

Warszawa, 2016



Ministerstwo
Energii

Polski przemysł dla energetyki jądrowej

WYTYCZNE

WSPOMAGAJĄCE DZIAŁANIA PRZEDSIĘBIORSTW KRAJOWYCH W BUDOWIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH

RUROCIĄGI KLASY 1, 2, 3 ORAZ NIE OBJĘTE KLASYFIKACJĄ
W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH



Instytut Spawalnictwa

Autor opracowania:

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

Zamawiający:

Ministerstwo Energii

Plac Trzech Krzyży 3/5

00-507 Warszawa

Zakres wytycznych:

Niniejsze wytyczne zawierają zestawienie wymagań zawartych w najczęściej stosowanych na świecie amerykańskich i francuskich kodach jądrowych w zakresie wytwarzania rurociągów klasy 1, 2, 3 oraz nie objętych klasyfikacją podczas budowy elektrowni jądrowych.

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, Plac Trzech Krzyży 3/5, 00-507 Warszawa lub na adres e-mail: przemysl.jadrowy@me.gov.pl

Wytyczne nr: W/ME/DEJ/IS/03/16, Wydanie 1

ISBN 978-83-61272-65-6

Classes 1, 2, 3 and non-nuclear piping in nuclear power plants. Instytut Spawalnictwa, 2016.

Nakład 500 szt.

© Wszystkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

	str.
1 Wprowadzenie	5
2 Rurociągi klasy 1, 2, 3 i rurociągi nie objęte klasyfikacją	8
2.1 Klasyfikacja rurociągów w zastosowaniach jądrowych	8
2.2 Krótka charakterystyka rurociągów w elektrowniach jądrowych . . .	10
2.3 Wymagania sekcji RCC-M kodu AFCEN	18
2.3.1 Class 1 Components	19
2.3.2 Class 2 Components	23
2.3.3 Class 3 Components	29
2.3.4 Small Components	33
2.3.5 Supports	35
2.3.6 Rurociągi nie objęte klasyfikacją wg RCC-M	39
2.4 Wymagania kodu ASME Section III	40
2.4.1 Class 1 Components: ASME Section III, Division 1 – Subsection NB	42
2.4.2 Class 2 oraz Class 3 Components	46
2.4.3 Supports: ASME Section III, Division 1 – Subsection NF	48
2.4.4 Rurociągi nie objęte klasyfikacją wg ASME Section III	51
3 Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w poszczególnych kodach i normach	53
4 Podsumowanie	56
5 Piśmiennictwo	58

1 Wprowadzenie

W oparciu o założenia Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) z dnia 28 stycznia 2014 roku [1], wybudowanie i uruchomienie pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce planowano przeprowadzić pod koniec 2024 roku. W wyniku powstałych opóźnień, terminarz budowy elektrowni uległ przesunięciu. W październiku 2016 roku Rząd dokonał analizy realizacji programu, która została przyjęta przez Radę Ministrów w dniu 14 października 2016 roku. W chwili przygotowywania niniejszych Wytycznych zapowiedziano, że ogłoszenie przetargu na dostawę technologii jądrowej nastąpi w 2017 roku. Fakt ten powoduje, że prace nad przygotowaniem przemysłu krajowego do budowy pierwszej elektrowni jądrowej powinny toczyć się dalej ze wzmożoną siłą, szczególnie w zakresie zapoznania się z wymaganiami odpowiednich przepisów, jak również rozpoczęcie działań w zakresie przygotowania kadry oraz zaplecza organizacyjno-technicznego niezbędnego do realizacji projektów jądrowych.

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 oraz Stanów Zjednoczonych. 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 kody i normy:

- AFCEN (Francja),
- JSME (Japonia),
- CSA (Kanada),
- 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 się odwołuje, 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 pewne różnice lub rozszerzenia wynikają z uwarunkowań lokalnych lub są związane, jak ma to miejsce w Kanadzie, ze specyficzną konstrukcją niektórych zespołów reaktora CANDU.

W Europie głównym dostawcą technologii jądrowej jest firma z Francji, co warunkuje, że sporo elektrowni jądrowych w tej części świata zbudowano i nadal buduje się w oparciu o wymagania francuskich kodów AFCEN (*A*ssociation *F*rançaise pour les règles de *C*onception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des Chaudières *E*lectro *N*ucléaires, 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 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.

W związku z powyższym, w dalszej części niniejszych wytycznych poddano analizie i zestawiono wymagania zawarte w dwóch podstawowych kodach: francuskim AFCEN oraz amerykańskim ASME.

Poniżej zestawiono wymagania w zakresie wytwarzania rurociągów klasy 1, 2, 3 i rurociągów nie objętych tą klasyfikacją podczas budowy elektrowni jądrowych i innych obiektów jądrowych.

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 Rurociągi klasy 1, 2, 3 i rurociągi nie objęte klasyfikacją

2.1 Klasyfikacja rurociągów w zastosowaniach jądrowych

Rurociągi technologiczne (*piping*) w każdej instalacji przemysłowej są niczym układ krwionośny w ciele człowieka. Dzięki instalacjom rurowym o różnym przeznaczeniu składającym się z rur i wsporników lub zawieszceń (*piping + pipe supports lub pipe support systems*) możliwa jest praca zarówno prostych urządzeń technicznych, jak i skomplikowanych zakładów produkcyjnych w wielu dziedzinach gospodarki, w tym energetyce jądrowej. Układy rurociągowy są przeznaczone głównie do transportu gazu, pary lub cieczy oraz eksploatowane w bardzo różnych warunkach środowiskowych, często w atmosferach lub środowiskach silnie korozyjnych. Rurociągi powinny ponadto zapewniać niezawodną pracę urządzeń technologicznych przy skrajnie różnych parametrach, np. w temperaturach ujemnych lub podwyższonych, przy oddziaływaniu podwyższonego ciśnienia (nadciśnienie) lub w próżni (podciśnienie). W związku z dużym znaczeniem instalacji rurociągowych w każdym układzie produkcyjnym, zasady ich projektowania, wytwarzania i odbioru podlegają znormalizowaniu, np. w oparciu o wymagania PED, ASME lub norm serii EN, EN ISO, API, NORSOK itd., co zależy od branży przemysłowej oraz kraju, w którym te rurociągi będą eksploatowane.

Elektrownia jądrowa jest szczególnym i bardzo skomplikowanym obiektem przemysłowym. Podczas pracy tego rodzaju elektrowni występuje dodatkowe zagrożenie w postaci promieniowania generowanego przez paliwo jądrowe, które jest wykorzystywane do inicjacji reakcji jądrowej. W wyniku tej reakcji wydziela się energia służąca do podgrzewania wody w reaktorach jądrowych i wytworzenia pary. Fakt ten powoduje, że zasady projektowania, wytwarzania i odbioru urządzeń i rurociągów 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 elektrowni jądrowej nie mają jednak wpływu na bezpieczeństwo jądrowe, np. wiele urządzeń i rurociągów 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*) i 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 jednak 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 do 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. W niektórych krajach może wystąpić inne oznaczenie klas bezpieczeństwa lub inna ich ilość, ale zdarza się to rzadko. Tak w Finlandii do 2013 roku istniał podział na cztery klasy bezpieczeństwa Class 1, 2, 3, 4 oraz EYT (dla konwencjonalnych urządzeń ciśnieniowych). Podstawą takiej klasyfikacji były wcześniejsze wytyczne IAEA. Obecnie podział na klasy w Finlandii jest podobny do rekomendowanego przez nowe wytyczne IAEA oraz stosowanego w ASME i RCC-M, a mianowicie: Class 1, 2, 3 oraz EYT (non-nuclear safety) [4].

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 [5], które odwołują się z kolei do dokumentów IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1) [6] oraz IAEA Safety Standards Series No. SGR Part 4 (Rev. 1) [7] 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 należyтым 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 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”.

W związku z powyższym, w dalszej części niniejszych wytycznych opisano wymagania odpowiednich sekcji kodów AFCEN oraz ASME dotyczących wykonywania rurociągów Class 1, 2, 3 oraz nie objętych tą klasyfikacją podczas budowy reaktorów EPRTM firmy AREVA, AP1000 firmy Westinghouse oraz ABWR firmy Hitachi GE, które są najbardziej prawdopodobnymi uczestnikami przetargu na dostawę technologii jądrowej dla pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

2.2 Krótka charakterystyka rurociągów w elektrowniach jądrowych

W elektrowniach jądrowych rurociągi lub komponenty rurowe mogą być wykonane z różnych materiałów, np. stali niestopowych i nierdzewnych, jak również stopów niklu, tytanu lub cyrkonu, a ich średnica mieści się w zakresie od kilku milimetrów do nawet 2,4 m. Równie szerokie jest także spektrum funkcji, które te rurociągi pełnią. Instalacje rurowe są nieodłączną częścią składową m.in. układów (systemów):

- chłodzenia reaktora,
- odprowadzania ciepła resztkowego,

- kontroli chemicznej i ilości wody,
- chłodzenia urządzeń wyspy jądrowej nie związanych z bezpieczeństwem,
- chłodzenia i oczyszczania wody basenu zużytego paliwa,
- wymiany ciepła w wytwornicach pary,
- zraszania wnętrza obudowy bezpieczeństwa,
- wody technicznej (lub morskiej),
- demineralizacji wody,
- pary świeżej,
- skraplacza i innych urządzeń wyspy turbinowej,
- powrotu schłodzonej wody,
- powietrza,
- zasilania azotem,
- olejowych turbin,
- chłodzenia i zasilania w paliwo awaryjnych silników diesla,
- filtrowentylacyjnych,
- przeciwpożarowych,
- oraz wielu, wielu innych.

Łączna długość rurociągów może istotnie różnić się między sobą w zależności od typu reaktora, jego mocy oraz dostawcy technologii jądrowej. Z informacji prasowych oraz publikacji technicznych wynika, że w przypadku budowy jednego bloku łączna długość rurociągów wynosi od 70 km do 150 km.

Rurki są również jednym z podstawowych elementów konstrukcyjnych wymienników ciepła, których ilość w elektrowni jądrowej może sięgać 200. Rurki w tych urządzeniach są wykonywane głównie ze stali nierdzewnych, ale w przypadku ciężkich warunków pracy, np. przy stosowaniu wody morskiej w skraplaczach wyspy turbinowej, są one wykonywane ze stopów tytanu.

Kolejnym urządzeniem, w którym są wykorzystywane rurki, są wytwornice pary, w których w zależności od konstrukcji łączna długość rurek wynosi od 75 do 220 km, a do ich produkcji stosuje się różne gatunki stopów niklu. W chwili obecnej powszechnie stosowanymi są rurki ze stopu Alloy 690 (UNS N06690). We wcześniejszym okresie w wytwornicach stosowano rurki z innych stopów niklu, ale wieloletnie doświadczenia praktyczne wykazały przewagę stopu Alloy 690 TT.

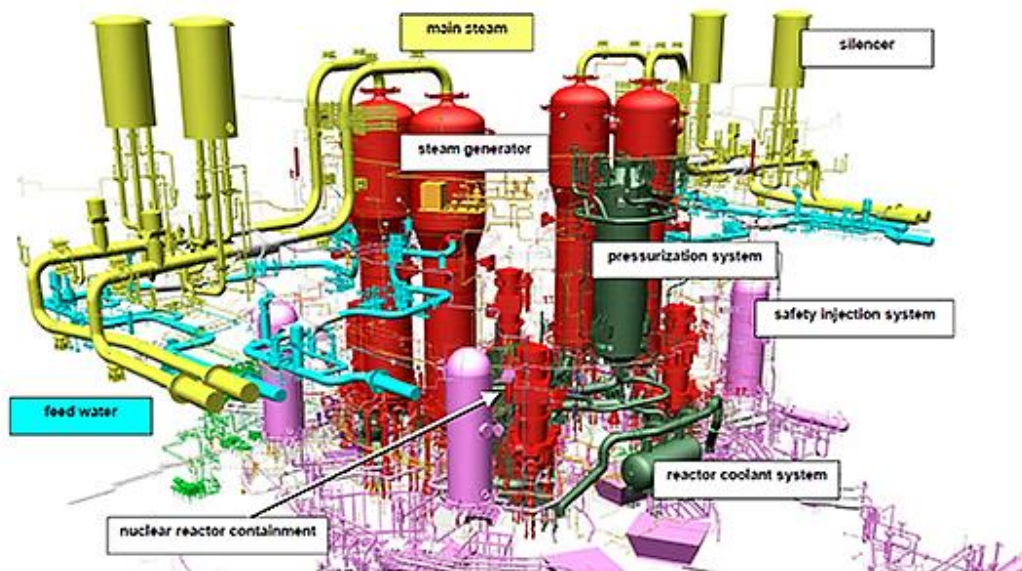
Średnica używanych w wytwornicach rurek waha się w zakresie od 14 do 25 mm, a grubość ścianki od 0,5 mm do 1,3 mm.

Przykładowo, wytwornica pary dostarczona z zakładu w Chalon (Francja) na elektrownię jądrową Olkiluoto 3 (Finlandia) zawiera 6 000 rurek o łącznej długości 140 km [8]. Rurki te są wykonane ze stopu niklu Alloy 690 TT oraz cechują się średnicą 19,05 mm i grubością ścianki 1,09 mm.

Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę rurociągów w elektrowniach jądrowych z reaktorami EPR™, AP1000 oraz ABWR, z których jeden może zostać zainstalowany w Polsce w zależności od wyników planowanego do ogłoszenia przetargu na dostawę technologii jądrowej.

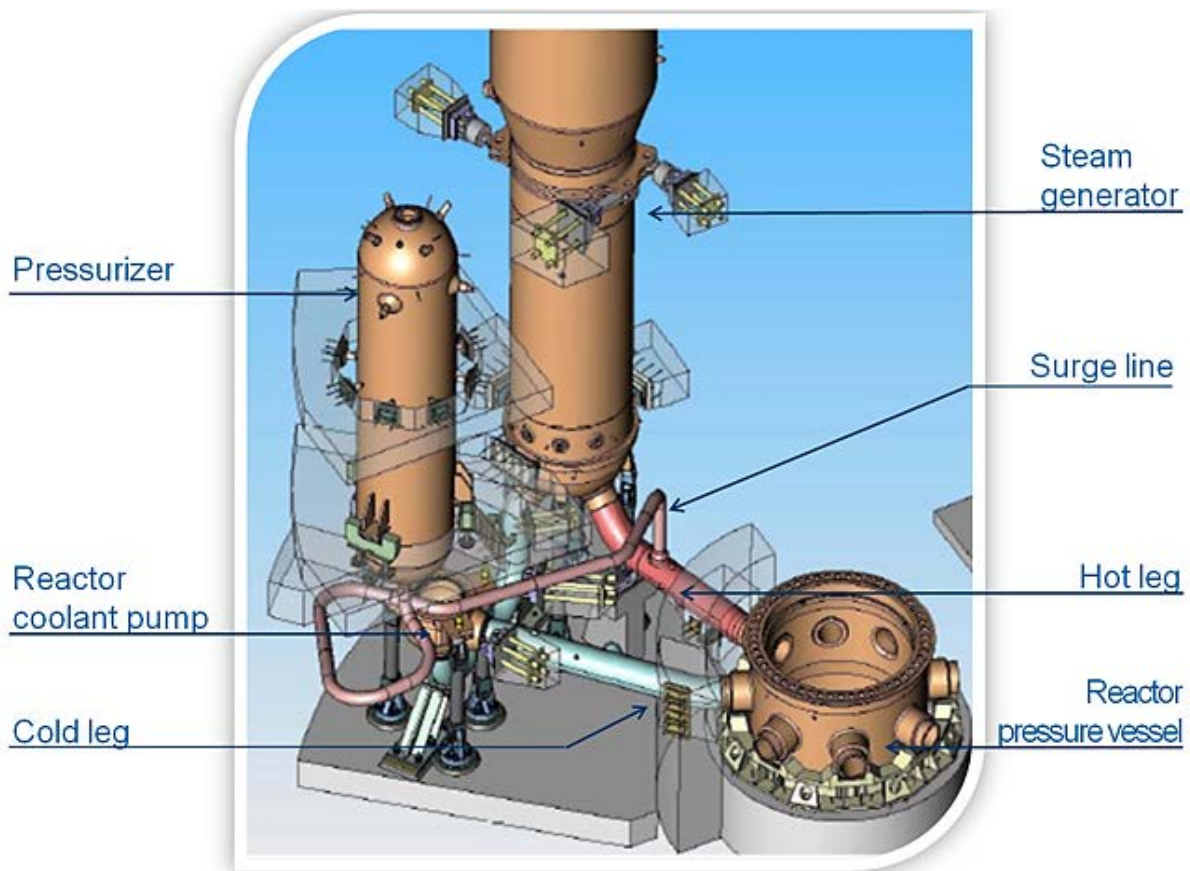
a) EPR™

W zależności od kraju i lokalizacji budowy reaktora EPR™, jak również źródła danych, łączna długość rurociągów w przypadku pojedynczego bloku wynosi od 100 do 120 km [9]. Większość z tych rurociągów jest zlokalizowana w wyspie jądrowej (rys. 1) i tylko od 5 do 10 % są związane z wyspą turbinową.



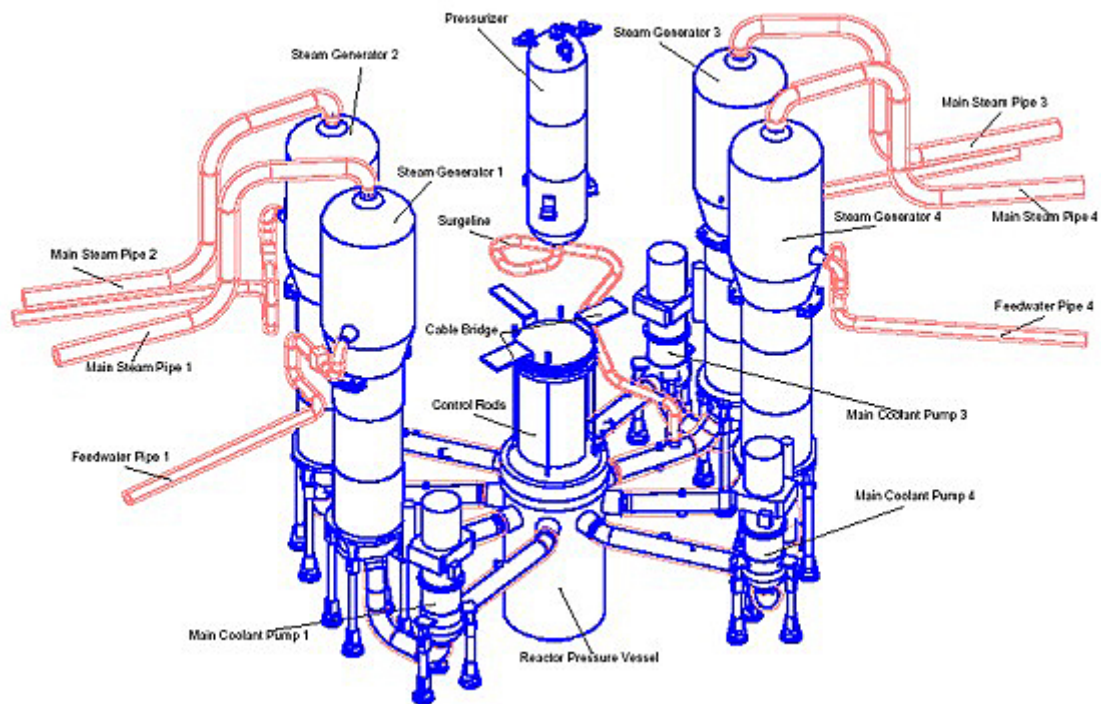
Rys. 1. Układy reaktora EPR, w których rurociągi odgrywają istotną rolę
(Źródło: AREVA)

Wspomniane już 120 km rurociągów tworzą rury stalowe o średnicy od 10 mm do 400 mm, z których 60% stanowią rury ze stali nierdzewnych w gatunkach AISI 304L, 316L oraz 904L [10]. Firma Bocard podaje [11], że w przypadku elektrowni Flamanville 3 jej oddział Bocard Piping & Modular Fabrication wykonał prefabrykację 29 615 fragmentów orurowania. W tym celu zużyto 507 ton rur oraz ułożono 71 050 spoin. Bezpośrednio na budowie zamontowano natomiast 35 000 wsporników i zawieszek (*supports*). Na rys. 2 przykładowo pokazano wsporniki i kotwy mocujące wytwornice pary, stabilizator ciśnienia oraz główne rurociągi w obiegu pierwotnym reaktora EPR™.



Rys. 2. Podstawowe urządzenia i rurociągi obiegu pierwotnego reaktora EPR™ w elektrowni Olkiluoto 3 [12].

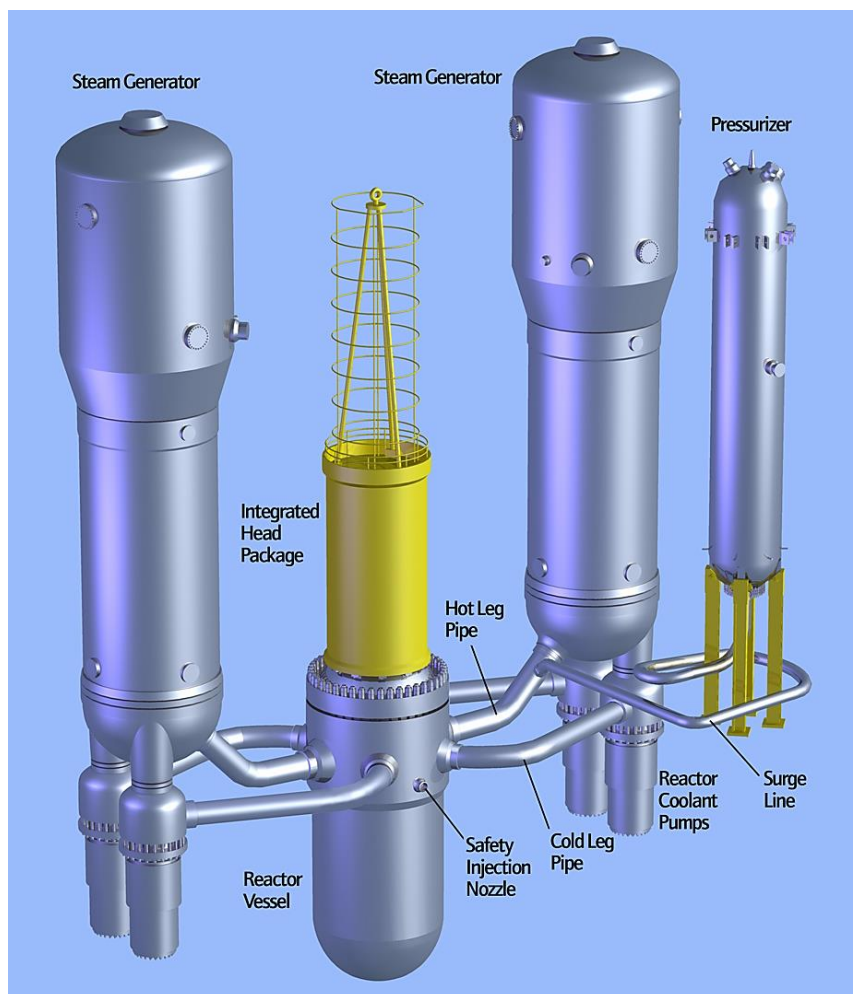
W prezentacji [13] wskazano, że układy bezpieczeństwa i peryferyjne w jądrowym systemie dostarczania pary (NSSS – *Nuclear Steam Supply System*) (rys. 3) są tworzone przez około 60 km rurociągów, w tym 80% wykonuje się w oparciu o wymagania kodu RCC-M, a pozostałe 20% – według norm europejskich i międzynarodowych typu EN lub EN ISO. Z kolei w ramach układów pomocniczych (*auxiliary systems*) nie związanych z dostarczaniem pary, tylko 45% rurociągów, które je tworzą, są wykonywane według wymagań kodu RCC-M, w tym 18% rurociągów Class 2 oraz 27% rurociągów Class 3. Rury są wykonywane ze stali niestopowych w gatunkach A 106 Gr B wg ASTM i P265GH wg EN ISO oraz austenitycznych stali nierdzewnych typu AISI 304L / 316L. Zakres stosowanych średnic wynosi od 10,3 mm do 863,60 mm (34”).



Rys. 3. Schemat układu pierwotnego oraz rurociągi dostarczania pary w obiegu wtórnym reaktora PWR (kolor czerwony) [14].

b) AP1000

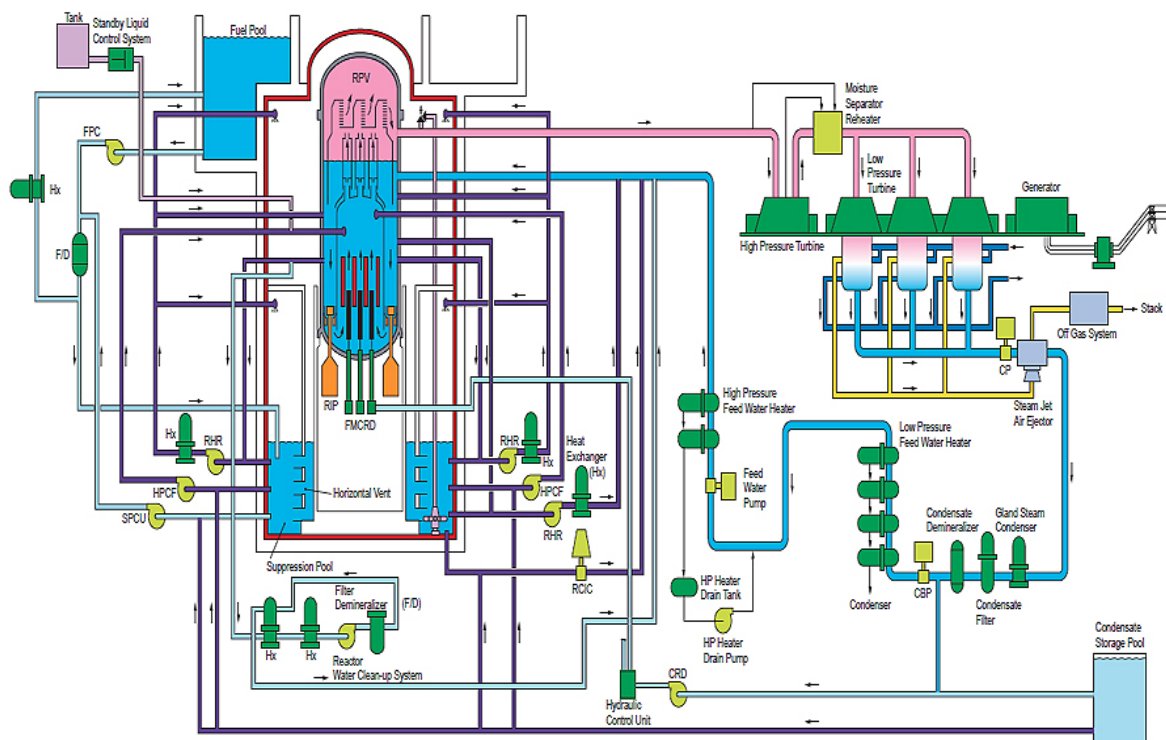
Firma Westinghouse na swojej stronie internetowej [15] podaje, że jedna elektrownia jądrowa wymaga ułożenia 44 mil (~71 km) rurociągów. W obiegu pierwotnym (rys. 4) rurociąg wylotowy (*Outlet Piping*) ma średnicę 31" (787,4 mm) i grubość ścianki 3,25" (82,55 mm), a powrotny (*Inlet Piping*) - 22" (558,8 mm) i ściankę 2,56" (65,02 mm). Obydwa 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 pozostałych rurociągów tworzących układy wyspy jądrowej do pełnienia różnych funkcji jest wykonywana ze stali SA-312 TP316N oraz znacznie rzadziej ze stali SA-312 TP304L. Rurki w wytwornicy pary są wykonywane ze stopu niklu w gatunku N06690 (Alloy 690).



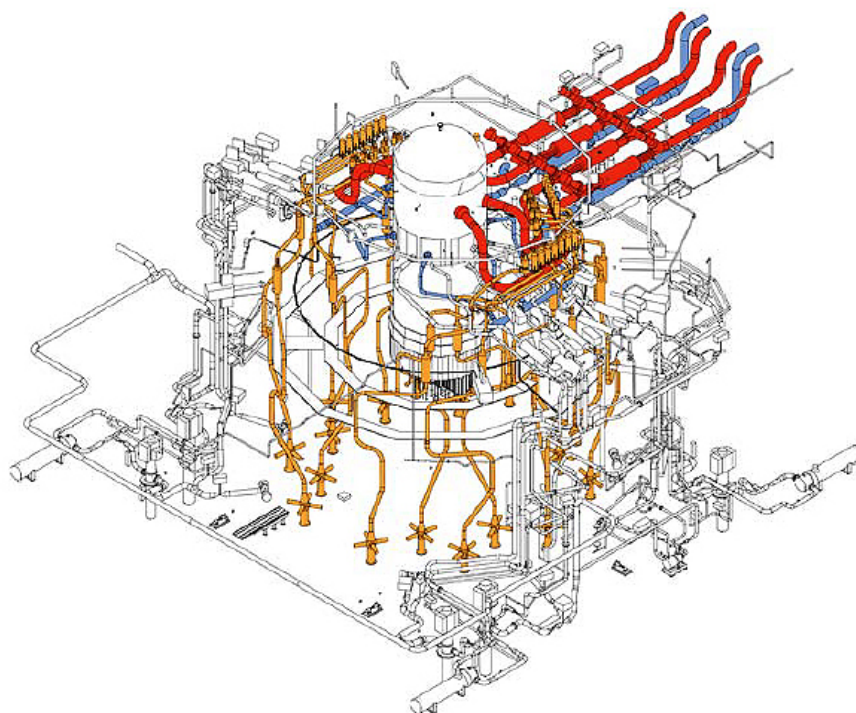
Rys. 4. Schemat obiegu jądrowego reaktora AP1000 [16].

c) ABWR

W przypadku reaktora ABWR, łączna długość rurociągów w elektrowni jądrowej wynosi 150 km [17]. Podczas ich wykonywania na placu budowy wykonuje się około 30 000 złączy spawanych. Wytworzona w reaktorze ABWR para jest dostarczana bezpośrednio do turbiny (rys. 5) za pomocą czterech główny rurociągów ze stali węglowej (kolor czerwony na rys. 6) o średnicy 28" (711,2 mm). Wiele innych instalacji rurowych jest wykonywanych zarówno ze stali węglowych (niestopowych i niskostopowych), 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 (*Class 1* oraz *Class 2*) są wykonane z rur bez szwu ze stali węglowej SA-333 Gr 6 oraz ze szwem SA-672 Gr C70, ale już rurociągi basenu paliwowego *Class 3 (Interface to Fuel Pool Piping)* są wykonane z rur ze stali nierdzewnej SA-376 Type 316L, SA-312 Type 316L, SA-358 Type 316L (rys. 7).

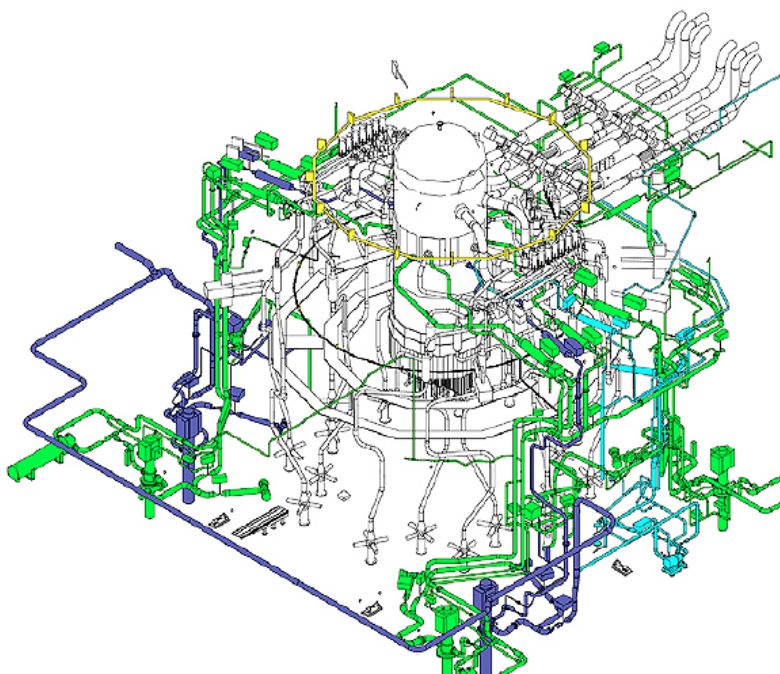


Rys. 5. Schemat przebiegu niektórych rurociągów reaktora ABWR [18].



Main Steam
 FeedWater
 SRV

Rys. 6. Schemat głównego układu dostarczania pary reaktora ABWR [19].



RHR
 HPCF
 RCIC
 Containment Spray

Rys. 7. Schemat rurociągów tworzących awaryjny system chłodzenia rdzenia reaktora ABWR (ECCS – Emergency Core Cooling System) [19].

2.3 Wymagania sekcji RCC-M kodu AFCEN

Poniższa analiza została przeprowadzona w oparciu o wymagania angielskojęzycznej wersji kodu RCC-M:2012 [3], ponieważ w chwili opracowania niniejszych wytycznych nowe wydanie kodu RCC-M:2016 [20] opublikowano tylko w języku francuskim.

Jak już wspomniano wcześniej, rurociągi, podobnie jak inne urządzenia i komponenty ciśnieniowe elektrowni jądrowych, są klasyfikowane według klas bezpieczeństwa 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 należą 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 (w tym rurociągów i wsporników). Wymagania te są opisane w poniższych sekcjach 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*)
- Subsection H „Supports”

W rozdziale A 4250 Subsection A wyjaśniono, że wyraz „Small Components” opisuje komponenty Class 1 oraz 2 o określonych parametrach technicznych. W przypadku rurociągów (*piping*) są to rurociągi przeznaczone do gazów, gazów skroplonych, gazów rozpuszczonych pod ciśnieniem, pary i cieczy, których ciśnienie pary przy maksymalnej dopuszczalnej temperaturze jest równe lub mniejsze niż 0,5 bar ciśnienia względnego przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym (1013 mbar) lub o średnicy nominalnej (ND) równej lub mniejszej niż 25 mm.

Rurociągi Class 3 odpowiadające powyższemu opisowi także mogą być rozpatrywane jako „Small Components”, a zatem wymagania Subsection E są również w ich przypadku możliwe do stosowania.

W rozdziale A 4320 Subsection A wyjaśniono z kolei, że przy stosowaniu Subsection H, wsporniki i zawieszania (*support*) są podzielone na Class S1 i S2 odpowiednio do klasy obsługiwanego komponentu. Zgodnie z rozdziałem H 1310, wsporniki Class S1 współpracują z komponentami Class 1, a Class S2 z Class 2 i 3.

2.3.1 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), w tym spawania (B 4400), prób ciśnieniowych (B 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (B 6000).

Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów, w których przedstawiono wymagania dotyczące rurociągów ze szczególnym zwróceniem uwagi na procesy wytwarzania i kontroli:

B 2000 – Materials

B 3000 – Design

B 3100 – General Design Rules

B 3200 – General Rules for Analyzing Components Behaviour

B 3600 – Piping Design

B 4000 – Fabrication and Associated Examinations

B 4100 – General

B 4200 – Preliminary Documents and Requirements for Fabrication and Examination

B 4300 – Fabrication Operations

B 4310 – General

B 4320 – Marking

B 4330 – Cutting - Repair without Welding

B 4340 – Forming and Alignment

B 4350 – Surface Treatment

B 4360 – Cleanliness

B 4370 – Mechanical Joints

B 4380 – Heat Treatment

B 4400 – Welding and Associated Techniques

B 4410 – General

B 4420 – Storage and Use of Welding Products

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

B 4440 – Welding of Production Welds

B 4450 – Repair by Welding

B 4460 – Non-Destructive Examination of Production Welds

B 4470 – Production Weld Test Coupons and Destructive Tests

B 4480 – Chemical Analysis of Cladding

B 4490 – Hardfacing by Weld Deposition of Alloys

B 5000 – Pressure Tests of Class 1 Components

B 6000 – Overpressure Protection

W rozdziale B 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 1, w tym rur, powinny spełniać wymagania RCC-M Section II „MATERIAL”. Przedstawiono ponadto zasady klasyfikowania komponentów według odporności na korozję międzykrystaliczną i podano zalecane gatunki stali nierdzewnych. Stwierdzono również, że stosowane stale nierdzewne powinny cechować się bardzo niską zawartością węgla, a w stalach stosowanych do wykonania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nie przekroczenie wartości 0,10%.

Zestawienie komponentów Class 1 z podaniem rozdziałów Section II „MATERIAL” opisujących wymagania materiałowe, zawiera tablica B 2200 w kodzie RCC-M. W tabl. 2.1 zestawiono natomiast wymagania dotyczące rurociągów Class 1, z której wynika, że wymagania materiałowe do orurowania układu chłodzenia reaktora, w tym składu chemicznego, procesu wytwarzania, własności mechanicznych i stanu powierzchni, przedstawiono w podrozdziałach M 3321 i M 3406:

M 3321 – Forged Tubes and Elbows Made from Grade X2 CrNi 19.10 Controlled Nitrogen Content and X2 CrNiMo 18.12 Controlled Nitrogen Content Austenitic Stainless Steel for Reactor Coolant Piping

M 3406 – Centrifugally Cast Chromium Nickel Austenitic-Ferritic Stainless Steel Pipes (Containing no Molybdenum) for PWR Reactor Coolant System Piping

Z kolei wymagania materiałowe do kolanek układu chłodzenia reaktora przedstawiono w rozdziałach M 3403 (odlewane) oraz M 3321 (odkuwki gięte):

M 3403 – Cast Elbows and Inclined Nozzles Made from Chromium-Nickel Austenitic-Ferritic Stainless Steel without Molybdenum for PWR Reactor Coolant System Piping

M 3321 – Forged Tubes and Elbows Made from Grade X2 CrNi 19.10 Controlled Nitrogen Content and X2 CrNiMo 18.12 Controlled Nitrogen Content Austenitic Stainless Steel for Reactor Coolant Piping

Rozdział B 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz badań komponentów Class 1 zarówno podczas produkcji w warunkach warsztatowych, jak i w trakcie montażu na placu budowy. W układzie chronologicznym wskazane są także metody badań i kontroli, które muszą być zastosowane, obszary badań, plan badań oraz kryteria akceptacji.

W podrozdziale B 4231 „Welding” rozdziału B 4230 „Acceptance and Qualification” stwierdzono, że przed rozpoczęciem prac spawalniczych Wytwórca powinien przeprowadzić wszystkie czynności związane z uznawaniem i kwalifikowaniem wymienione w rozdziale S 1000 w Section IV „WELDING”. Wyszczególnione są również wymagania dodatkowe względem tych, które są już ujęte w rozdziale S 3000 „Welding procedure qualification” ww. sekcji „SPAWANIE”.

Bardzo istotnym zagadnieniem podczas wytwarzania komponentów Class 1, w tym rurociągów, jest czystość strefy produkcyjnej. Zwrócono na to uwagę w podrozdziale B 4240, w którym stwierdzono, że gdy istnieją szczególne wymagania dotyczące czystości, zarówno w warsztacie lub na budowie, obszary robocze powinny być przygotowane zgodnie z wymaganiami rozdziału F 6000 „Cleanliness” w Section V „FABRICATION”, a także w zależności od poziomu czystości komponentu oraz etapu osiągniętego podczas jego wykonania.

Wymagania w zakresie spawania rurociągów bazują na wymaganiach Section IV „WELDING”, które są jednak uzupełnione o szereg wymagań dodatkowych opisanych w podpunktach a) i b) podrozdziału B 4440.

Badania nieniszczące złączy spawanych bazują z kolei na wymaganiach Section III „Examination Methods”, ale podobnie jak w przypadku spawania, są uzupełnione szeregiem wymagań dodatkowych opisanych w podrozdziale B 4460.

Tablica 2.1 Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów rurociągów Class 1

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
<p>REACTOR COOLANT PIPING PRESSURE RETAINING PARTS</p> <p>Pipes</p> <p>Elbows: - casting</p> <p>- forging bending or die-formed</p> <p>Taps</p>	<p>M 3321 M 3406</p> <p>M 3403 M 3321</p> <p>M 3301 M 3304 M 3403</p>
<p>SECONDARY PIPING PRESSURE RETAINING PARTS (1)</p> <p>Pipes</p> <p>Bends</p> <p>Fittings</p> <p>Forgings</p>	<p>M 1144 M 1152</p> <p>M 1125</p> <p>M 1149</p> <p>M 1122 M 1122 Bis M 1124</p>
<p>AUXILIARY PIPING PRESSURE RETAINING PARTS</p> <p>Pipes</p> <p>Fittings</p> <p>Steel for orifice plates</p>	<p>M 3304 M 3314 M 3320</p> <p>M 3301 M 3304 M 3306 M 3307 M 3312 M 3315 M 3317</p> <p>M 3307</p>
<p>PRESSURIZER SURGE LINE PIPING PRESSURE RETAINING PARTS</p> <p>Pipes and elbows</p>	<p>M 3321 M 3304</p>

2.3.2 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), w tym spawania (C 4400), prób ciśnieniowych (C 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (C 6000).

Podobnie jak w Subsection B, w Subsection C zastosowano podział na rozdziały i podrozdziały, których tytuły są w większości takie same, ale z drobnymi zmianami. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection C, w których przedstawiono wymagania dotyczące rurociągów Class 2:

C 2000 – Materials

C 3000 – Design

C 3100 – General Design Rules

C 3600 – Piping Design

C 3660 – Weld Design

C 4000 – Fabrication and Associated Examinations

C 4100 – General

C 4200 – Preliminary Documents and Requirements for Fabrication and Examination

C 4300 – Fabrication Operations

C 4310 – General

C 4320 – Marking

C 4330 – Cutting, Repair without Welding

C 4340 – Forming and Alignment

C 4350 – Surface Treatment

C 4360 – Cleanliness

C 4370 – Mechanical Joints

C 4380 – Heat Treatment

C 4400 – Welding and Associated Techniques

C 4410 – General

C 4420 – Storage and Use of Welding Products

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

C 4440 – Welding of Production Welds

C 4450 – Repair by Welding

C 4460 – Non-Destructive Examination of Production Welds

C 4470 – Production Weld Test Coupons and Destructive Tests

C 4480 – Chemical Analysis of Cladding

C 4490 – Hardfacing by Weld Deposition of Alloys

C 5000 – Pressure Tests of Class 2 Components

C 6000 – Overpressure Protection

W rozdziale C 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 2, w tym rur, powinny spełniać wymagania RCC-M Section II „MATERIAL”. Przedstawiono ponadto zasady klasyfikowania komponentów według odporności na korozję międzykrystaliczną i podano zalecane gatunki stali nierdzewnych. Stwierdzono również, że stosowane stale nierdzewne powinny cechować się bardzo niską zawartością węgla, a w stalach stosowanych do wykonania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nieprzekroczenie wartości 0,10%.

Zestawienie komponentów Class 2 z podaniem rozdziałów Section II „MATERIAL”, w których opisano wymagania materiałowe, zawiera tablica C 2200 w kodzie RCC-M. W tabl. 2.2 natomiast zestawiono wymagania dotyczące rurociągów Class 2, z której przykładowo wynika, że wymagania materiałowe do orurowania układu pomocniczego ze stali nierdzewnych (STAINLESS STEEL AUXILIARY PIPING), w tym składu chemicznego, procesu wytwarzania, własności mechanicznych i badań nieniszczących, przedstawiono w podrozdziałach M 3304, M 3314 i M 3320:

M 3304 – Class 1, 2 and 3 Austenitic Stainless Steel Pipes and Tubes (Not Intended for Use in Heat Exchangers)

M 3314 – Cold-Rolled Austenitic Stainless Steel Pipe Welded with the Addition of Filler Metal for Use in Class 1, 2 and 3 Auxiliary Piping

M 3320 – Class 1, 2 and 3 Rolled Austenitic Stainless Steel Pipes and Tubes Welded Without the Addition of Filler Metal and Subsequently Drawn (Not Intended for Use in Heat Exchangers)

Z kolei wymagania materiałowe do rur ze stali węglowych stosowanych w obiegu wtórnym (CARBON STEEL SECONDARY PIPING) przedstawiono w rozdziałach M 1144 i M 1152, a układach pomocniczych (CARBON STEEL AUXILIARY PIPING) w rozdziałach M 1141, M 1142, M 1143, M1143Bis, M 1145 i M 1148:

M 1144 – Type P280GH Seamless Forged Carbon Steel Pipes

M 1152 – Type P280GH Seamless Carbon Steel Pipes

M 1141 – Class 2 Seamless Pipe Made from TU42C and TU48C Carbon Steel

M 1142 – Type P235GH and P265GH, Rolled Carbon Steel Pipes Welded without the Addition of Filler Metal for Use in Class 2 and 3 Piping

M 1143 – Class 2 and 3 P235GH and P265GH Carbon Steel Seamless Tubes

M 1143Bis – Class 2 P355NH Steel Seamless Tubes

M 1145 – Hot or Cold Rolled Carbon Steel Pipe Welded with the Addition of Filler Metal for Use in Class 2 and 3 Auxiliary Piping

M 1148 – Tubes Made from Carbon Steel, Hot or Cold Rolled and Welded without the Addition of Filler Metal, Steel Grades TS42C and TS48C, for Use in Class 2 Piping

Tablica 2.2

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na rurociągi Class 2

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
AUXILIARY PUMPS PRESSURE-RETAINING PARTS	
Body component parts (volute, cover, cooling insert or shaft seal housing, pump head, barrel)	M 1112 M 1122 M 1122 Bis M 3204 M 3208 M 3301 M 3304 M 3307 M 3402
Flanges, counterflanges and nozzles	M 1122 M 1122 Bis M 3301 M 3306 M 3402

Tablica 2.2 (c.d.)

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na rurociągi Class 2

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
Bolting materials	M 5110 M 5120 M 5140
Pipes	M 3304 M 3320
Stator housing	M 3306 M 3307
Cylinder	(in preparation)
STAINLESS STEEL AUXILIARY PIPING PRESSURE-RETAINING PARTS	
Pipes	M 3304 M 3314 M 3320
Fittings and orifice plates	M 3301 M 3304 M 3306 M 3307 M 3312 M 3314 M 3315 M 3317 M 3320
Bolting materials	M 5110 M 5120 M 5140
CARBON STEEL SECONDARY PIPING PRESSURE-RETAINING PARTS Piping of systems defined in A 4222 or in C 4440 (1)	
Pipes	M 1144 M 1152
Elbows.....	M 1125
Fittings.....	M 1149
Forgings.....	M 1124

Tablica 2.2 (c.d)

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na rurociągi Class 2

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
<p>CARBON STEEL AUXILIARY PIPING</p>	
<p>PRESSURE-RETAINING PARTS</p>	
<p>Piping of systems other than those defined in A 4222 or in C 4440</p>	
<p>Pipes</p>	<p>M 1141 M 1142 M 1143 M 1143 Bis M 1145 M 1148</p>
<p>Fittings</p>	<p>M 1122 M 1122 Bis M 1133 M 1149</p>
<p>Plates</p>	<p>M 1131</p>
<p>Elbows</p>	<p>M 1131 / M 1132 / M 1141</p>
<p>Bolting materials</p>	<p>M 5110 / M 5120 / M 5140</p>
<p>Forgings</p>	<p>M 1122 / M 1122 Bis</p>
<p>AUXILIARY TANKS</p>	
<p>PRESSURE-RETAINING PARTS</p>	
<p>Steels plate for fabricated parts</p>	<p>M 1131 / M 3307</p>
<p>Forgings</p>	<p>M 1122 / M 1122 Bis M 3301 / M 3306</p>
<p>Pipes</p>	<p>M 1141 M 3304 M 3320</p>
<p>Heads</p>	<p>M 1131 / M 1132 M 3307 / M 3312</p>
<p>Bolting materials</p>	<p>M 5110 / M 5120 / M 5140</p>
<p>NON-PRESSURE RETAINING PARTS</p>	
<p>Plate for skirt</p>	<p>M 1131 (Class 3)</p>

Rozdział C 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz kontroli komponentów Class 2 zarówno podczas wytwarzania w warunkach warsztatowych, jak i na placu budowy. Rozdział ten zawiera podział na podrozdziały podobny do zastosowanego w rozdziale B 4000. Różnica jednak polega na tym, że w podrozdziałach rozdziału C 4000 liczba wymagań dodatkowych jest mniejsza, a wiele podrozdziałów zawiera tylko odnośnik do odpowiedniego podrozdziału w sekcjach IV „WELDING”, V „FABRICATION” oraz III „EXAMINATION METHODS”.

Przykładowo:

C 4360 CLEANLINESS

Reference text: F 6000.

Supplementary requirements may be specified in the equipment specification.

.....

C 4450 REPAIR BY WELDING

Reference text: S 7600 (paragraphs dealing with class 2 equipment).

C 4460 NON-DESTRUCTIVE EXAMINATION OF PRODUCTION WELDS

Reference text: S 7720.

Co w tłumaczeniu na język polski brzmi:

C 4360 CZYSTOŚĆ

Tekst odniesienia: F 6000.

Wymagania uzupełniające mogą zostać określone w specyfikacji urządzenia.

.....

C 4450 NAPRAWA PRZEZ SPAWANIE

Tekst odniesienia: S 7600 (ustępy dotyczące urządzeń Class 2).

C 4460 BADANIA NIENISZCZĄCE SPOIN PRODUKCYJNYCH

Tekst odniesienia: S 7720.

2.3.3 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), w tym spawania (D 4400), 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 rurociągów Class 3:

D 1000 – General

D 2000 – Materials

D 3000 – Design

D 3100 – General Design Rules

D 3600 – Piping Design

D 3660 – Weld Design

D 4000 – Fabrication and Associated Examinations

D 4100 – General

D 4200 – Preliminary Documents and Requirements for Fabrication and Examination

D 4300 – Fabrication Operations

D 4310 – General

D 4320 – Marking

D 4330 – Cutting, Repair without Welding

D 4340 – Forming and Alignment

D 4350 – Surface Treatment

D 4360 – Cleanliness

D 4370 – Mechanical Joints

D 4380 – Heat Treatment

D 4400 – Welding and Associated Techniques

D 4410 – General

D 4420 – Procurement of Parts and Products

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

D 4490 – Hardfacing by Weld Deposition of Alloys

D 5000 – Pressure Tests on Class 3 Materials

D 6000 – Overpressure Protection

W rozdziale D 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 3, w tym rur, powinny spełniać wymagania RCC-M Section II „MATERIAL”. Przedstawiono ponadto zasady klasyfikowania komponentów według odporności na korozję międzykrystaliczną. Stwierdza się również, że stosowane austenityczne i austenityczno-ferrytyczne stale nierdzewne powinny cechować się bardzo niską zawartością węgla, a w stalach stosowanych do wykonania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nieprzekroczenie wartości 0,10%.

Zestawienie komponentów Class 3 z podaniem rozdziałów Section II „Material”, w których opisano wymagania materiałowe, zawiera tablica D 2200 w kodzie RCC-M. W tabl. 2.3 natomiast zestawiono wymagania dotyczące rurociągów Class 3, z której przykładowo wynika, że wymagania materiałowe do orurowania ciśnieniowych zbiorników pomocniczych (AUXILIARY TANKS), w tym składu chemicznego stali, procesu wytwarzania rur, własności mechanicznych i badań nieniszczących, przedstawiono w podrozdziałach M 1143, M 3304 i M 3320:

M 1143 – Class 2 and 3 P235GH and P265GH Carbon Steel Seamless Tubes

M 3304 – Class 1, 2 and 3 Austenitic Stainless Steel Pipes and Tubes (Not Intended for Use in Heat Exchangers)

M 3320 – Class 1, 2 and 3 Rolled Austenitic Stainless Steel Pipes and Tubes Welded Without the Addition of Filler Metal and Subsequently Drawn (Not Intended for Use in Heat Exchangers)

Tablica 2.3

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na rurociągi Class 3

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
<p>CARBON STEEL AUXILIARY PUMP PRESSURE-RETAINING PARTS</p> <p>Fittings.....</p> <p>Plate</p> <p>Pipes</p> <p>Elbows.....</p> <p>Bolting materials</p> <p>Forgings.....</p>	<p>M 1122 M 1122 Bis M 1132 M 1133 M 1151</p> <p>M 1131</p> <p>M 1142 M 1143 M 1145</p> <p>M 1131 M 1132 M 1143</p> <p>M 5110 M 5120 M 5140</p> <p>M 1122</p>
<p>STAINLESS STEEL AUXILIARY PIPING PRESSURE-RETAINING PARTS</p> <p>Pipes</p> <p>Fittings and flow limiter</p> <p>Bolting materials</p>	<p>M 3304 M 3314 M 3320</p> <p>M 3301 M 3304 M 3306 M 3307 M 3312 M 3314 M 3315 M 3317 M 3320</p> <p>M 5110 M 5120 M 5140</p>

Tablica 2.3 (c.d.)

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na rurociągi Class 3

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
AUXILIARY TANKS PRESSURE-RETAINING PARTS	
Products for fabricated body parts	M 1131 M 3307 M 3314 M 3320
Forgings	M 1122 M 3301 M 3306
Pipes	M 1143 M 3304 M 3320
Heads	M 1131 M 1132 M 3307 M 3312
Bolting materials	M 5110 M 5120 M 5140

Rozdział D 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz kontroli komponentów Class 3 zarówno podczas wytwarzania w warunkach warsztatowych, jak i na placu budowy. Rozdział ten zawiera podział na podrozdziały podobny do zastosowanego w rozdziale C 4000. Również zawartość podrozdziałów typu „D” często jest dokładnie taka sama, jak odpowiednich podrozdziałów typu „C”, a zatem wiele podrozdziałów w Subsection D zawiera tylko odnośnik do odpowiedniego podrozdziału w sekcjach IV „WELDING”, V „FABRICATION” oraz III „EXAMINATION METHODS”.

2.3.4 Small Components

W Subsection E kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów niedużych – Small Components. Zakres tej podsekcji jest podobny do poprzednich tylko pod względem tytułów 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 rurociągów:

E 2000 – Materials

E 3000 – Design

E 3100 – General Design Rules

E 3300 – Design Rules for Piping

E 4000 – Fabrication and its Associated Examinations

E 4100 – Cutting - Repairs Without Welding - Forming - Connection

E 4200 – Welding Qualifications and Acceptance of Filler Materials

E 4300 – Production Welding

E 4310 – General Provisions

E 4320 – Baking Filler Materials

E 4330 – Tack Welding

E 4340 – Protection of Fusion Baths

E 4350 – Arc Undercuts - Arc Striking

E 4360 – Weld Surface Finishing

E 4370 – Special Provisions for Socket Welded Joints

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

E 4500 – Hydrostatic Tests

W rozdziale E 2000 nie ma już, jak w przypadku komponentów Class 1, 2 i 3, odniesienia do Section II „MATERIAL”, lecz są wymienione normy typu EN dla wyrobów/materiałów do wykonania Small Component pod warunkiem spełnienia wymagań dodatkowych opisanych w podrozdziale E 2200. W przypadku rur są to normy:

1) Stale stopowe i węglowe:

EN 10216-1

EN 10216-2

EN 10217-1

EN 10217-2

2) Stale nierdzewne austenityczne i austenityczno-ferrytyczne:

EN 10216-5

EN 10217-7

NF A 49-214

W rozdziale E 2000 przedstawiono ponadto kilka wymagań dodatkowych. Na przykład, jeśli należy uwzględnić ryzyko wystąpienia korozji międzykrystalicznej, stosowane austenityczne lub austenityczno-ferrytyczne stale nierdzewne powinny cechować się niską zawartością węgla, a w stalach węglowych i stopowych przeznaczonych do spawania zawartość węgla nie może przekraczać 0,25%, siarki 0,040%, a fosforu 0,040%. Wyroby stalowe powinny być dostarczane co najmniej ze Świadectwem jakości typu 3.1 wg EN 10204.

Rozdział E 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz towarzyszących badań Small Components. Podział na podrozdziały w E 4000 jest nieco inny niż w rozdziałach C 4000 i D 4000, gdyż podrozdziały typu „E” zawierają kompletny opis wymagań do czynności produkcyjnych lub kryteriów akceptacji podczas badań nieniszczących bez odnośników (z nielicznymi wyjątkami) do odpowiedniego rozdziału lub podrozdziału w sekcjach IV „WELDING”, V „FABRICATION” oraz III „EXAMINATION METHODS”. Na wstępie stwierdza się jednak, że przed rozpoczęciem spawania wszystkie czynności i procedury spawalnicze oraz kwalifikacje spawaczy powinny zostać potwierdzone w oparciu o wymagania załącznika Annex H1 w Subsection H (patrz pkt. 2.3.5 Wytycznych).

2.3.5 Supports

W Subsection H kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące materiałów stosowanych do wytwarzania wsporników i zawieszek rurowych (H 2000), ich projektowania (H 3000) oraz wytwarzania i towarzyszących badań (H 4000), w tym czynności produkcyjnych (H 4300), spoin produkcyjnych (D 4400) oraz badań nieniszczących (H 4500). Subsection H zawiera ponadto dodatek Annex H1, w którym sformułowano wymagania dotyczące dopuszczenia spoiw, kwalifikowania technologii spawania oraz potwierdzenia kwalifikacji spawaczy i operatorów.

Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection H, w których przedstawiono wymagania dotyczące wsporników (*supports*):

H 1000 – General

H 1300 – Classification of Supports

H 1400 – Types of Supports and Attachments

H 1500 – Required Documents

H 1600 – Identification

H 2000 – Materials

H 2100 – General

H 2200 – Conditions of Application

H 2300 – Additional Requirements

H 2310 – Lamellar Tearing

H 3000 – Design

H 3100 – General Provisions

H 3200 – Rules for Class S1 Supports

H 3380 – Requirements for Welded Joints

H 3300 – Rules for Class S2 Supports

H 4000 – Fabrication and Associated Examinations

H 4100 – General

H 4200 – Preliminary Documents and Requirements for Fabrication and Examination

H 4300 – Fabrication Operations

H 4310 – General

H 4320 – Marking

- H 4330** – Cutting – Punching
- H 4340** – Forming – Alignment
- H 4350** – Surface Treatment
- H 4360** – Cleanliness
- H 4370** – Mechanical Joints
- H 4400** – Production Welds
 - H 4410** – Welds Joining Supports to Pressure Retaining Components
 - H 4420** – Other Production Welds
 - H 4430** – Examinations before and During Welding
 - H 4440** – Weld Finishing
 - H 4450** – Production Weld Data Sheet
- H 4500** – Non-Destructive Examination of Welds
 - H 4510** – General
 - H 4520** – Visual Examination
 - H 4530** – Surface and Volumetric Examinations
- H 5000** – Standard Supports and Standard Support Members

Annex H1 - Acceptance of Filler Materials and Welding Qualifications

- 0000** – Scope
- 1000** – General
 - 1100** – Preliminary Verifications, Qualifications and Acceptances
 - 1200** – Weldability of Materials
 - 1300** – General Remarks on Heat Treatments
- 2000** – Acceptance Of Filler Materials
- 3000** – Welding Procedure Qualification
- 4000** – Qualification of Welders and Operators

W podrozdziale H 1300 opisano podział wsporników i zawieszek w zależności od klasy bezpieczeństwa komponentów, z którymi one współpracują. A zatem wsporniki i zawieszki podzielono na dwie klasy: Class S1 oraz Class S2, przy czym komponenty zaliczane do Class 1 współpracują ze wspornikami Class S1, a komponenty Class 2 oraz Class 3 – ze wspornikami Class S2. Jeśli wspornik jest wspólny dla komponentów należących do dwóch różnych klas bezpieczeństwa, do wspornika stosuje się wymagania sformułowane do komponentu o wyższej klasie.

W rozdziale H 2000 stwierdza się, że zasadniczo materiały do wykonywania wsporników i zawieszek powinny spełniać wymagania norm francuskich AFNOR, które w zdecydowanej większości są francuskojęzyczną wersją norm typu EN lub EN ISO. W rozdziale są opisane również wymagania dodatkowe, na przykład w zakresie pęknięć lamelarnych (H 2310) i odporności na korozję międzykrystaliczną (H 2350).

W tabl. 2.4 i 2.5 zestawiono wyroby do wykonania systemów wsporczych i odniesienia do odpowiednich podrozdziałów Section II „MATERIAL” oraz norm EN lub EN ISO w zależności od klasy wsporników.

Tablica 2.4

Lista dokumentów odniesienia dotyczących materiałów stosowanych na systemy wsporcze klas S1 i S2

Wsporniki Class S1 i Class S2	Dokument odniesienia (norma lub podrozdział w Section II)
- Bars	M 5150
- Bars and austenitic stainless steel rolled or forged bars and semifinished products	M 3306
- Pins, screws	M 5140
- Bolting for general use	NF EN ISO 898-1 NF EN ISO 3506-1 NF EN ISO 3506-2 NF EN 20898-2
- Carbon steel plates, beams and strips bars and sections	M 1134
- Carbon steel plate	M 1131
- Austenitic stainless steel plate	M 3307
- General purpose austenitic stainless steel plate	M 3316
- Type P235GH, P265GH carbon steel pipe	M 1143
- Type P235GH, P265GH carbon steel pipe	M 1146
- Austenitic stainless steel forgings and drop forgings	M 3301

Tablica 2.5

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów na systemy wsparcze Class S1 dla wyszczególnionych komponentów

Wsporniki Class S1	Odniesienia do podrozdziałów w Section II
- Forged bars for RCP (Reactor Coolant Pump) support studs	M 5150
- Pins for ball bushing joints on RCP and SG (Steam Generator) supports	M 5150
- Bars for ball bushing joints for RCP and SG snubbers	M 5160
- Alloy steel plate for permanent pressurizer and SG fittings	M 2125
- Skirt	M 5180
- Type 12 MDV6 castings for: - SG and RCP support clevises, - main steam line support plates, clevises and clamps, - snubber supports,	M 5170
- Die cast or forged parts for: - reactor support pads, - upper clevis insert for RCP supports, - snubber components for RCP and SG supports.	

W rozdziale H4300 dotyczącym czynności związanych z wytwarzaniem wsporników i zawieszek już na samym początku wskazuje się, że mają zastosowanie wymogi opisane w Section V „FABRICATION” pod warunkiem spełnienia zastrzeżeń opisanych w H4300. W podrozdziale H 4360 dotyczącym czystości wskazuje się na przykład, że w przypadku wsporników z nierdzewnych stali austenitycznych, podczas ich produkcji w odniesieniu do zanieczyszczeń zaleca się stosowanie wymagań przedstawionych w rozdziale F 6400. Z kolei w podrozdziale H4372 wymieniono dodatkowe wymagania dotyczące połączeń śrubowych w przypadku wsporników i zawieszek rurowych.

Przed rozpoczęciem prac spawalniczych Wytwórca powinien przeprowadzić wszystkie badania uznaniowe, kwalifikowanie technologii oraz uznanie kwalifikacji spawaczy i operatorów określone w załączniku Annex H 1.

W rozdziale H 5000 opisano warunki stosowania standardowych wsporników i zawieszek, w tym proces ich uznawania.

2.3.6 Rurociągi nie objęte 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 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 zaczęto 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 rurociągów oznacza to, że wszystkie rurociągi wykonywane podczas budowy elektrowni jądrowej z reaktorem EPRTM nie objęte klasyfikacją powinny spełniać wymagania norm serii EN 13480 „Rurociągi przemysłowe metalowe” [21÷26]. Normy te są od dawna stosowane w Polsce i dobrze znane firmom krajowym.

2.4 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 rurociągów Class 1, 2 i 3 oraz wsporników są opisane w Division 1. Pierwszą w kolejności jest podsekcja NCA [27], w której przedstawiono wymagania dotyczące zapewnienia jakości, znakowania wyrobów oraz autoryzowanych inspekcji. Zawiera ona również aktualne interpretacje zapisów Section III, w tym w najnowszym wydaniu.

Jak już wspomniano wcześniej, rurociągi, podobnie jak inne urządzenia i komponenty ciśnieniowe, są klasyfikowane według klas bezpieczeństwa w zależności od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa.

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 poszczególnych urządzeń i komponentów elektrowni jądrowych powinni przestrzegać wymagań 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 (w tym rurociągi) oraz wsporniki i zawieszania (*supports*). 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”
- Subsection NF „Supports”

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

W podsekcji NCA wspomina się również o tym, 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 dokonujący prac montażowych wszystkich komponentów, w tym rurociągów, w warsztacie i na placu budowy oraz certyfikat typu „NS” – wytwórca wsporników i zawieszzeń. Wyroby będą wówczas ostemplowane specjalnym certyfikacyjnym znakiem o następującym wyglądzie:



Struktura podsekcji NB, NC, ND oraz NF kodu ASME Section III jest zawsze taka sama i zawiera główne rozdziały przedstawione w tabl. 2.6.

Tablica 2.6

Struktura podsekcji NB, NC, ND oraz NF 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
<i>* nie dotyczy Subsection NF - Supports</i>		

2.4.1 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, w tym rurociągów, zaliczanych do Class 1. Wymagania te są przedstawione w następujących rozdziałach i podrozdziałach podsekcji NB:

- NB-1000 Introduction
- NB-2000 Material
 - NB-2100 General Requirements for Material
 - 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
 - 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
 - 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
 - NB-2500 Examination and Repair of Pressure-Retaining Material
 - NB-2600 Material Organizations' Quality System Programs
 - NB-2700 Dimensional Standards
- NB-3000 Design
- NB-4000 Fabrication and Installation
 - NB-4100 General Requirements
 - NB-4200 Forming, Fitting, and Aligning
 - NB-4300 Welding Qualifications
 - NB-4400 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
 - NB-4500 Brazing
 - NB-4600 Heat Treatment
 - NB-4700 Mechanical Joints

- 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-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 NE-8000 wskazano ponadto, że komponenty Class 1 powinny posiadać tabliczki znamionowe, znak certyfikacyjny oraz raporty zgodne z wymaganiami rozdziału NCA-8000 [27]. Zgodnie z tablicą NCA-8000-1 w ww. rozdziale, znak certyfikacyjny powinien wyglądać, jak przedstawiono we wprowadzeniu do pkt. 2.5 niniejszych Wytycznych z liczbą „1” w dolnej części obrazka. Jest to znak względnie nowy, który zaczęto używać po 2011 roku. Wcześniejsza wersja zamiast symbolu „ASME” zawierała symbole „N”, „NPT” lub „NA” w zależności od typu posiadacza certyfikatu.

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 ponadto 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 spełniać wymagania zawarte ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, Tables 2A and 2B [32] 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” [33] 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” [34] 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 [34] wraz z wymaganiami dodatkowymi opisanymi w ww. rozdziale NB-3000, które opisano na około 10 stronach.

2.4.2 Class 2 oraz Class 3 Components

Wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, kontroli, prób odbiorowych i przygotowywania raportów w odniesieniu do komponentów, w tym rurociągów, zaliczanych do Class 2 oraz 3 są opisane odpowiednio w Subsection NC oraz Subsection ND. Jak już wykazano w tabl. 2.6, tytuły rozdziałów oraz większości podrozdziałów są takie same, jak w Subsection NB, zawierającej wymagania do komponentów Class 1. Różni się jednak treść niektórych rozdziałów, w których wymagania zostały zmodyfikowane poprzez dodatkowe uwarunkowania, usunięcie, a czasem także dodanie treści. Największe różnice występują w rozdziałach NC-2000 i ND-2000 oraz NC-3000 i ND-3000 dotyczących odpowiednio materiałów i projektowania. Pewne zmiany występują również w rozdziałach związanych z wytwarzaniem i spawaniem, np. w podrozdziałach NC-4300 i ND-4300 „Welding Qualifications”.

W stosunku do materiałów podstawowych 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 Class 1 na Class 2 i w końcu na Class 3. W przypadku komponentów Class 2 zaleca się stosowanie materiałów ujętych w ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, Tables 1A, 1B, and 3 [32], ale do wykonania zbiorników projektowanych w oparciu o zalecenia NC-3200 należy stosować stale z Tables 2A, 2B, and 4 [32]. Z kolei w przypadku wszystkich komponentów Class 3 zaleca się stosowanie materiałów ujętych w ASME Section II „MATERIAL”, Part D, Subpart 1, Tables 1A, 1B, and 3 [32]. Są również możliwości wykorzystania innych niż wymieniono materiałów, ale tylko do wytwarzania niektórych komponentów Class 2 i Class 3, co zostało opisane w odpowiednich podrozdziałach pt.: „Permitted Material Specifications” o symbolach NC-2121 oraz ND-2121.

W przypadku obydwu omawianych klas, podobnie jak dla Class 1, spoiwa powinny spełniać wymagania specyfikacji (norm) typu SFA przedstawionych w ASME Section II, Part C – „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals” [33] 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” [34] z uwzględnieniem wymagań dodatkowych opisanych w rozdziałach NC-2400 lub ND-2400.

Różnice występujące w wymaganiach dodatkowych stosowanych podczas kwalifikowania technologii spawalniczych w zależności od klasy komponentu lub rurociągu odzwierciedlono w sposób uproszczony w tabl. 2.7. Największe różnice występują, jak wynika z tablicy, w próbie łamania udarowego.

Tablica 2.7

Zawartość rozdziałów Nx-4330, Nx-4350 i Nx-4360 w zależności od podsekcji

Podrozdział	Tytuł	NB	NC	ND
Nx-4330	GENERAL REQUIREMENTS FOR WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TESTS			
Nx-4331	Conformance to Section IX Requirements	NB=NC=ND		
Nx-4333	Heat Treatment of Qualification Welds for Ferritic Materials	NB=NC=ND		
Nx-4334	Preparation of Test Coupons and Specimens	NB=NC=ND		
Nx-4334.1	Coupons Representing the Weld Deposit	NB=NC		ND
Nx-4334.2	Coupons Representing the Heat-Affected Zone	NB=NC		ND
Nx-4335	Impact Test Requirements	NB	NC=ND	
Nx-4335.1	Impact Tests of Weld Metal	NB	NC	ND
Nx-4335.2	Impact Tests of Heat-Affected Zone	NB	NC~ND	
Nx-4336	Qualification Requirements for Built-Up Weld Deposits	NB=NC=ND		
Nx-4337	Welding of Instrument Tubing	NB=NC		brak
Nx-4350	SPECIAL QUALIFICATION REQUIREMENTS FOR TUBE-TO-TUBESHEET WELDS			
Nx-4360	QUALIFICATION REQUIREMENTS FOR WELDING SPECIALLY DESIGNED WELDED SEALS			brak
Nx-4361	General Requirements	NB=NC		brak
Nx-4362	Essential Variables for Automatic, Machine, and Semiautomatic Welding	NB=NC		brak
Nx-4363	Essential Variables for Manual Welding	NB=NC		brak
Nx-4366	Test Assembly	NB=NC		brak
Nx-4366.1	Automatic Welding	NB=NC		brak
Nx-4366.2	Manual, Machine, and Semiautomatic Welding	NB=NC		brak
Nx-4367	Examination of Test Assembly	NB=NC		brak
Nx-4368	Performance Qualification Test	NB=NC		brak

2.4.3 Supports: ASME Section III, Division 1 – Subsection NF

Subsection NF zawiera zasady i wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących i przygotowywania raportów w odniesieniu do wsporników i zawieszek. Wymagania do wsporników są przedstawione w zależności od tego, z której klasy komponentem one współpracują. A zatem wymagania są sformułowane dla Class 1, 2 oraz 3. W Subsection NF są również opisane wymagania do wsporników dla komponentów typu MC (konstrukcja metalowa obudowy bezpieczeństwa – *containment vessel*), ale nie są one przedmiotem niniejszych Wytycznych, chociaż w związku z tym, że obudowa stalowa jest konstrukcją szczelną, fragmenty rurociągów z nią związanych (do pierwszego zaworu) są związane z bezpieczeństwem jądrowym i opisane w Subsection NE „Class MC Components”.

Wymagania dotyczące wsporników są przedstawione w następujących rozdziałach i podrozdziałach podsekcji NF:

- NF-1000 Introduction
- NF-2000 Material
 - NF-2100 General Requirements for Material
 - NF-2200 Material Test Coupons and Specimens for Ferritic Steel Material
 - NF-2210 Heat Treatment Requirements
 - NF-2220 Procedure for Obtaining Test Coupons and Specimens for Quenched and Tempered Material
 - NF-2300 Fracture Toughness Requirements for Material
 - NF-2310 Material to Be Impact Tested
 - NF-2320 Impact Test Procedures
 - NF-2330 Test Requirements and Acceptance Standards
 - NF-2340 Number of Impact Tests Required
 - NF-2350 Retests
 - NF-2360 Calibration of Instruments and Equipment
 - NF-2400 Welding Materials
 - NF-2410 General Requirements
 - NF-2420 Required Tests

- NF-2430 Weld Metal Test
 - NF-2440 Storage and Handling of Welding Material
 - NF-2500 Examination and Repair of Material
 - NF-2600 Material Organizations' Quality System Programs
- NF-3000 Design
- NF-4000 Fabrication and Installation
 - NF-4100 General Requirements
 - NF-4200 Forming, Fitting, and Aligning
 - NF-4300 Welding Qualifications
 - NF-4400 Rules Governing Making and Repairing Welds
 - NF-4500 Brazing
 - NF-4600 Heat Treatment
 - NF-4700 Requirements for Bolted Construction
- NF-5000 Examination
 - NF-5100 General Requirements for Examination
 - NF-5110 Procedures, Qualifications, and Evaluations
 - NF-5200 Required Examination of Welds
 - NF-5300 Acceptance Standards
 - NF-5320 Radiographic Acceptance Standards
 - NF-5330 Ultrasonic Acceptance Standards
 - NF-5340 Magnetic Particle Acceptance Standards
 - NF-5350 Liquid Penetrant Acceptance Standards
 - NF-5360 Visual Acceptance Standards for Brazed Joints
 - NF-5500 Qualifications and Certification of Nondestructive Examination Personnel
 - NF-5510 General Requirements
 - NF-5520 Personnel Qualification, Certification, and Verification
 - NF-5530 Records
- NB-8000 Certificates of Authorization and Certification Documents
- Mandatory Appendix: **NF-I / NF-II / NF-III**
- Nonmandatory Appendix: **NF-A / NF-B / NF-C / NF-D / NF-E**

Różnice w wymaganiach dotyczą przede wszystkim zalecanych do stosowania materiałów oraz projektowania. W podrozdziale NF-2121 wskazuje się, że do wykonania wsporników i zawieszek poza wskazanymi wyjątkami powinny być stosowane materiały podstawowe wymienione w ASME Section II, Part D [32] w zależności od klasy, jak wskazano w Table NF-2121(a)-1 „Material Tables Required for Supports”. W podrozdziale NF-2130 „Certification of Material” podano także, że materiały na wsporniki powinny być certyfikowane. Raporty z badań (*Certified Material Test Reports*) zgodne z NCA-3862 są z kolei przewidziane dla materiału użytego do wytwarzania wsporników dla urządzeń układu pierwotnego Class 1. Materiały na podpory innych klas oraz wszystkich klas wsporników standardowych powinny być zaopatrzone w raporty z badań, gdy wymagane są próby łamania udarowego (NF-2311). Kopie tych certyfikatów powinny być dostarczone ze wspornikami. Dostawcy materiałów powinni posiadać program zapewnienia jakości (*Quality System Program*) zgodny z wymaganiami NCA-3800, o czym świadczy posiadanie certyfikatu *Quality System Certificate (QSC)*.

Wymagania w zakresie wytwarzania, w tym spawania, nie różnią się zasadniczo w zależności od klasy wsporników. W rozdziale NF-4000 można zauważyć tylko kilka wymagań dodatkowych dotyczących niektórych wsporników Class 1. Więcej różnic występuje wśród wymagań zawartych w rozdziale NF-5000 dotyczących badań. Są one opisane w podrozdziale NF-5200 osobno dla wsporników Class 1 (NF-5210), Class 2 and MC (NF-5220) oraz Class 3 (NF-5230).

Subsection NF zawiera również szereg obowiązkowych do stosowania (*Mandatory*) i nieobowiązkowych (*Nonmandatory*) załączników dotyczących głównie zagadnień projektowych.

2.4.4 Rurociągi nie objęte klasyfikacją wg 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 rurociągi nie objęte klasyfikacją związaną z bezpieczeństwem jądrowym powinny spełniać wymagania dokumentacji projektowej, która z dużym prawdopodobieństwem zakłada stosowanie odpowiednich norm amerykańskich. Normą odniesienia w przypadku rurociągów energetycznych jest norma ASME B31.1 „Power piping” [35].

Poniżej przedstawiono tytuły wszystkich rozdziałów ww. normy ASME B31.1 z podaniem tytułów niektórych podrozdziałów:

- 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 podrozdziale 127 dotyczącym spawania już na samym początku uwag 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” [34]. W podrozdziale tym opisano także szczegóły procesów produkcyjnych związanych ze specyfiką spawania rur. W pkt. 127.2.1 stwierdzono z kolei, że spoiwa powinny spełniać wymagania specyfikacji (norm) typu SFA zestawionych w ASME Section II, Part C – „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals” [33].

Zagadnienia związane z wytwarzaniem i mocowaniem wsporników i zawiesz (pipe supports) opisano w podrozdziale 130 „Requirements for Fabricating and Attaching Pipe Supports”.

3 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 i ASME Section III, w których są zawarte wymagania dotyczące wytwarzania rurociągów Class 1, 2, 3 oraz nie objętych klasyfikacją (tabl. 3.1 i 3.2), jak również współpracujących z nimi wsporników (tabl. 3.3 i 3.4). Szczegółowo wymagania opisano w pkt. 2 niniejszych wytycznych.

Tablica 3.1

System zapewnienia jakości (zarządzania jakością) podczas wytwarzania rurociągów w elektrowniach jądrowych

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1	System zapewnienia jakości				
1.1	RCC-M	GS-R-3 NSQ-100	GS-R-3 NSQ-100	GS-R-3 NSQ-100	ISO 9001
1.2	ASME Section III				
1.2.1	Wytwórca	NQA-1	NQA-1	NQA-1	
1.2.2	Dostawca materiału	NCA-3800	NCA-3800	NCA-3800	

Tablica 3.2

Rurociągi Class 1, 2, 3 i nie objęte klasyfikacją

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1	RCC-M	Subsection B	Subsection C	Subsection D	EN 13480
1.1	Wprowadzenie	B 1000	C 1000	D 1000	EN 13480-1
1.2	Materiały	B 2000	C 2000	D 2000	EN 13480-2
1.2.1	Materiał podstawowy	B 2200	C 2200	D 2200	
1.3	Projektowanie	B 3000	C 3000	D 3000	EN 13480-3
1.4	Wytwarzanie i badanie	B 4000	C 4000	D 4000	EN 13480-4
1.4.1	Spawanie i procesy pokrewne	B 4400	C 4400	D 4400	
1.4.2	Kwalifikowanie spawania	B 4231 S 1000 S 3000	C 4231 S 1000	D 4231 S 1000	EN ISO 15614-x
1.4.3	Badanie	B 4460	C 4460	D 4460	EN 13480-5
1.5	Próba ciśnieniowa	B 5000	C 5000	D 5000	
2	ASME Section III	Subsection NB	Subsection NC	Subsection ND	ASME B31.1
2.1	Wprowadzenie	NB-1000	NC-1000	ND-1000	Ch. I
2.2	Materiały	NB-2000	NC-2000	ND-2000	Ch. III
2.2.1	Materiał podstawowy	NB-2100	NC-2100	ND-2100	123.1
2.2.2	Spoiwa	NB-2400	NC-2400	ND-2400	127.2.1
2.3	Projektowanie	NB-3000	NC-3000	ND-3000	Ch. II
2.4	Wytwarzanie i instalowanie	NB-4000	NC-4000	ND-4000	Ch. V
2.4.1	Kwalifikowanie technologii spawalniczych	NB-4300	NC-4300	ND-4300	127.1.1 127.5
2.5	Badanie	NB-5000	NC-5000	ND-5000	136
2.6	Próba ciśnieniowa	NB-6000	NC-6000	ND-6000	137

Tablica 3.3

Wsporniki wg RCC-M

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class S1	Class S2
1	RCC-M	Subsection H	Subsection H
1.1	Wprowadzenie	H 1000	H 1000
1.2	Materiały	H 2000	H 2000
1.2.1	Materiał podstawowy	H 2200	H 2200
1.3	Projektowanie	H 3200	H 3300
1.4	Wytwarzanie i badanie	H 4000	H 4000
1.4.1	Spawanie produkcyjne	H 4400	H 4400
1.4.2	Kwalifikowanie spawania	Annex H1	Annex H1
1.4.3	Badanie	H 4500	H 4500
2	System zapewnienia jakości	GS-R-3 NSQ-100	GS-R-3 NSQ-100

Tablica 3.4

Wsporniki wg ASME Section III oraz ASME B31.1

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1	ASME Section III	Subsection NF	Subsection NF	Subsection NF	ASME B31.1
1.1	Wprowadzenie	NF-1000	NF-1000	NF-1000	
1.2	Materiały	NF-2000	NF-2000	NF-2000	
1.2.1	Materiał podstawowy	NF-2100	NF-2100	NF-2100	
1.2.2	Spoiva	NF-2400	NF-2400	NF-2400	
1.3	Projektowanie	NF-3220 NF-3320 NF-3420 NF-3520 NF-3620	NF-3250 NF-3350 NF-3450 NF-3550 NF-3650	NF-3260 NF-3360 NF-3460 NF-3550 NF-3650	Ch II Part 5
1.4	Wytwarzanie i instalowanie	NF-4000	NF-4000	NF-4000	130
1.4.1	Kwalifikowanie technologii spawalniczych	NF-4300	NF-4300	NF-4300	
1.5	Badanie	NF-5000	NF-5000	NF-5000	
2	System zapewnienia jakości	NQA-1	NQA-1	NQA-1	

4 Podsumowanie

Dostępne publikacje techniczne i opisy budowy elektrowni jądrowych z reaktorami EPRTM, AP1000 oraz ABWR wykazują, że rurociągi o różnym przeznaczeniu oraz poziomie bezpieczeństwa jądrowego stanowią istotną część instalowanych w elektrowni komponentów. W zależności od typu reaktora oraz dostawcy technologii jądrowej, ich łączna długość wynosi od 70 km do 150 km. Rurociągi są wykonywane z rur ze stali węglowych oraz nierdzewnych, przy czym te ostatnie stanowią ponad połowę ogólnej długości.

Zarówno w kodzie AFCEN RCC-M, jak i ASME Section III są przedstawione wymagania dotyczące rurociągów w trzech klasach bezpieczeństwa: Class 1, 2 i 3. Należy w tym miejscu nadmienić, że rurociągi, podobnie jak i inne urządzenia i komponenty ciśnieniowe w elektrowniach jądrowych, są klasyfikowane według klas bezpieczeństwa w zależności od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa. W odpowiednich podrozdziałach obydwu kodów podkreślono, że klasa komponentów jest określona w specyfikacji technicznej każdego konkretnego urządzenia lub układu. W związku z powyższym kody RCC-M i ASME Section III nie definiują, które z poszczególnych urządzeń lub komponentów należą do Class 1, 2 lub 3, lecz zawierają tylko wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów zaliczanych do tych klas. Wyjątek stanowi Class 1, do której zawsze są zaliczane komponenty i rurociągi układu chłodzenia rdzenia reaktora.

Również wsporniki (*supports*) współpracujące z komponentami i rurociągami są zaliczane do odpowiednich klas. W przypadku kodu RCC-M, wsporniki i zawieszenia podzielono na dwie klasy: Class S1 oraz Class S2, przy czym komponenty zaliczane do Class 1 współpracują z wspornikami Class S1, a komponenty Class 2 oraz Class 3 – ze wspornikami Class S2. Jeśli wspornik jest wspólny dla komponentów należących do dwóch różnych klas bezpieczeństwa, to do wspornika stosuje się wymagania wyższej klasy.

W przypadku kodu ASME Section III w Subsection NF są przedstawione wymagania do wsporników, które współpracują z komponentami i rurociągami zaliczanymi do Class 1, 2, 3 oraz MC. Symbolem MC opisano stalowy płaszcz

bezpieczeństwa oraz komponenty z nim współpracujące. Główne różnice występują w rozdziałach dotyczących projektowania.

Z przeprowadzonej analizy wymagań kodów AFCEN i ASME dotyczących rurociągów i wsporników wynika, że w przypadku kodu AFCEN RCC-M zdecydowana większość norm, na które ten kod powołuje się, są normami europejskimi typu EN lub międzynarodowymi typu EN ISO, szczególnie jeśli chodzi o procesy spawania, w tym normy dotyczące: spoiw, kwalifikowania technologii spawalniczych i badań NDT, jak również kwalifikacji personelu spawalniczego oraz NDT. Podobna sytuacja ma miejsce także w przypadku rurociągów nie objętych ww. klasyfikacją bezpieczeństwa, które należy wykonywać w oparciu o wymagania serii norm europejskich EN 13480 [21÷26].

W przypadku ASME, ewentualne odwołania w tekście kodu dotyczą poszczególnych jego sekcji oraz norm amerykańskich typu ASTM, AWS, ANSI/AISC i innych. W przypadku reaktorów AP1000 i ABWR oznacza to, że rurociągi nie objęte ww. klasyfikacją bezpieczeństwa należy wykonywać w oparciu o wymagania amerykańskiej normy ASME B31.1 [35].

Należy podkreślić, że niezależnie od używanego kodu, do wykonania wielu rurociągów zaleca się stosowanie rur ze stali węglowych powszechnie stosowanych w konwencjonalnych elektrowniach oraz z austenitycznych stali nierdzewnych typu AISI 304L lub 316L, które również są często stosowane w zakładach chemicznych lub petrochemicznych oraz przemyśle spożywczym. Z przetwarzaniem obydwu tych rodzajów stali (cięciem, gięciem, spawaniem) krajowe firmy z branży metalowej powinny bez trudu sobie poradzić. Podstawowym zadaniem do wykonania jest posiadanie: sprawdzonego i certyfikowanego systemu zapewnienia jakości uwzględniającego specyficzne wymagania jądrowe, sprawdzonych i kwalifikowanych technologii produkcyjnych (przede wszystkim spawalniczych), personelu o potwierdzonych kwalifikacjach, jak również udowodnienie, że firma posiada doświadczenie w wykonaniu rurociągów w obiektach jądrowych lub zakładach o podobnej skali odpowiedzialności i złożoności, odpowiednio przygotowane hale produkcyjne do przeprowadzenia prefabrykacji fragmentów rurociągów oraz jest w stanie zapewnić terminowość wykonania zleceń.

5 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. Guide YVL B.2. Classification of systems, structures and components of a nuclear facility. STUK, 15 November 2013.
5. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna, 2014.
6. Safety of Nuclear Power Plants: Design. IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna, 2016.
7. Safety Assessment for Facilities and Activities. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1), IAEA, Vienna, 2016.
8. Finland: Olkiluoto 3 Gradually Taking Shape. Nuclear News Letter, AREVA NP Customer Information, November 2007.
9. <http://www.boccard.com/en/nuclear-island-auxiliary-systems>
10. McIntyre J. Hinkley Point C...full steam ahead! Nuclear Exchange, Volume 10, May 2013, s. 31-34.
11. <http://www.boccard.com/en/piping-support>
12. <http://www.tvö.fi/news/1465>
13. Malouines Ph., Bezdikian G. From the Safety Approach of a Nuclear Power Plant, to the Manufacturing and Welding of Mechanical Components in Line with RCC-M Code. Seminarium pt. : „Kody, normy i przepisy dotyczące projektowania, wytwarzania oraz systemów zarządzania jakością obowiązujących w przemyśle jądrowym”, MG/IS/UDT, Warszawa, 22-24.09.2015r.
14. Varpasuo P. The seismic response and floor spectra of OL3 NPP buildings in Finland. 18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 18), Beijing, China, August 7-12, 2005.
15. <http://www.westinghousenuclear.com/Why-Nuclear/Jobs>

16. Gaio P. AP1000: The PWR Revisited. IAEA International Conference on Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century, 27 October 2009.
17. Kajiyama N., Hamamura K., Murayama K. Hitachi's Involvement in Nuclear Power Plant Construction in Japan. Hitachi Review, Vol. 58 (2009), No.2.
18. The ABWR Plant. General Description. GE Energy, USA, December 2006.
19. The ABWR Plant. General Description. GE Hitachi Nuclear Energy, USA, 7.1.2007.
20. AFCEN RCC-M „Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP”. 2016 Edition.
21. PN-EN 13480-1:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 1: Postanowienia ogólne”.
22. PN-EN 13480-2:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 2: Materiały”.
23. PN-EN 13480-3:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 3: Projektowanie i obliczenia”.
24. PN-EN 13480-4:2012/A2:2016-04 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 4: Wykonanie i montaż”.
25. PN-EN 13480-5:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 5: Kontrola i badania”.
26. PN-EN 13480-6:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe – Część 6: Wymagania dodatkowe dla rurociągów podziemnych”.
27. ASME B&PVC, Section III – Subsection NCA „General Requirements for Division 1 and Division 2”, 2015.
28. ASME B&PVC, Section III, Division 1 – Subsection NB „Class 1 Components”, 2015.
29. ASME B&PVC, Section III, Division 1 – Subsection NC „Class 2 Components”, 2015.
30. ASME B&PVC, Section III, Division 1 – Subsection ND „Class 3 Components”, 2015.
31. ASME B&PVC, Section III, Division 1 – Subsection NF „Supports”, 2015.
32. ASME B&PVC, Section II, Part D „Properties (Customary)”, 2015.
33. ASME B&PVC, Section II, Part C „Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals”, 2015.

34. ASME B&PVC, Section IX „Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators”, 2015.

35. ASME B31.1-2016 „Power piping“.
