2000. Z kolei spoiwa powinny spełniać wymagania specyfikacji (norm) typu SFA przedstawionych w ASME Section II, Part C - „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals” [15] z wyjątkiem przypadków dozwolonych w sekcji ASME Section IX „Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators” [16] z uwzględnieniem wymagań dodatkowych opisanych w rozdziale NB-2400.

W rozdziale NB-4300 dotyczącym kwalifikowania technologii spawania wskazuje się, że procedura powinna zostać przeprowadzona według wymagań ASME Section IX [16] wraz z wymaganiami dodatkowymi opisanymi na około 10 stronach w rozdziale NB-3000.

Wymagania ASME Section III do rurociągów klasy 2 i 3

W przypadku komponentów klasy 2 oraz klasy 3, w tym rurociągów, wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, kontroli, prób odbiorowych i przygotowywania raportów są opisane w Subsection NC oraz Subsection ND. Jak pokazano w tablicy 1, tytuły rozdziałów są dokładnie takie same, jak w przypadku Subsection NB, a tytuły podrozdziałów są w większości takie same lub bardzo podobne. Większe lub mniejsze różnice występują jednak w treści niektórych rozdziałów, w których wymagania zostały zmodyfikowane poprzez dodatkowe uwarunkowania, usunięcie, a czasem także dodanie treści. Największe różnice można zauważyć w rozdziałach NC-2000 i ND-2000 oraz NC-3000 i ND-3000 dotyczących materiałów i projektowania. Pewne zmiany występują również w rozdziałach związanych z wytwarzaniem i spawaniem, np. NC-4300 i ND-4300 „Welding Qualifications”.

W stosunku do materiałów różnica polega na tym, że spis możliwych do zastosowania materiałów w postaci odkuwek, blach lub rur staje się mniej restrykcyjny i nieco poszerza się przy zmianie klasy z 1. na 2. lub 3. W przypadku komponentów klasy 2 zaleca się stosowanie materiałów ujętych w ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, Tables 1A, 1B, and 3 [14], ale do wykonania zbiorników projektowanych w oparciu o zalecenia NC-3200 należy stosować stale z tablic 2A, 2B, and 4 [14]. Z kolei w przypadku wszystkich komponentów klasy 3 zaleca się stosowanie materiałów ujętych w ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, tablice 1A, 1B i 3 [14]. Jest również możliwość wykorzystania innych niż wymieniono materiałów, ale tylko do wytwarzania niektórych komponentów klasy 2 i klasy 3, co zostało opisane w odpowiednich podrozdziałach pt.: „Permitted Material Specifications” o symbolach NC-2121 oraz ND-2121.

W przypadku klasy 2 oraz klasy 3, podobnie jak dla klasy 1, spoiwa powinny spełniać wymagania specyfikacji (norm) typu SFA przedstawionych w ASME Section II, Part C - „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals” [15] z wyjątkiem przypadków dozwolonych w sekcji ASME Section IX [16] z uwzględnieniem wymagań dodatkowych opisanych w rozdziałach NC-2400 lub ND-2400.

Rurociągi nie zaliczane do klasy 1, 2 lub 3

Jak już wspomniano na początku artykułu, 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 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 rurociągi nie objęte klasyfikacją związaną z bezpieczeństwem jądrowym powinny spełniać wymagania odpowiednich norm amerykańskich. Normą odniesienia w przypadku rurociągów energetycznych jest norma ASME B31.1 [17].

Poniżej przedstawiono zawartość rozdziałów ww. normy ASME B31.1:

- Chapter I Scope and Definitions
 - Chapter II Design
 - Chapter III Materials
 - 123 General Requirements
 - 124 Limitations on Materials
 - 125 Creep Strength Enhanced Ferritic Materials
 - Chapter IV Dimensional Requirements
 - Chapter V Fabrication, Assembly, and Erection
 - 127 Welding
 - 128 Brazing and Soldering
 - 129 Bending and Forming
 - 130 Requirements for Fabricating and Attaching Pipe Supports
 - 131 Welding Preheat
 - 132 Postweld Heat Treatment
 - 133 Stamping
 - 135 Assembly
 - Chapter VI Inspection, Examination, and Testing
 - 136 Inspection and Examination
 - 137 Pressure Tests
 - Chapter VII Operation and Maintenance
- Mandatory Appendices
Nonmandatory Appendices.

W punkcie 127 dotyczącym spawania, już na wstępie, w uwagach ogólnych stwierdza się, że procesy spawalnicze stosowane do łączenia rurociągów powinny spełniać wszystkie wymagania dotyczące kwalifikowania technologii spawania ujęte w ASME Section IX „Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators” [16]. W punkcie tym opisano także szczegóły procesów produkcyjnych związane ze specyfiką spawania rur. W pkt. 127.2.1 stwierdzono, że spoiwa powinny spełniać wymagania specyfikacji (norm) typu SFA zestawionych w ASME Section II, Part C - „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals” [15].

Podsumowanie

Dostępne publikacje techniczne wskazują, że łączna długość rurociągów w elektrowniach jądrowych z reaktorami

AP1000 lub ABWR wynosi od 70 do 150 km, a liczba wykonywanych spoin może sięgać ponad 30 tysięcy. Rurociągi o różnym przeznaczeniu i klasie bezpieczeństwa są wykonywane zarówno z rur ze stali węglowych, jak i nierdzewnych, przy czym te ostatnie stanowią ponad połowę ogólnej długości.

W kodzie ASME Section III są przedstawione wymagania dotyczące rurociągów w trzech klasach bezpieczeństwa: 1, 2 i 3. Klasa rurociągu jest uzależniona od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa. Wg kodu ASME Sect. III, klasa zbiorników i rurociągów jest określona w ich specyfikacji konstrukcyjnej, co warunkuje, że ASME nie definiuje, które z poszczególnych rurociągów należą do klasy 1, 2 lub 3, lecz zawiera wymagania w zakresie ich projektowania, wytwarzania, kontroli i odbiorów. Wyjątek stanowi klasa 1, do której zawsze są zaliczane rurociągi układu chłodzenia rdzenia reaktora.

Z przeprowadzonej analizy wymagań kodu ASME Section III w zakresie rurociągów wynika, że wszystkie odwołania w tekście przepisów dotyczą poszczególnych sekcji ASME, które z kolei powołują się na własne załączniki lub normy amerykańskie typu ASTM, AWS, ANSI/AISC i inne. W przypadku rurociągów nie objętych klasyfikacją bezpieczeństwa, ich wytwarzanie należy prowadzić w oparciu o wymagania normy ASME B31.1 [17].

Do wykonania większości rurociągów zaleca się stosowanie rur ze stali węglowych powszechnie stosowanych w instalacjach elektrowni konwencjonalnych oraz rur z austenitycznych stali nierdzewnych typu AISI 304L lub 316L, które są szeroko stosowane nie tylko w energetyce tradycyjnej, lecz również w instalacjach przemysłu chemicznego, petrochemicznego oraz spożywczego. Z przetworzeniem obu tych rodzajów stali (cięciem, gięciem i spawaniem) krajowe firmy z branży metalowej nie powinny mieć większych problemów. Warunkiem udziału w budowie odpowiedzialnych rurociągów w elektrowni jądrowej jest m.in. posiadanie:

- sprawdzonego i certyfikowanego systemu zapewnienia jakości uwzględniającego specyficzne wymagania jądrowe,
- sprawdzonych i kwalifikowanych technologii spawalniczych,
- personelu o potwierdzonych kwalifikacjach,
- doświadczenia w zakresie prefabrykacji rurociągów w warunkach warsztatowych i spawania na montażu,
- odpowiednio wyposażonych i przygotowanych hal produkcyjnych (przede wszystkim z punktu widzenia czystości)
- odpowiednich mocy produkcyjnych.

Artykuł powstał w ramach projektu współfinansowanego ze środków Ministerstwa Energii w ramach wdrażania energetyki jądrowej w Polsce.

LITERATURA

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III „Rules for construction of nuclear facility components”. American Society of Mechanical Engineers, New York, 2015.

2. AFCEN RCC-M „Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands”. 2016 Edition.
 3. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna, 2014.
 4. <http://www.westinghousenuclear.com/Why-Nuclear-Jobs> [1.08.2017]
 5. *Gaio P.*: AP1000: The PWR Revisited. IAEA International Conference on Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century, 27 October 2009.
 6. *Kajiyama N., Hamamura K., Murayama K.*: Hitachi's Involvement in Nuclear Power Plant Construction in Japan. Hitachi Review, vol. 58 (2009), No.2.
 7. The ABWR Plant. General Description. GE Energy, USA, December 2006.
 8. The ABWR Plant. General Description. GE Hitachi Nuclear Energy, USA, 7.1.2007.
 9. ASME B&PVC, Section III - Subsection NCA „General Requirements for Division 1 and Division 2”, 2015.
 10. ASME B&PVC, Section III, Division 1 - Subsection NB „Class 1 Components”, 2015.
 11. ASME B&PVC, Section III, Division 1 - Subsection NC „Class 2 Components”, 2015.
 12. ASME B&PVC, Section III, Division 1 - Subsection ND „Class 3 Components”, 2015.
 13. ASME B&PVC, Section III, Division 1 - Subsection NF „Supports”, 2015.
 14. ASME B&PVC, Section II, Part D „Properties (Customary)”, 2015.
 15. ASME B&PVC, Section II, Part C „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals”, 2015.
 16. ASME B&PVC, Section IX „Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators”, 2015.
 17. ASME B31.1-2016 „Power piping”.
-