

# Charakterystyka ogólna rurociągów w elektrowni jądrowej z reaktorem EPR™ oraz wymagania w zakresie ich spawania

## Wprowadzenie

W 2016 roku Ministerstwo Energii przeprowadziło analizę dotyczącą realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ), którą przedstawiono i przyjęto na posiedzeniu Rady Ministrów w dniu 14 października 2016 roku. W chwili przygotowywania niniejszego artykułu sprawozdanie nie zostało jeszcze opublikowane w Monitorze Polskim, ale z informacji prasowej na stronie internetowej Ministerstwa Energii wynika, że dokument ten dotyczy działań w latach 2014-2015 zarówno z obszaru administracji rządowej, jak i inwestora, czyli Grupy Kapitałowej PGE SA, w tym PGE EJ 1 [1]. W notatce podkreślono, że Ministerstwo Energii będzie kontynuować rozpoczęte już wcześniej prace nad aktualizacją PPEJ, w tym założeń dotyczących optymalnego modelu finansowania inwestycji oraz postępowania przetargowego. Ich wyniki zostaną przedstawione w I kwartale 2017 r., a aktualizacja samego Programu - do końca 2017 r. Pod koniec 2017 roku oczekuje się ponadto ogłoszenia przetargu na dostawę technologii jądrowej dla pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

Wśród potencjalnych dostawców technologii jądrowej najczęściej wymienia się firmy: AREVA (EPR™), Hitachi GE (ABWR) oraz Westinghouse (AP1000), chociaż nie wyklucza się również udziału w przetargu kanadyjskiej firmy SNC-Lavalin (EC6) oraz koreańskiej KEPCO (APR1400). Niezależnie od typu reaktora oraz jego dostawcy, istotną część układów technologicznych elektrowni jądrowej stanowią rurociągi (*piping*) oraz elementy lub systemy wsparcze (*pipe supports lub support systems*). Poniżej omówiono wymagania dotyczące wytwarzania rurociągów podczas budowy elektrowni jądrowej z reaktorem EPR™.

## Klasyfikacja rurociągów w elektrowniach jądrowych

Jak wiadomo, specyfika pracy elektrowni jądrowej polega na tym, że do wytwarzania pary zasilającej turbinę, która generuje prąd elektryczny, stosuje się ciepło powstające w wyniku przebiegu reakcji jądrowej (rozszerzania jąder atomowych). Fakt ten powoduje, że 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 [2] lub AFCEN RCC-M [3]. 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 [4]. 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 najbardziej poważne skutki dla osób i otoczenia.

W Polsce w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru tech-

nicznego 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 zbliżone 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”.

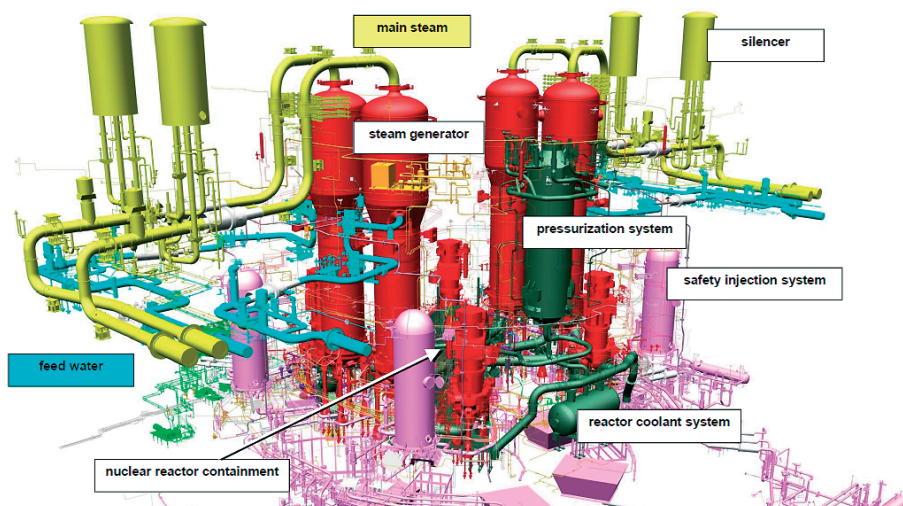
W związku z powyższym, w przypadku budowy w Polsce elektrowni jądrowej z reaktorem EPR™ francuskiej firmy AREVA do wykonywania rurociągów wykonywania klasy 1, 2 i 3 będą stosowane wymagania zawarte w odpowiednich sekcjach i rozdziałach kodu AFCEN RCC-M.

## Charakterystyka ogólna rurociągów w elektrowni z reaktorem EPR™

W elektrowniach jądrowych rurociągi lub komponenty rurowe mogą być wykonane z różnych materiałów, w tym stali niestopowych i nierdzewnych, jak również stopów niklu, tytanu lub cyrkonu. W przypadku dostawy technicznej wody chłodzącej, rurociągi mogą być wykonane także z betonu lub tworzyw sztucznych, co ostatnio coraz częściej zdarza się w praktyce budowy elektrowni jądrowych. Średnica rur zależy od funkcji i lokalizacji rurociągu oraz mieści się w zakresie od kilku milimetrów do nawet 2,4 m.

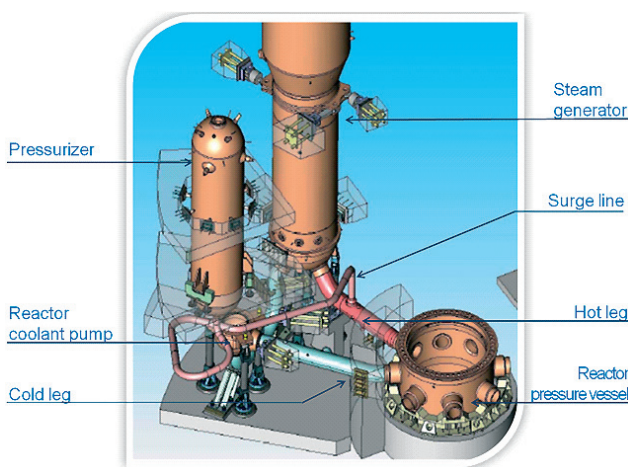
W zależności od kraju i miejsca budowy elektrowni jądrowej z reaktorem EPR™ oraz źródła danych, łączna długość rurociągów w przypadku pojedynczego bloku wynosi od 100 km do 120 km [5]. Większość z tych rurociągów jest zlokalizowana w wyspie jądrowej (rys. 1) i tylko od 5 do 10% mieści się w wyspie turbinowej.

Wspomniane już 120 km rurociągów tworzą rury stalowe o średnicy od 10 mm do 400 mm, z których 60% to rury ze stali nierdzewnych w gatunkach AISI 304L, 316L oraz 904L [6]. Firma Bocard na swojej stronie internetowej informuje [7], 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 rysunku 2 przykładowo pokazano umiejscowienie w konstrukcji budynku bezpieczeń-

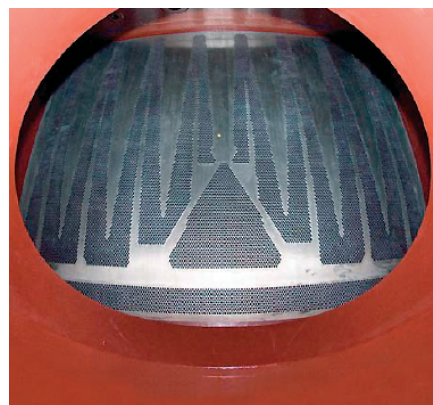


Rys. 1. Układy reaktora EPRTM, w których rurociągi odgrywają istotną rolę (Źródło: AREVA)

Kolejnym urządzeniem, w którym są wykorzystywane rurki są wytwornice pary, w których w zależności od konstrukcji łączna długość rurek mieści się w zakresie od 75 km do 220 km, a do ich produkcji stosuje się różne gatunki stopów niklu, ale głównie stop Alloy 690 (UNS N06690). Średnica używanych w wytwornicach rurek waha się w zakresie od 14 mm 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) z reaktorem EPR™ zawiera 6000 rurek o łącznej długości 140 km [11].



Rys. 2. Podstawowe urządzenia i rurociągi obiegu pierwotnego reaktora EPR™ w elektrowni Olkiluoto 3 [8]



Rys. 3. Budowa dna sitowego i chłodzonych wodą morską rurek skraplacza w Olkiluoto 3 [10]

stwa kotw i wsporników mocujących główne rurociągi, jedną z wytwornic pary oraz stabilizator ciśnienia w obiegu pierwotnym reaktora EPR™.

W prezentacji [9] wskazano, że układy bezpieczeństwa i peryferyjne w jądrowym systemie dostarczania pary (NSSS - Nuclear Steam Supply System) 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 peryferyjnych nie związanych z dostarczaniem pary, tylko 45% rurociągów, które je tworzą jest wykonywanych według wymagań kodu RCC-M, w tym 18% rurociągów klasy 2 oraz 27% rurociągów klasy 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 mieści się w przedziale od 10,3 mm do 863,60 mm.

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 (rys. 3).

### Wymagania RCC-M

Poniższa analiza wymagań została przeprowadzona w oparciu o angielskojęzyczną wersję kodu RCC-M:2012 [3], ponieważ w chwili przygotowywania artykułu nowe wydanie kodu RCC-M:2016 [12] opublikowano tylko w języku francuskim.

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 rozdziale A 4100 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 klasy 1), lecz zawiera jedynie wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów zaliczanych do klas 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” (małe elementy) opisuje komponenty klasy 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 bara ciśnienia względnego przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym (1013 mbarów) lub o średnicy nominalnej (ND) równej lub mniejszej niż 25 mm.

Rurociągi klasy 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 według Subsection H, wsporniki i zawieszania (*support*) są podzielone na klasy S1 i S2 odpowiednio do klasy obsługiwanego komponentu. Zgodnie z rozdziałem H 1310, wsporniki klasy S1 współpracują z komponentami klasy 1, a wsporniki klasy S2 z komponentami klasy 2 i 3.

### Komponenty klasy 1

W Subsection B kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów klasy 1, w tym rurociągów, 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 wymieniono 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 klasy 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 wykonywania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nieprzekroczenie wartości 0,10%.

Zestawienie wszystkich komponentów klasy 1 z podaniem rozdziałów Section II „MATERIAL” opisujących wymagania materiałowe, zawiera tablica B 2200 kodu RCC-M. W tablicy 1 zestawiono natomiast wymagania dotyczące tylko rurociągów klasy 1, z której wynika przykładowo, że wymagania materiałowe do orurowania układu chłodzenia reaktora (REACTOR COOLANT PIPING), 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 CrNi-Mo 18.12 Controlled Nitrogen Content Austenitic Stainless Steel for Reactor Coolant Piping

Tablica 1. Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów rur i innych elementów tworzących wybrane przykładowe rurociągi klasy 1

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
<b>REACTOR COOLANT PIPING</b>	
<b>PRESSURE RETAINING PARTS</b>	
Pipes (rury) .....	M 3321 M 3406
Elbows (kolanka):	
- casting (odlewane) .....	M 3403
- forging bending or die-formed (gięte przez kucie lub tłoczone) .....	M 3321
Taps (króćce) .....	M 3301 M 3304 M 3403
<b>SECONDARY PIPING</b>	
<b>PRESSURE RETAINING PARTS</b>	
Pipes (rury) .....	M 1144 M 1152
Bends (kolana) .....	M 1125
Fittings (armatura) .....	M 1149
Forgings (odkuwki) .....	M 1122 M 1122 Bis M 1124

**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 (gięte przez kucie):

**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 CrNi-Mo 18.12 Controlled Nitrogen Content Austenitic Stainless Steel for Reactor Coolant Piping.

Rozdział B 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz badań komponentów klasy 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, a także 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 już są ujęte w rozdziale S 3000 „Welding procedure qualification” ww. sekcji „SPAWANIE”.

Bardzo istotnym zagadnieniem podczas wytwarzania komponentów klasy 1, w tym rurociągów, jest czystość strefy produkcyjnej. Zwrócono na to uwagę w podrozdziale B 4240, gdzie stwierdzono, że gdy istnieją szczególne wymagania dotyczące czystości zarówno w warsztacie, jak i 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 wykonywania.

Wymagania w zakresie spawania rurociągów bazują na wymaganiach Section IV „WELDING”, które jednakże są 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.

### **Komponenty klasy 2 oraz klasy 3**

W Subsection C oraz D kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące odpowiednio komponentów klasy 2 oraz 3 w zakresie: materiałów stosowanych do wytwarzania tych komponentów (C 2000 / D 2000), ich projektowania (C 3000 / D 3000) oraz wytwarzania i kontroli jakości (C 4000 / D 4000), w tym spawania (C 4400 / D 4400), prób ciśnieniowych (C 5000 / D 5000) i na koniec ochrony przed nadciśnieniem (C 6000 / D 6000).

W Subsection C i D zastosowano podział na rozdziały i podrozdziały, których tytuły w większości przypadków brzmią podobnie jak w Subsection B „Class 1 Components” z niewielkimi zmianami.

W rozdziałach C 2000 i D 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów klasy 2, w tym rury, powinny spełniać wymagania RCC-M Section II „MATERIAL”. Podobnie jak w przypadku rurociągów klasy 1, stosowane stale nierdzewne powinny cechować się bardzo niską zawartością węgla, a w stalach stosowanych do wykonywania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nieprzekroczenie wartości 0,10%.

Zestawienia układów i komponentów klasy 2 i 3 z podaniem rozdziałów Section II „MATERIAL”, w których opisano wymagania materiałowe, zawarte są odpowiednio w tablicach C 2200 i D 2200 kodu RCC-M. Tablice te są skonstruowane podobnie do tablicy B 2200 RCC-M, której fragment przedstawiono w tablicy 1. Poniżej wymieniono układy i komponenty ciśnieniowe klasy 2 i 3 wyspy jądrowej, przy wykonywaniu których są stosowane rury:

#### **Class 2:**

- AUXILIARY PUMPS
- STAINLESS STEEL AUXILIARY PIPING
- CARBON STEEL SECONDARY PIPING (Piping of systems defined in A 4222 or in C 4440)
- CARBON STEEL AUXILIARY PIPING (Piping of systems other than those defined in A 4222 or in C 4440)
- AUXILIARY TANKS

#### **Class 3:**

- CARBON STEEL AUXILIARY PUMP
- STAINLESS STEEL AUXILIARY PIPING
- AUXILIARY TANKS.

Przykładowo, wymagania materiałowe dotyczące rur ze stali węglowych stosowanych w rurociągach klasy 2 obiegu wtórnego (CARBON STEEL SECONDARY PIPING) przedstawiono w rozdziałach M 1144 i M 1152, a w układach pomocniczych (CARBON STEEL AUXILIARY PIPING) w rozdziałach M 1141, M 1142, M 1143, M 1143Bis, M 1145 i M 1148:

#### **Class 2 CARBON STEEL SECONDARY PIPING:**

**M 1144** - Type P280GH Seamless Forged Carbon Steel Pipes

**M 1152** - Type P280GH Seamless Carbon Steel Pipes

#### **Class 2 CARBON STEEL AUXILIARY PIPING:**

**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.

Z kolei, wymagania materiałowe dotyczące rur stosowanych podczas wytwarzania zbiorników pomocniczych klasy 2 (AUXILIARY TANKS) przedstawiono w rozdziałach M 1144, M 3304 oraz M 3320:

### Class 2 AUXILIARY TANKS:

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

**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).

Rozdziały C 4000 i D 4000 zawierają wymagania dotyczące wytwarzania oraz kontroli odpowiednio komponentów klasy 2 i 3 zarówno podczas wytwarzania w warunkach warsztatowych, jak i na placu budowy. Rozdziały te zawierają podział na podrozdziały podobny do zastosowanego w rozdziale B 4000. Różnica jednak polega na tym, że w podrozdziałach rozdziałów C 4000 i D 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”. Przykładowa zawartość kilku wybranych podrozdziałów została przedstawiona w tablicy 2.

Tablica 2. Przykładowe podrozdziały Section C kodu RCC-M

Section C	Tłumaczenie na język polski:
<b>C 4360 CLEANLINESS</b> Reference text: F 6000.	<b>C 4360 CZYSTOŚĆ</b> Tekst odniesienia: F 6000.
Supplementary requirements may be specified in the equipment specification.	Wymagania uzupełniające mogą zostać określone w specyfikacji urządzenia.
<b>C 4450 REPAIR BY WELDING</b> Reference text: S 7600 (paragraphs dealing with class 2 equipment).	<b>C 4450 NAPRAWA PRZEZ SPAWANIE</b> Tekst odniesienia: S 7600 (ustępy dotyczące urządzeń klasy 2).
<b>C 4460 NON-DESTRUCTIVE EXAMINATION OF PRODUCTION WELDS</b> Reference text: S 7720.	<b>C 4460 BADANIA NIENISZCZĄCE SPOIN PRODUKCYJNYCH</b> Tekst odniesienia: S 7720.

### Małe elementy (Small Components)

W Subsection E kodu RCC-M przedstawiono wymagania dotyczące komponentów niedużych (Small Components). Zakres tej podsekcji jest podobny do poprzednich tylko tam, gdzie chodzi o tytuły głównych rozdziałów. A zatem w rozdziale E 2000 opisano wymagania dotyczące materiałów stosowanych do wytwarzania małych elementów, 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 klasy 1, 2 i 3, odniesienia do Section II „MATRIAL”, lecz są wymienione normy typu EN dla wyrobów/materiałów do wykonywania małych elementów 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 małych elementów. Podział na podrozdziały w E 4000 jest nieco inny niż w rozdziałach C 4000 i D 4000, gdyż w większości przypadków 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 wytwórca powinien potwierdzić i kwalifikować wszystkie czynności i procedury spawalnicze oraz kwalifikacje spawaczy i operatorów w oparciu o wymagania załącznika „Annex H1” w Subsection H, w którym ww. czynności zostały dokładnie opisane.

## Rurociągi nie objęte klasyfikacją wg RCC-M

Jak już wspomniano wyżej, 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 opracowania 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 EPR™ 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 EPR™ nie objęte klasyfikacją powinny spełniać wymagania norm serii PN-EN 13480 „Rurociągi przemysłowe metalowe” [13÷18]. Normy te są od dawna stosowane w Polsce i dobrze znane firmom krajowym.

## Podsumowanie

Dostępne publikacje techniczne i opisy budowy elektrowni jądrowych z reaktorami EPR™ wykazują, że rurociągi o różnym przeznaczeniu oraz poziomie bezpieczeństwa stanowią istotną część instalowanych komponentów i układów. Łączna długość rurociągów wynosi około 120 km. Są one wykonywane zarówno z rur ze stali węglowych, jak i nierdzewnych, przy czym te ostatnie stanowią ponad połowę ogólnej długości. Należy jednak pamiętać, że w materiale rur z austenitycznych stali nierdzewnych stosowanych do wykonywania komponentów znajdujących się wewnątrz układu chłodzenia reaktora, zawartość kobaltu nie może przekraczać 0,20%, ale preferuje się nieprzekroczenie wartości 0,10%.

W kodzie AFCEN RCC-M są przedstawione wymagania dotyczące rurociągów w trzech klasach bezpieczeństwa - 1, 2 i 3. Należy podkreślić, że rurociągi, podobnie jak i inne urządzenia i komponenty ciśnieniowe, są klasyfikowane według klas bezpieczeństwa w zależności od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa. W kodzie RCC-M podkreślono, że klasa komponentów jest określona w specyfikacji technicznej każdego konkretnego urządzenia lub układu. W związku z powyższym kod RCC-M nie definiuje, które z poszczególnych urządzeń lub komponentów należą do klasy 1, 2 lub 3, lecz zawiera jedynie wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów zaliczanych do tych klas. Wyjątek stanowi klasa 1, do której zawsze są zaliczane komponenty i rurociągi układu chłodzenia rdzenia reaktora.

Z przeprowadzonej analizy wymagań kodu AFCEN RCC-M dotyczących rurociągów wynika, że poza wymaganiami specjalnymi spora ich część bazuje na normach europejskich typu EN lub EN ISO, szczególnie jeśli chodzi o procesy spawania, w tym stosowane spoiwa, kwalifikowanie technologii spawalniczych i badań NDT, jak również kwalifikacje personelu spawalniczego oraz personelu NDT. Podobna sytuacja ma miejsce także w przypadku rurociągów nie objętych ww. klasyfikacją, które należy wykonywać w oparciu o wymagania serii norm europejskich EN 13480 [13÷18].

Należy podkreślić, że w oparciu o dokumentację projektową EPR™ oraz wymagania RCC-M do wykonywania 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 wykonywania jest posiadanie sprawdzonego i certyfikowanego systemu zapewnienia jakości uwzględniającego specyficzne wymagania jądrowe, sprawdzonych i kwalifikowanych technologii spawalniczych, odpowiednich urządzeń spawalniczych (przede wszystkim do spawania zmechanizowanego i zautomatyzowanego, które jest preferowane w branży jądrowej) i personelu o potwierdzonych kwalifikacjach, jak również udowodnienie, że firma posiada doświadczenie w wykonywaniu rurociągów w obiektach jądrowych lub zakładach o podobnej skali odpowiedzialności i złożoności oraz odpowiednio wyposażone i przygotowane hale produkcyjne do przeprowadzenia prefabrykacji fragmentów rurociągów.

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

## LITERATURA

1. <http://www.me.gov.pl/node/26574> (styczeń 2017).
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III „Rules for construction of nuclear facility components”. American Society of Mechanical Engineers, New York, 2015.
3. AFCEN RCC-M „Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands”. 2012 Edition.
4. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna, 2014.
5. <http://www.boccard.com/en/nuclear-island-auxiliary-systems> (styczeń 2017).
6. McIntyre J.: Hinkley Point C...full steam ahead! Nuclear Exchange, Volume 10, May 2013, s. 31-34.
7. <http://www.boccard.com/en/piping-support> (styczeń 2017).
8. <http://www.tvof.fi/news/1465> (styczeń 2017).
9. 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 doty-

- czące projektowania, wytwarzania oraz systemów zarządzania jakością obowiązujących w przemyśle jądrowym”, MG/IS/UDT, Warszawa, 22-24.09.2015r.
10. Nuclear Power Plant Unit Olkiluoto 3. TVO, 2010.
  11. Finland: Olkiluoto 3 Gradually Taking Shape. Nuclear News Letter, AREVA NP Customer Information, November 2007.
  12. AFCEN RCC-M „Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP”. 2016 Edition.
  13. PN-EN 13480-1:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 1: Postanowienia ogólne”.
  14. PN-EN 13480-2:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 2: Materiały”.
  15. PN-EN 13480-3:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 3: Projektowanie i obliczenia”.
  16. PN-EN 13480-4:2012/A2:2016-04 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 4: Wykonanie i montaż”.
  17. PN-EN 13480-5:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 5: Kontrola i badania”.
  18. PN-EN 13480-6:2012 „Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 6: Wymagania dodatkowe dla rurociągów podziemnych”.