

Warszawa, 2017



**Ministerstwo
Energii**

Polski przemysł dla energetyki jądrowej

WYTYCZNE

WSPOMAGAJĄCE DZIAŁANIA PRZEDSIĘBIORSTW KRAJOWYCH W BUDOWIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH

**ARMATURA I POMPY KLASY 1, 2, 3 ORAZ NIEOBJĘTE KLASYFIKACJĄ
W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH**



Instytut Spawalnictwa

Autor opracowania:

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

Zamawiający:

Ministerstwo Energii

ul. Krucza 36 / Wspólna 6

00-522 Warszawa

Zakres wytycznych:

Niniejsze wytyczne zawierają zestawienie wymagań zawartych w uznanych i stosowanych na świecie amerykańskich, francuskich, niemieckich i rosyjskich kodach jądrowych w zakresie wytwarzania armatury i pomp klasy 1, 2, 3 oraz nieobjętych 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, ul. Krucza 36 / Wspólna 6, 00-522 Warszawa lub na adres e-mail: przemysl.jadrowy@me.gov.pl

Wytyczne nr: W/ME/DEJ/IS/04/17, Wydanie 1

ISBN 978-83-61272-81-6

Classes 1, 2, 3 and non-nuclear valves and pumps in nuclear power plants.

Institut Spawalnictwa, 2017.

Nakład 500 szt.

© Wszystkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

1 Wprowadzenie	5
2 Armatura i pompy klasy 1, 2, 3	8
2.1 Klasyfikacja armatury i pomp w zastosowaniach jądrowych	8
2.2 Krótka charakterystyka armatury i pomp w elektrowniach jądrowych.....	11
2.3 Wymagania sekcji RCC-M kodu AFCEN	30
2.3.1 Class 1 Components	31
2.3.2 Class 2 Components	36
2.3.3 Class 3 Components	41
2.3.4 Small Components	46
2.3.5 Armatura i pompy nieobjęte klasyfikacją wg RCC-M	48
2.4 Wymagania kodu ASME Section III	49
2.4.1 Class 1 Components: ASME Section III, Division 1 – Subsection NB	52
2.4.2 Class 2 oraz Class 3 Components.....	56
2.4.3 Armatura i pompy nieobjęte klasyfikacją wg ASME Section III	59
2.5 Wymagania norm niemieckich KTA.....	61
2.6 Wymagania przepisów rosyjskich PNAE	62
3 Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w poszczególnych kodach i normach	64
4 Podsumowanie	66
5 Piśmiennictwo	69

1 Wprowadzenie

W oparciu o założenia Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) z dnia 28 stycznia 2014 roku [1], w nadchodzących latach planowana jest budowa pierwszej elektrowni jądrowej, a następnie dalszy rozwój energetyki jądrowej w Polsce. Na Forum Ekonomicznym w Krynicy we wrześniu 2017 roku, Minister Energii Krzysztof Tchórzewski stwierdził, że „Polska potrzebuje tryblokowej elektrowni jądrowej o mocy około 4,5 tys. megawatów” [2]. Świadczy to o tym, że Ministerstwo Energii przewiduje miejsce w krajowym miksie energetycznym zarówno dla energetyki konwencjonalnej opartej na krajowych złożach węgla, jak i nowoczesnych niskoemisyjnych źródłach energii, z których jednym niewątpliwie jest współczesna energetyka jądrowa.

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, Stanów Zjednoczonych, a ostatnio również Chin. Wymienienie krajów, a nie potencjalnych firm-dostawców technologii jądrowej jest bardziej odpowiednie z punktu widzenia przepisów technicznych stosowanych podczas wytwarzania reaktora jądrowego i innych głównych urządzeń i konstrukcji, ponieważ do ich projektowania i wytwarzania stosuje się wymagania kodów, norm i przepisów kraju dostawcy. W oparciu o powyższe założenia oraz zapisy ww. rozporządzenia,

dokumentami odniesienia mającymi zastosowanie do urządzeń elektrowni jądrowych należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa mogą być różne kody i normy, w tym:

- AFCEN (Francja),
- JSME (Japonia),
- 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 [3]. Sekcja ta wraz innymi, do których odwołuje się, jest stosowana podczas budowy elektrowni jądrowych nie tylko w Stanach Zjednoczonych, lecz również w wielu innych krajach. Kody jądrowe takich krajów jak Japonia, Korea Południowa oraz Kanada są oparte o ASME B&PVC, a istniejące niewielkie różnice lub rozszerzenia wynikają z uwarunkowań lokalnych lub są związane, jak ma to miejsce w Kanadzie, ze specyfiką konstrukcyjną niektórych zespołów reaktora CANDU.

Ze względu na poziom rozwoju technologii jądrowej oraz realizowane w Europie projekty elektrowni Olkiluoto 3, Flamanville 3 oraz Hinkley Point C, jak również Taishan w Chinach, kolejnym liczącym się dostawcą technologii jądrowej jest francuski koncern AREVA/EDF, co warunkuje, że budowa elektrowni jądrowej może przebiegać w oparciu o wymagania francuskich kodów AFCEN (*Association Française pour les règles de Conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des Chaudières Electro Nucléaires*, co tłumaczy się na język angielski jako: *French Association for the rules governing the Design, Construction and Operating Supervision of the Equipment Items for Electro Nuclear Boilers*). Kody AFCEN, w tym dotyczący urządzeń ciśnieniowych kod RCC-M [4], są od około 40 lat rozwijane we Francji w sposób niezależny od kodu ASME, co przyczyniło się do zdecydowanie innej ich struktury, a w niektórych przypadkach również zawartości. Nie zmienia to jednak faktu, iż odpowiednie sekcje obydwu kodów (AFCEN i ASME) są zasadniczo do siebie podobne.

Oprócz ww. dwóch podstawowych kodów „jądrowych”, na świecie stosuje się inne przepisy, które mają zastosowanie w krajach posiadających własne technologie jądrowe lub krajach, które nie posiadają własnej technologii jądrowej, ale od wielu lat eksploatują elektrownie jądrowe wybudowane przez różnych dostawców. Powoduje to, że podczas napraw i serwisów stosowane są odpowiednie przepisy dostawcy lub przepisy krajowe. Do grupy urządzeń i zespołów, które najczęściej są planowo lub awaryjnie naprawiane lub wymieniane, zalicza się m.in. zawory i pompy. A zatem w dobie globalizacji rynków, polskie firmy mają szanse na dostarczanie ww. wyrobów nie tylko na rynek Polski, ale na rynki innych krajów europejskich, azjatyckich i innych.

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

W opracowaniu zestawiono wymagania w zakresie wytwarzania armatury i pomp klasy 1, 2, 3 i nieobjętych 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 Armatura i pompy klasy 1, 2, 3

2.1 Klasyfikacja armatury i pomp w zastosowaniach jądrowych

Różnego rodzaju armatura przemysłowa (*valves*) jest nieodłącznym elementem każdego układu rurociągowego oraz/lub urządzenia ciśnieniowego niezależnie od ich przeznaczenia, obszaru stosowania oraz środowiska pracy. Pompy również są istotnym elementem instalacji technologicznych, chociaż konieczność ich stosowania nie zawsze występuje. Zarówno zawory, jak i pompy są urządzeniami mechanicznymi i jednocześnie ciśnieniowymi, a zatem powinny spełniać wymagania przepisów dotyczących urządzeń ciśnieniowych oraz specyficznych norm i przepisów przedmiotowych (norm wyrobu), w tym w zakresie kwalifikowania ich funkcjonalności.

Elektrownia jądrowa jest szczególnym i bardzo skomplikowanym obiektem przemysłowym. Podczas pracy tego typu elektrowni występuje dodatkowe zagrożenie w postaci promieniowania generowanego przez paliwo jądrowe, które jest wykorzystywane do inicjacji reakcji rozszczepienia jądra atomowego. W wyniku tej reakcji wydziela się energia służąca do podgrzewania wody w reaktorach jądrowych i wytworzenia pary.

Zastosowanie paliwa jądrowego do wytwarzania energii powoduje, że zasady projektowania, wytwarzania, badania i odbioru zbiorników, armatury, pomp i innych urządzeń ciśnieniowych istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego są ujęte w odrębnych, specjalnych przepisach i normach, wśród których podstawowymi są: amerykański kod ASME Section III [3] oraz francuski AFCEN RCC-M [4]. Niektóre układy, zespoły i podzespoły elektrowni jądrowej nie mają jednak wpływu na bezpieczeństwo jądrowe, w tym szereg zaworów i pomp wyspy turbinowej (konwencjonalnej). W związku z powyższym rozróżnia się dwie główne grupy konstrukcji, układów (systemów) i komponentów elektrowni jądrowych (*structures, systems and components (SSC)*): związane z bezpieczeństwem jądrowym (*safety-related*) oraz niezwiązane 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 dla trzech klas struktur, układów i komponentów: Class 1, 2 oraz 3, gdzie Class 1 obejmuje SSC, których awaria może wywołać najbardziej poważne skutki dla osób i otoczenia, a zatem są to urządzenia obwodu pierwotnego reaktora. W niektórych krajach może występować inne oznaczenie klas bezpieczeństwa lub inna ich ilość, ale zdarza się to rzadko. Podstawą innej niż opisano klasyfikacji mogły być wcześniejsze wytyczne IAEA, które zakładały podział urządzeń i systemów na cztery klasy bezpieczeństwa. Obecnie nowe wytyczne IAEA zawierają podział na trzy klasy bezpieczeństwa i jest on zbieżny ze stosowanym w kodach ASME i RCC-M, a mianowicie: Class 1, 2, 3.

Strukturę i metodę (porady i wskazówki) w zakresie identyfikacji i klasyfikacji struktur, układów i komponentów (SSC) istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa na podstawie ich funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa opisano w wytycznych IAEA Safety Standards Series No. SSG-30 [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, zawory bezpieczeństwa itd.

W Polsce w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2016 r. poz. 909) w § 4.1. wskazuje się, że „do urządzeń EJ należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa stosuje się wymagania techniczne określone w dokumentach odniesienia mających zastosowanie do tych urządzeń, o ile przepisy rozporządzenia nie stanowią inaczej”. Z kolei wg § 4.2. „do urządzeń EJ, dla których nie określono klasy bezpieczeństwa, stosuje się wymagania zawarte w normach technicznych właściwych dla danych urządzeń oraz w innych specyfikacjach technicznych dotyczących wymagań projektowych, o ile przepisy niniejszego rozporządzenia nie stanowią inaczej”.

W związku z powyższym, w dalszej części niniejszych wytycznych opisano wymagania odpowiednich sekcji kodów AFCEN oraz ASME dotyczących wykonywania armatury i pomp Class 1, 2, 3 oraz nieobjętych tą klasyfikacją podczas budowy reaktorów EPR™ 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.

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

2.2 Krótka charakterystyka armatury i pomp w elektrowniach jądrowych

Na pierwszy rzut oka może wydawać się, że armatura i pompy przeznaczone dla elektrowni konwencjonalnych i jądrowych niczym nie różnią się, gdyż w obydwu przypadkach wykonują podobne zadania. Biorąc jednak pod uwagę to, że serwis i ewentualna naprawa tych urządzeń w elektrowniach jądrowych jest możliwa tylko po spełnieniu podwyższonych wymagań bezpieczeństwa, a w skrajnym przypadku wiąże się nawet z wyłączeniem elektrowni z eksploatacji, staje się oczywistym, że stosowana w elektrowniach jądrowych armatura i pompy powinny zapewniać niezawodną i długotrwałą pracę co najmniej w okresach pomiędzy planowanymi przeglądami technicznymi lub remontami, ale z reguły w ciągu całego okresu eksploatacji, który dla niektórych jednostek może sięgać nawet kilkudziesięciu lat. W związku z powyższym armatura i pompy dla elektrowni jądrowych powinny spełniać dodatkowe wymagania w zakresie projektowania, badania, odbiorów, kwalifikowania i serwisowania.

Według szacunków, podczas budowy nowych elektrowni jądrowych, w zależności od typu i wielkości reaktora oraz dostawcy technologii jądrowej, jeden blok wymaga zamontowania od 5000 do 18 000 zaworów i około 200 pomp. Typowy koszt armatury w elektrowni jądrowej o mocy 1000 MW szacuje się na 80 milionów USD. Z kolei wielkość światowego rynku armatury dla elektrowni jądrowych w 2016 oceniano na około 2,5 mld USD, gdy dla porównania w 2013 było to tylko 1,45 mld USD. W przypadku już działających elektrowni jądrowych szacuje się, że ponad 50% kosztów ogólnych jej utrzymania stanowią koszty serwisowania i wymiany armatury.

Zawory i pompy są montowane w wielu układach i instalacjach technologicznych, pomocniczych i kontrolno-pomiarowych elektrowni jądrowych, w tym m.in. w:

- układzie chłodzenia reaktora
- układzie głównym pary
- układach oczyszczania
- awaryjnych i wyłączających układach chłodzenia oraz układach wyprowadzania resztkowego ciepła
- układach kontroli chemicznej i objętościowej
- układach kontroli przemieszczania prętów

- wysoko- i niskociśnieniowych układach zraszania rdzenia
- głównych układach wody zasilającej
- różnego rodzaju systemach awaryjnych
- rozruchowych instalacjach wody zasilającej
- układach skraplacza
- licznych układach chłodzenia wodą
- instalacjach pomocniczych
- układach wentylacji obudowy bezpieczeństwa.

W układach i systemach wyspy jądrowej (*nuclear island*), wyspy turbinowej (*conventional island*) oraz innych obszarach niejądrowych (*balance of plant*) stosuje się różnego rodzaju armaturę, która jest stosowana głównie do odcięcia i regulacji (kontroli) przepływu wody, pary i substancji chłodzących. Wśród tej armatury można wymienić m.in.:

- zawory bezpieczeństwa (safety valves)
- zasuwki odcinające (gate valves)
- armatura zwrotna (check valves)
- armatura sterująca (control valves)
- przepustnice (butterfly valves)
- zawory kulowe (ball valves)
- zawory zaporowe (globe valves).

Z kolei oferowane w Internecie opracowania dotyczące analizy światowego rynku armatury dla elektrowni jądrowych obejmują przede wszystkim:

- zawory zaporowe (globe valves)
- zawory kulowe (ball valves)
- przepustnice (butterfly valves)
- zasuwki / zawory odcinające (gate valves)
- zawory membranowe (diaphragm valves)
- inne.

Szacuje się, że 72,6% zaworów elektrowni jądrowej stanowią trzy grupy: zawory odcinające (33,6%), membranowe (26,2%) oraz kulowe (12,8%).

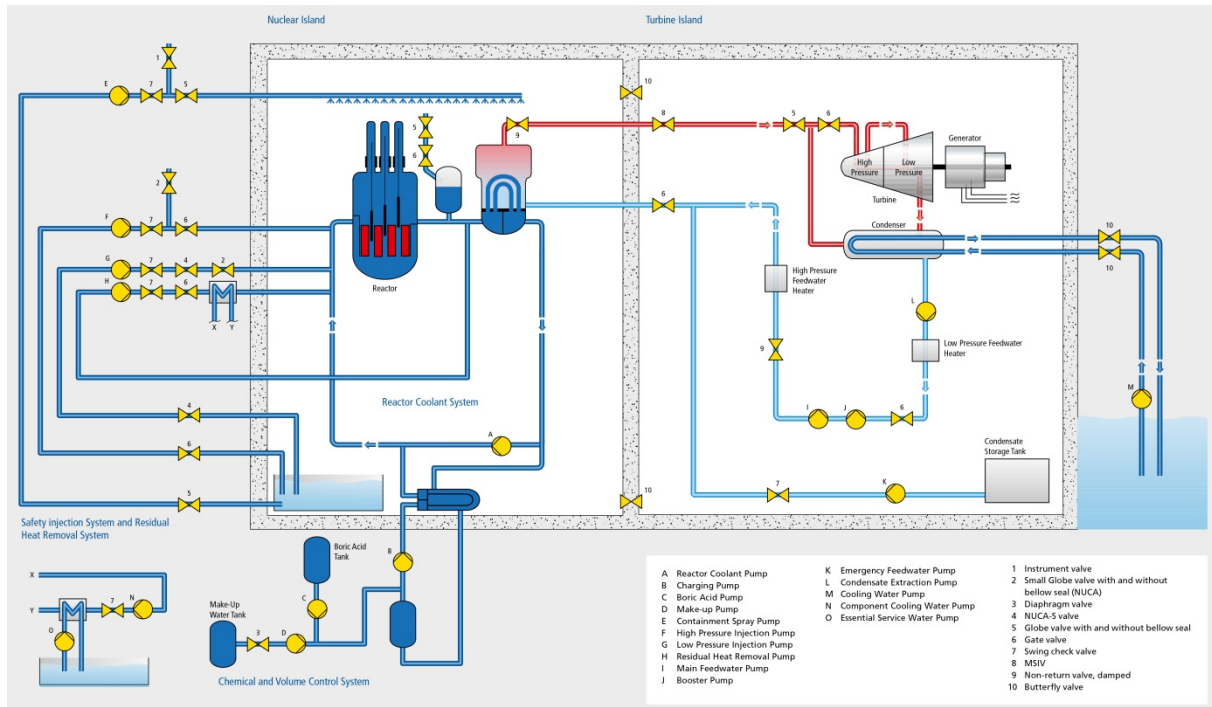
Analiza oferty rynkowej w zakresie armatury i pomp dla elektrowni jądrowych wykazała, że firma KSB [8] w przypadku reaktorów typu PWR oferuje pompy (rys. 1):

- chłodzenia reaktora (reactor cooling pump)
- ładującą (charging pump)
- kwasu borowego (boric acid pump)
- uzupełniającą (make-up pump)
- do zraszania wnętrza obudowy bezpieczeństwa (containment spray pump)
- wysokociśnieniową wtryskową (high pressure injection pump)
- niskociśnieniową wtryskową (low pressure injection pump)
- do usuwania ciepła resztkowego (residual heat removal pump)
- główną wody zasilającej (main feedwater pump)
- wspomagającą (booster pump)
- awaryjną wody zasilającej (emergency feedwater pump)
- kondensatu (condensate extraction pump)
- wody chłodzącej w skraplaczu (cooling water pump)
- chłodzenia wodnego podzespołów (component cooling water pump)
- wody technologicznej (essential service water pump)

oraz zawory:

- do narzędzi (instrument valve)
- małe kulowe z uszczelnieniem mieszkowym i bez niego NUCA (small globe valve with and without bellow seal (NUCA))
- membranowy (diaphragm valve)
- NUCA-S kulowe z uszczelnieniem mieszkowym (NUCA-S bellows-sealed globe valve)
- kulowe z uszczelnieniem mieszkowym i bez niego (globe valve with and without bellow seal)
- odcinające (gate valve)
- zwrotne klapowe (swing check valve);

- główny odcinający pary (MSIV – main steam isolation valve)
- jednokierunkowe, tłumiące (no-return valve, damped)
- motylkowe [przepustnice] (butterfly valve).



Rys. 1. Zawory i pompy firmy KSB w elektrowni jądrowej z reaktorem PWR [8]

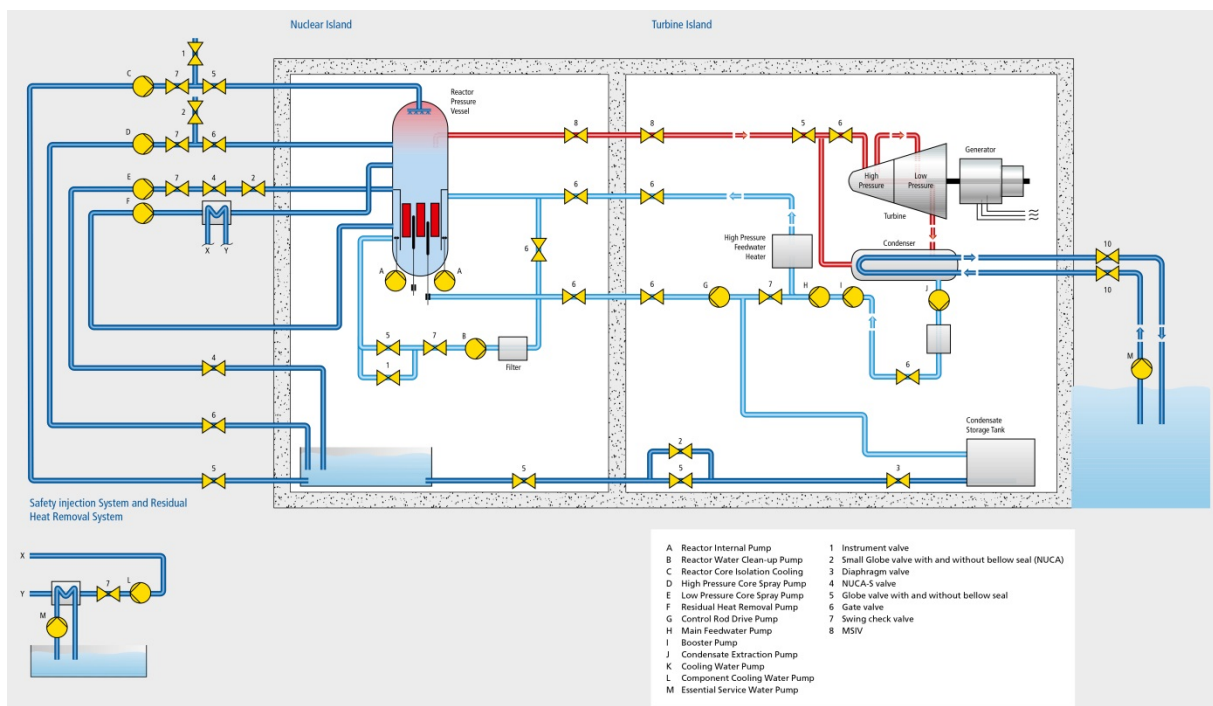
Z kolei w przypadku reaktorów typu BWR oferta firmy KBS [8] obejmuje pompy (rys. 2):

- reaktora wewnętrzne (reactor internal pump)
- oczyszczania wody w reaktorze (reactor water clean-up pump)
- zraszania rdzenia reaktora (reactor core isolation cooling pump)
- wysokociśnieniową rozpylającą rdzenia (high pressure core spray pump)
- niskociśnieniową rozpylającą rdzenia (low pressure core spray pump)
- do usuwania ciepła resztkowego (residual heat removal pump)
- główną wody zasilającej (main feedwater pump)
- wspomagającą (booster pump)
- awaryjną wody zasilającej (emergency feedwater pump)
- kondensatu (condensate extraction pump)
- wody chłodzącej w skraplaczu (cooling water pump)

- chłodzenia wodnego podzespołów (component cooling water pump)
- wody technologicznej (essential service water pump)

oraz zawory:

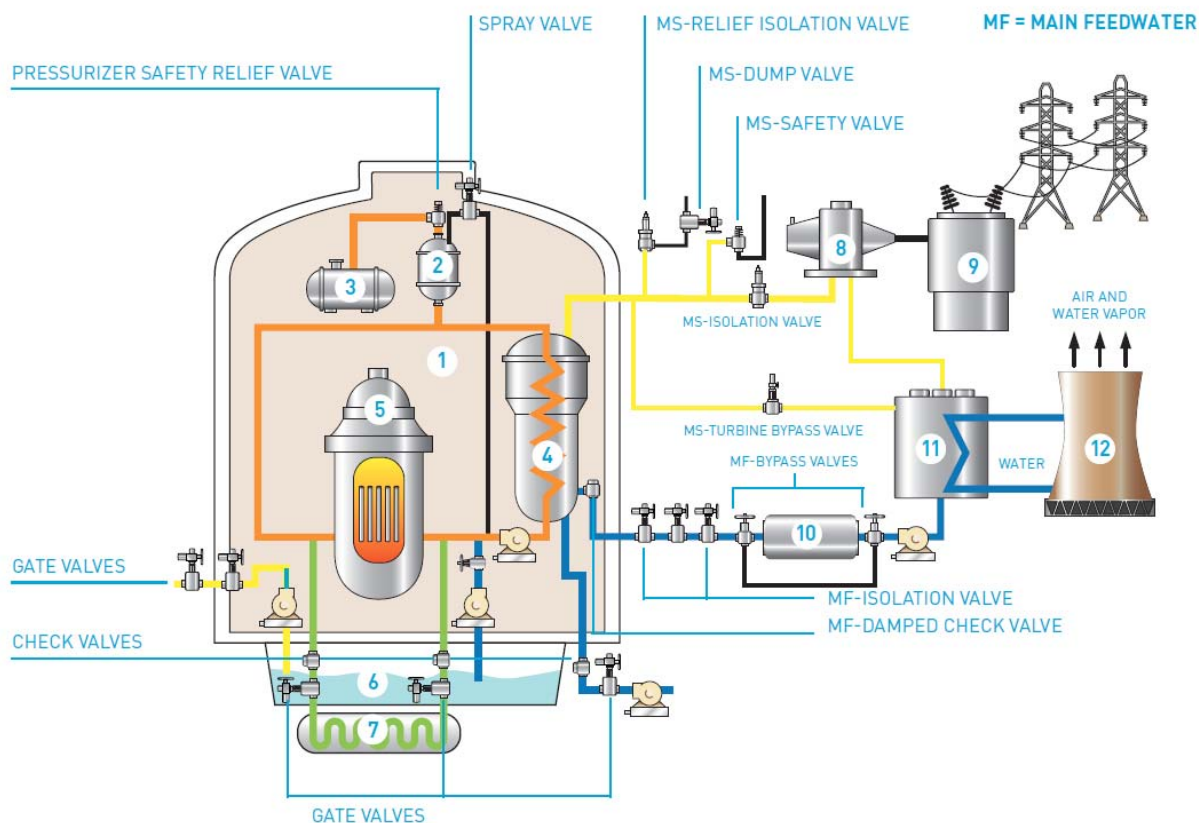
- do narzędzi (instrument valve)
- małe kulowe z uszczelnieniem mieszkowym i bez niego NUCA (small globe valve with and without bellow seal (NUCA))
- membranowy (diaphragm valve)
- NUCA-S kulowe z uszczelnieniem mieszkowym (NUCA-S bellows-sealed globe valve)
- kulowe z uszczelnieniem mieszkowym i bez niego (globe valve with and without bellow seal)
- odcinające (gate valve)
- zwrotne klapowe (swing check valve)
- główny odcinający pary (MSIV – main steam isolation valve).



Rys. 2. Zawory i pompy firmy KSB w elektrowni jądrowej z reaktorem BWR [8]

Z kolei oferta firmy EMERSON obejmuje zawory SEMPELL do stosowania w poszczególnych układach elektrowni jądrowych z reaktorami typu PWR (rys. 3) [9]:

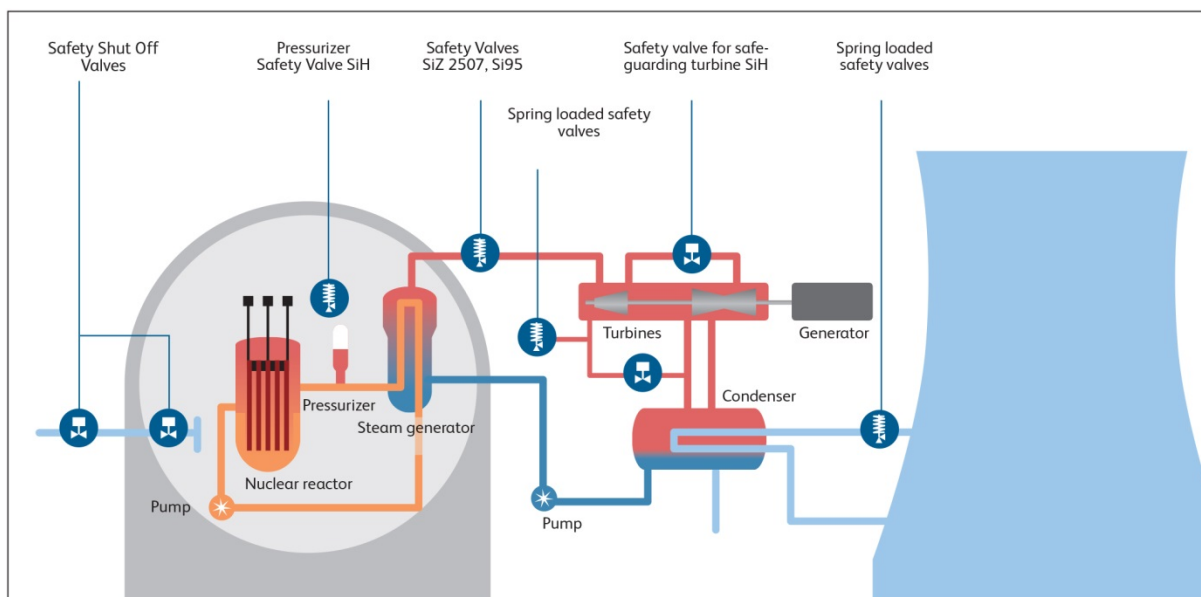
- główny układ pary (*Main steam system*):
 - sterowane zdalnie główne zawory odcinające pary (*pilot operated main steam isolation valves [MSIV]*)
 - sterowane zdalnie główne zawory bezpieczeństwa pary (*pilot operated main steam safety valves [MSSV]*)
 - sterowane zdalnie główne zawory odcinające uwalniające / wygaszające parę (*pilot operated main steam relief isolation / blow-down isolation valves [MSRIV]*)
 - główne zawory nadmiarowo-upustowe pary (*main steam relief / dump control valves [MSRCV]*)
 - główne zawory pary obejścia turbiny (*main steam turbine bypass valves [MSTBV]*)
- stabilizator ciśnienia (*pressurizer*):
 - sterowane zdalnie główne zawory bezpieczeństwa stabilizatora ciśnienia (*pilot operated pressurizer safety relief valves [PSRV]*)
- awaryjny system chłodzenia rdzenia reaktora (*emergency core cooling system*):
 - austenityczne zawory odcinające, kulowe i zwrotne (*austenitic gate, globe and check valves*)
- główny układ wody zasilającej (*main feedwater system*):
 - główne zawory zwrotne z tłumieniem wody zasilającej (*main feedwater damped check valves [MFDCV]*)
 - główne zawory obejścia wody zasilającej / ochrony podgrzewacza (*main feedwater bypass valves / preheater protection bypass valves*)
 - główne zawory odcinające wody zasilającej (*main feedwater isolation valves [MFIV]*)
 - główne zawory sterujące wody zasilającej (*main feedwater control valves [MFCV]*)
- zawory odcinające, kulowe i zwrotne (*gate, globe and check valves*)
- zawory sterujące (*control valves*)
- sprężynowe zawory bezpieczeństwa (*spring loaded safety valves*).



Rys. 3. Lokalizacja zaworów SEMPELL firmy EMERSON w elektrowni jądrowej z reaktorem PWR [9]

Poniżej przedstawiono przykładowo ofertę kolejnego producenta zaworów IMI Bopp & Reuther dla elektrowni jądrowych z reaktorami typu PWR (rys. 4) [10]:

- zawory bezpieczeństwa odcinające (Safety Shut Off Valves)
- zawór bezpieczeństwa stabilizatora ciśnienia (Pressuriser Safety Valve SiH)
- zawory bezpieczeństwa (Safety Valves SiZ 2507, Si95)
- sprężynowe zawory bezpieczeństwa (Spring Loaded Safety Valves)
- zawór bezpieczeństwa turbiny (Safety Valve for Safeguarding Turbine SiH).



Rys. 4. Lokalizacja zaworów firmy IMI Bopp & Reuther w elektrowni jądrowej z reaktorem PWR [10]

Bardzo szeroką ofertę w zakresie zaworów dla elektrowni jądrowych posiada również znana firma VELAN, która oferuje zawory [11]:

- kątowe (angle)
- kulowe, siedlisko metaliczne/miękkouszczelnione (ball, metal- / resilient-seated)
- przepustnice (butterfly)
- zwrotne, tłokowe / klapowe / międzykołnierzowe (check, piston / swing / wafer)
- sterujące (control)
- odcinające (gate)
- zaporowe (globe [stop])
- iglicowe (needle)
- zasuwy płytowe dzielone (parallel slide)
- typu „Y” [nachylony] (y-pattern [inclined]).

Ofertę firmy Flowserve w zakresie pomp dla energetyki jądrowej przedstawiono w tabl. 2.1 [12]. Firma szacuje, że w przypadku budowy bloku elektrowni jądrowej o mocy 1700 MW mogłaby dostarczyć przede wszystkim pompy, ale także zawory, na łączną kwotę od 60 do 80 mln USD.

Tablica 2.1

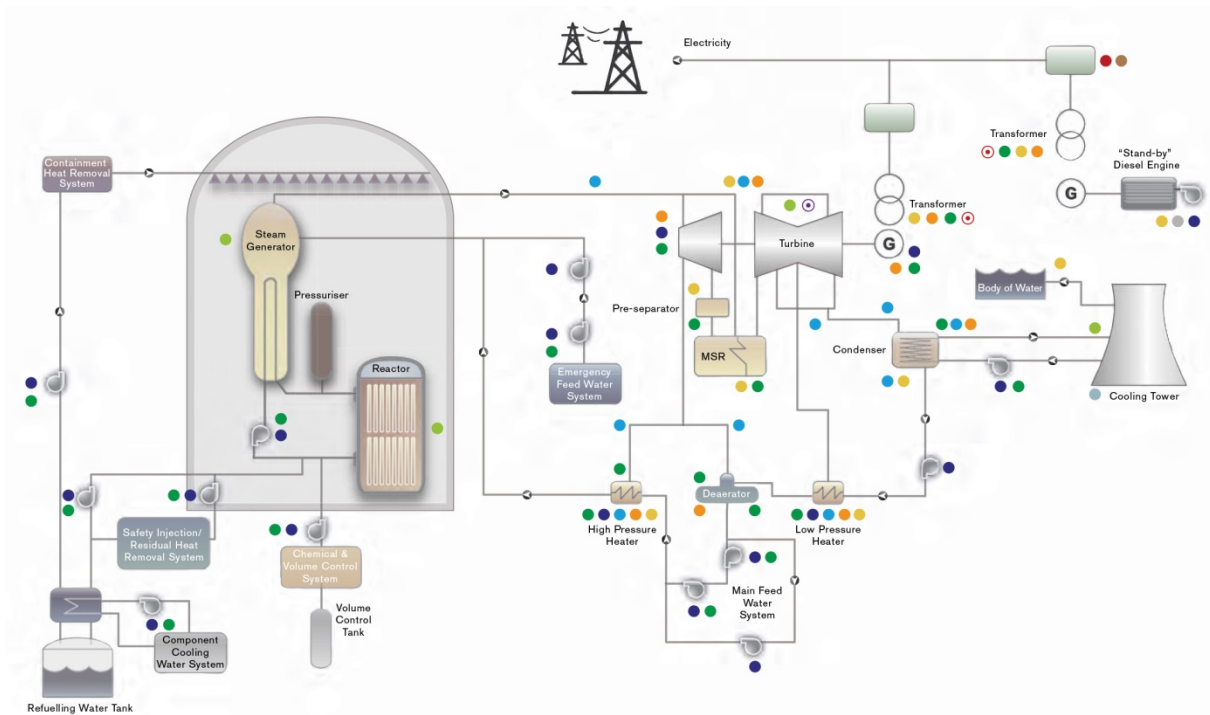
Pompy firmy Flowserve do zastosowań w energetyce jądrowej [12]

Lp.	Rodzaj pomp		Podgrupa pomp	
	1.	Overhung	Z wirnikiem ułożyskowanym jednostronnie	Chemical Process – ASME (ANSI), ISO API Process
2.	Between Bearings	Ułożyskowane dwustronnie	Single Case – Axially Split	Pojedyncza – osiowo dzielona
			Single Case – Radially Split	Pojedyncza – dzielona promieniowo
			Double Case	Podwójna
3.	Vetrical	Zawieszane pionowo	Wet-Pit	Do instalacji mokrej
			Double Case	Podwójna
			Sump	Do rzapi
4.	Positive Displacement	Wyporowe	Gear	Zębate
			Reciprocating	Tłokowe
5.	Specialty Products	Wyroby specjalne	Nuclear Pumps	Pompy jądrowe
			Nuclear Seals	Uszczelki jądrowe
			CVP Concrete Volute Pumps	Pompy z betonową obudową spiralną

Na rys. 5 przedstawiono z kolei ofertę korporacji SPX w zakresie pomp dla energetyki jądrowej [13]. Oferta ta obejmuje pompy marek:

- ClydeUnion Pumps:
 - Charging Pumps
 - Residual Heat Removal Pumps
 - Reactor Feedwater Pumps
 - Cooling Water Pumps
 - Safety Injection Pumps
 - Balance of Plant Pumps
 - Condensate Extraction Pumps
 - Containment Stray Pumps
 - Main / Auxiliary Feedwater Pumps
- Bran+Luebbe
 - Process Pumps
 - Chemical Injection Systems Pumps
 - Plunger Pumps
 - Metering Pumps

- Plenty Pumps:
 - Screw Pumps
 - Rotary Vane Pumps
- Johnson Pump:
 - Heavy-Duty Centrifugal Pumps
 - Internal Gear Pumps
 - Centrifugal Pumps
 - Positive Displacement Gear Pumps.



Rys. 5. Lokalizacja pomp firmy SPX (punkty w kolorze fioletowym) w elektrowni jądrowej z reaktorem PWR [13]

Zakładając, że około 60% rurociągów w elektrowni jądrowej stanowią rurociągi ze stali nierdzewnych, można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że również około 60% korpusów zaworów i ich elementów roboczych będzie wykonanych ze stali nierdzewnych, z których najczęściej używaną jest austenityczna stal nierdzewna AISI 316L. W mniejszym stopniu będzie stosowana również austenityczna stal nierdzewna AISI 304L oraz w pełni austenityczna stal nierdzewna 904L.

Zakres wymiarowy zaworów jest bardzo szeroki, ale najczęściej używane mieszczą się w przedziale od DN10 do DN900, chociaż rurociągi lub komponenty rurowe w elektrowniach jądrowych mogą mieć średnice w zakresie od kilku milimetrów do nawet 2,4 m.

Udział poszczególnych typów armatury różni się w zależności od typu i konstrukcji reaktorów jądrowych (BWR, PWR, HPWR). Poniżej przykładowo przytoczono udział procentowy poszczególnych rodzajów zaworów w przypadku reaktorów PHWR, w których jako paliwo występuje naturalny uran:

– zawory iglicowe (needle valves)	- 20%
– zasuwy / zawory odcinające (gate valves)	- 19
– zawory zaporowe (globe valves)	- 17
– zawory membranowe (diaphragm valves)	- 13
– zawory mieszkowe zaporowe (bellow sealed globe valves)	- 7
– armatura zwrotna (check valves)	- 5
– zawory elektromagnetyczne (solenoid valves)	- 7
– zawory kulowe (ball valves)	- 6,5
– zawory PRV (PRVs)	- 1,5
– zawory SRV (SRVs)	- 1,5
– przepustnice (butterfly valves)	- 1
– armatura sterująca (control valves)	- 0,7
– kierunkowe zawory obrotowe (rotary directional valves)	- 0,4
– zawory zwrotne nadmiarowe (excess flow check valves)	- 0,3
– zawory różnicowe PRV (differential PRVs)	- 0,3
– zawory odpowietrzające (air release valves)	- 0,1
– próżniowe zawory bezpieczeństwa (vacuum relief valves)	- 0,05

W tym miejscu należy nadmienić, że nieodłączną i bardzo ważną częścią składową wielu zaworów są także napędy (*actuators*) i elementy do pozycjonowania, które podobnie jak zawory również podlegają kwalifikowaniu, np. według RCC-E [14] lub IEEE 382 [15].

Zarówno armatura, jak i pompy są jednocześnie urządzeniami ciśnieniowymi i mechanicznymi, a zatem powinny spełniać wymagania odpowiednich przepisów i norm ciśnieniowych, ale także posiadać certyfikaty świadczące o spełnieniu przez nie wymagań funkcjonalnych.

Jedną z możliwych sekwencji kwalifikowania zaworów dla wyspy jądrowej elektrowni może wyglądać następująco:

- projektowanie i obliczenia sejsmiczne
- projektowanie i obliczenia z zastosowaniem metody elementów skończonych
- analiza rozkładu i przepływu ciepła
- analiza procesów zmęczeniowych
- sprawdzenie wstępne przed badaniami
- badania w cyklu na zimno
- badania w cyklu na gorąco
- sprawdzenie pośrednie po badaniach na zimno i gorąco
- badania pod obciążeniem współdziałania z przyłączami rurowymi
- badania sejsmiczne
- sprawdzenie po zakończeniu wszystkich badań.

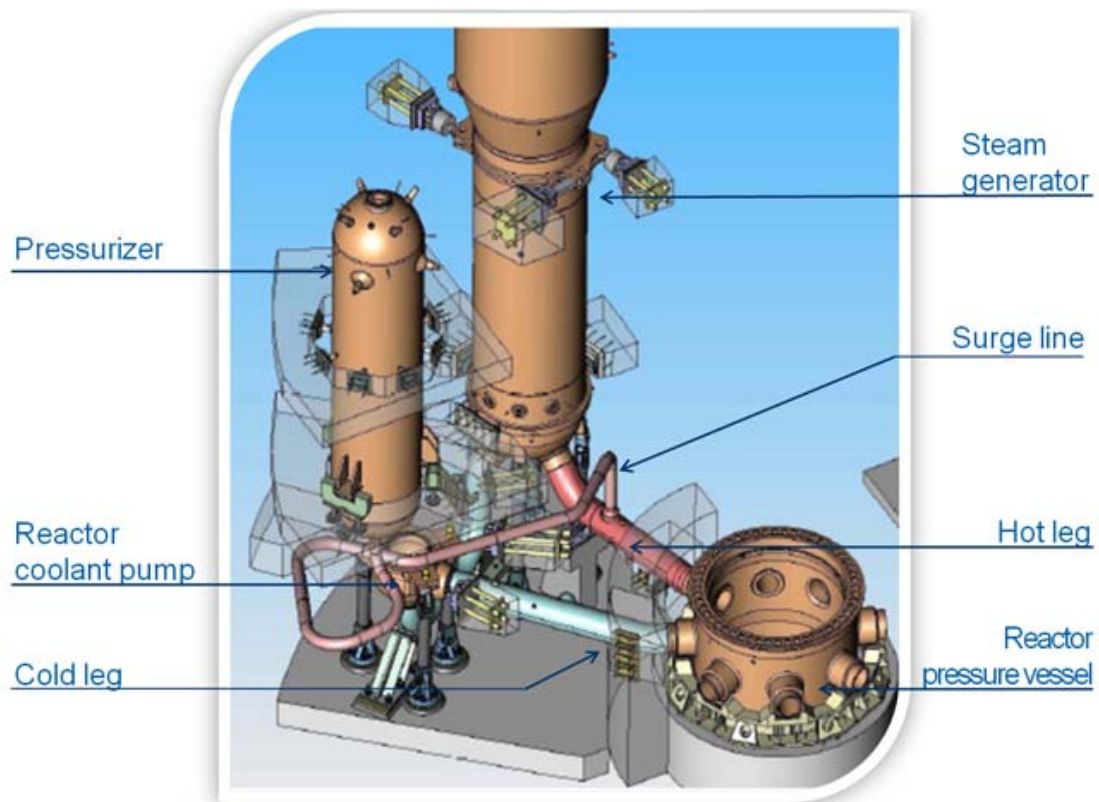
Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę armatury i pomp w elektrowniach jądrowych z reaktorami EPR^{TM} , AP1000 oraz ABWR, z których jeden może zostać zainstalowany w Polsce w zależności od wyników planowanego do ogłoszenia przetargu na dostawę technologii jądrowej.

a) EPR^{TM}

Jednym z najważniejszych urządzeń wyspy jądrowej jest pompa głównego układu chłodzenia (rys. 6) reaktora EPR^{TM} zamontowana w każdym z czterech obwodów chłodzenia (rys. 7). Jest to skomplikowane urządzenie o wadze 112 ton i wysokości 9,3 m [16], którego niezawodna praca decyduje o niezawodności i bezpieczeństwie pracy reaktora jądrowego.

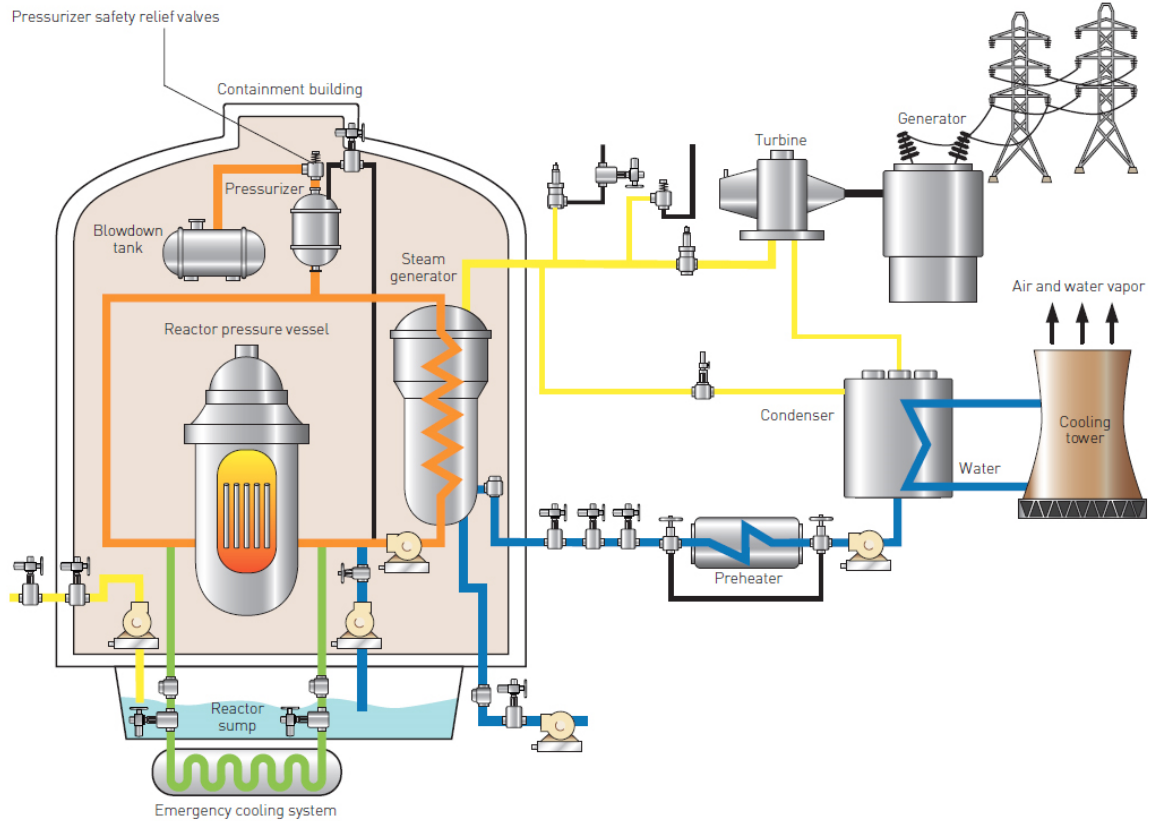


Rys. 6. Pompa chłodzenia reaktora EPR™ [17]



Rys. 7. Umiejscowienie pompy chłodzenia (Reactor coolant pump) reaktora EPRTM w elektrowni Olkiluoto 3 [18]

zawór bezpieczeństwa



Rys. 8. Usytuowanie zaworu bezpieczeństwa w reaktorach typu PWR [19]

Kolejnym ważnym elementem układu chłodzenia reaktora jest zawór bezpieczeństwa, który jest montowany na stabilizatorze ciśnienia (rys. 8).

W przypadku reaktora EPR^{TM} łączna liczba zaworów wynosi 18 000, w tym 14 000 w części jądrowej i 4 000 w turbinowej. Z kolei liczba pomp Class 2 i 3 oraz nieobjętych klasyfikacją RCC-M kształtuje się na poziomie 220 jednostek [20].

W tabl. 2.2 i 2.3 przykładowo przedstawiono rodzaje i podstawowe dane techniczne odpowiednio pomp i zaworów dostarczonych przez firmę KBS dla elektrowni Olkiluoto 3 z reaktorem EPR^{TM} . W sumie firma KSB dostarczyła 105 zasuw (*gate valves*), 50 klapowych zaworów zwrotnych (*swing check valves*), 820 zaworów odcinających (*shut-off valves*), 20 zaworów jednokierunkowych (*non-return valves*), 5 kątowych zaworów jednokierunkowych (*angle-type non-return valves*) oraz 10 zaworów obejściowych podgrzewacza (*preheater bypass valves*).

Tablica 2.2

Zestawienie pomp dostarczonych na elektrownię jądrową Olkiluoto 3 w Finlandii przez firmę KBS [21]

Pumps:			Q, m ³ /h	H, m	T, °C	P, bar
RHD/YNK	4 x	Feed water pump set	3490	1007	213	135
CHTC	1 x	Start-up feed water pumps	422	1087	213	135
SEZ	2 x	Auxiliary cooling water pump	4903	18	30	5
PNZ	3 x	Cooling water recirculation pump	5402	5	27	2
KWPK	3 x	Closed cooling water pump	2535	36	60	10
HGM	2 x	Clean drain pump	113	170	152	34
RPH	2 x	Moisture separator condensate pump	687	65	208	38
	1 x	Heater drain pump	801	173	159	34
	1 x	Emergency demineralized water pump	397	140	60	25
CPK	2 x	Demineralized water pump	114	51	60	10
	2 x	Seal water transfer pump	11	115	50	16

Tablica 2.3

Zestawienie zaworów dostarczonych na elektrownię jądrową Olkiluoto 3 w Finlandii przez firmę KBS [21]

Valves:		DN	T [°C]	p [bar]
NORI	Shut-off valve	10 – 50	311	135
ZTS	Gate valve	80 – 550	311	135
STAAL 40	Gate valve	150	249	38
STAAL 40	Swing-type check valve	80 – 700	249	38
ZJSVM/RJSVM	Preheater bypass valves	700 – 800	268	135
ZTN	Gate valve	50 - 700	400	300

Najnowsze dane w zakresie wartości i wielkości dostaw zaworów i pomp dla reaktorów EPR dotyczą budowy dwóch bloków elektrowni jądrowej Hinkley Point C w Wielkiej Brytanii. W opracowaniu [22] stwierdza się, że wartość pozyskanego przez firmę WEIR kontraktu na dostawę pomp wody chłodzącej (*Pumps for cooling water*) wynosi 3,117 mln EURO. Firma SPX ClydeUnion otrzymała z kolei kontrakt na dostawę pomp wody zasilającej (*Feed-water pumps / cooling*) o wartości 3,9 mln EURO (SPX, USA) oraz 98 mln EURO (ClydeUnion Pumps, UK). Na stronie internetowej EDF Energy można z kolei dowiedzieć się o zakresie dostaw zaworów [23] i wartości kontaktów na ich dostawę.

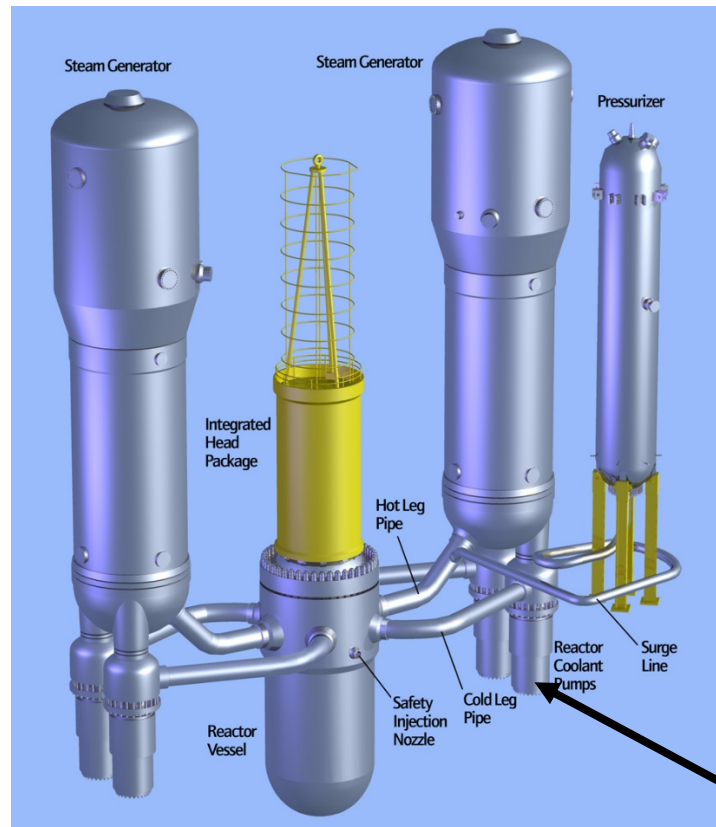
Pakiet zamówień na dostawę zaworów dla Hinkley Point C obejmuje:

- Vent Check Valves
- Non-Classified Valves and Check Valves
- Control Valves
- Classified Plug Valves
- Classified Diaphragm Valves
- Classified Butterfly Valves
- Safety Relief Valves
- Pressure Reducing Valves and Back-pressure Regulators
- Containment Isolation Valves
- Non-classified Plug Valves
- Non-classified Diaphragm Valves
- Non-classified Butterfly Valve
- Classified Globe Check Valves and Globe Valves
- Low Pressure Check Valves
- Classified Gate Valves Swing Check Valves and Globe Valves

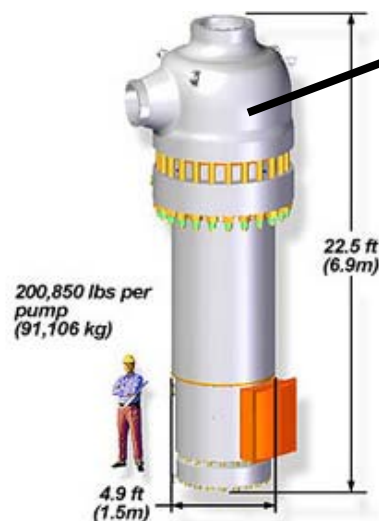
W informacji dla dostawców można ponadto zapoznać się z niektórymi szczegółami zamówienia. Przykładowo w przypadku zaworów nieobjętych klasyfikacją oraz armatury zwrotnej stwierdza się, że zawory (zwrotne grzybkowe, zaporowe, zwrotne klapowe i odcinające o wymiarach NB 8 do 200 mm) zostaną zainstalowane w różnych systemach i obszarach wokół elektrowni. Zawory te będą kwalifikowane w warunkach awaryjnego pęknięcia rurociągów o wysokiej energii.

b) AP1000

W przypadku reaktora AP1000 na każdej pętli chłodzenia znajdują się po dwie pompy chłodzenia reaktora (rys. 9). Podobnie jak w reaktorze EPR, jest to skomplikowane urządzenie o imponujących wymiarach (rys. 10), którego tylko odlew korpusu waży 16 ton (rys. 11), a całość powyżej 91 ton.



Rys. 9. Schemat obiegu jądrowego reaktora AP1000 [24]



Rys. 10. Pompa układu chłodzenia reaktora AP1000 (wg: Curtiss-Wright) [25]

Ogólna ilość zaworów w reaktorze AP1000 klasyfikowanych jako non-nuclear kształtuje się na poziomie 4700 jednostek, ilość zaworów bezpieczeństwa wynosi 700, a liczba pomp sięga 184.

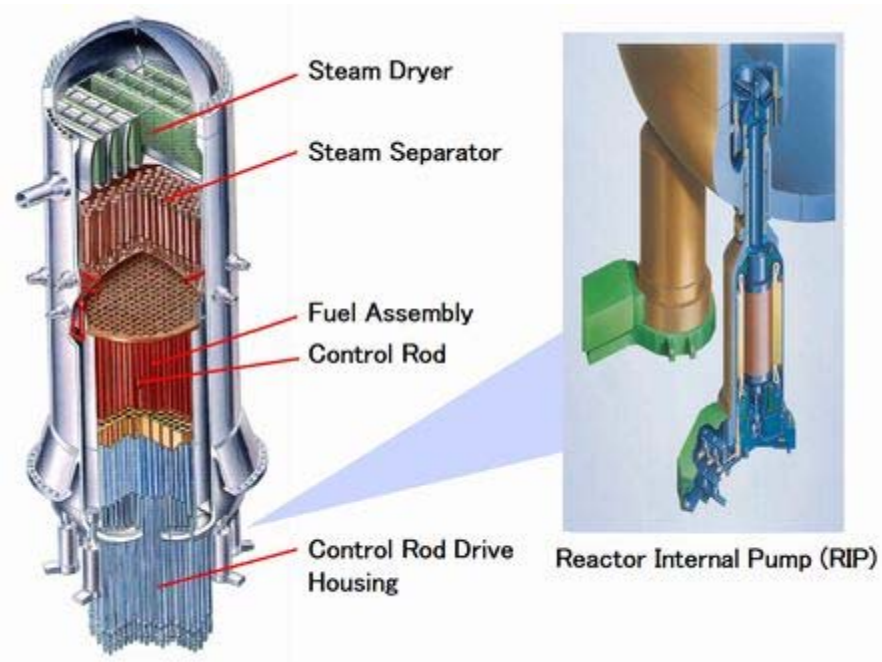
Firma Westinghouse szacuje, że koszt orurowania i zaworów stanowi 7% kosztów wszystkich urządzeń elektrowni jądrowej, w tym reaktora, turbiny, generatora pary i innych urządzeń mechanicznych, elektrycznych oraz I&C.



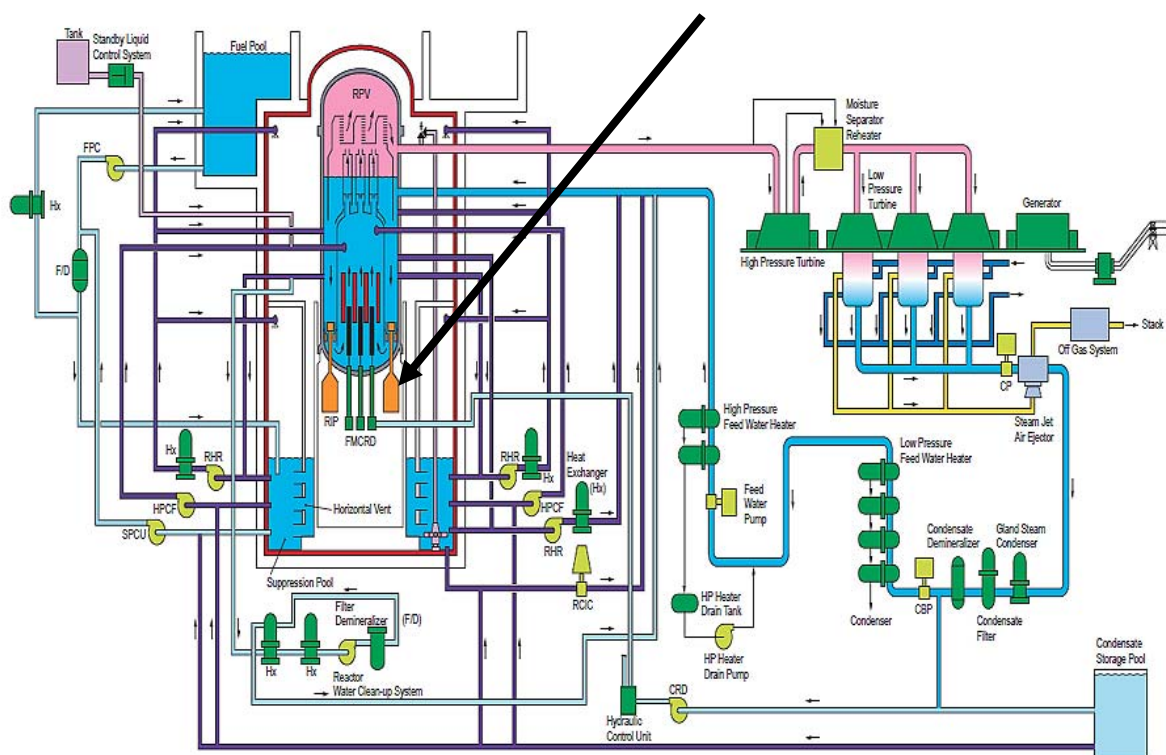
Rys. 11. Odlew fragmentu korpusu pompy reaktora AP1000 o wadze 16 ton [26]

c) **ABWR**

W przypadku reaktora ABWR ilość zaworów szacuje się na około 14 000, a pomp na 150-200 jednostek. W związku z tym, że reaktor ABWR jest reaktorem wodnym wrzącym (BWR), w jego układzie chłodzenia nie ma jednej dużej pompy chłodzącej. Rolę tę spełnia 10 pomp recyrkulacyjnych (*RIP – Reactor Internal Pump*) usytuowanych w dolnej części reaktora ABWR (rys. 12). Na rys. 13 pompy recyrkulacyjne oznaczono za pomocą koloru pomarańczowego, natomiast inne pompy – koloru żółtego.



Rys. 12. Pompa recykulacyjna (RIP) w reaktorze ABWR [27]



Rys. 13. Schemat reaktora ABWR. Za pomocą strzałki wskazano umiejscowienie pomp recykulacyjnych RIP [28]

2.3 Wymagania sekcji RCC-M kodu AFCEN

Jak już wspomniano we wprowadzeniu, armatura i pompy, 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 [4] podkreślono, że klasa komponentów jest określona w ich specyfikacji technicznej. W związku z powyższym kod RCC-M nie definiuje, które z poszczególnych urządzeń lub komponentów należy do której klasy bezpieczeństwa (poza komponentami Class 1), lecz zawiera tylko wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i kontroli urządzeń, komponentów i układów zaliczanych do Class 1, 2 i 3. 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)

W rozdziale A 4250 Subsection A wyjaśniono, że wyraz „Small Components” opisuje komponenty Class 1 oraz 2 o określonych parametrach technicznych. W przypadku armatury (*valves*) są to urządzenia ciśnieniowe i bezpieczeństwa przeznaczone do obsługi określonych jako „małe” zbiorników ciśnieniowych oraz rurociągów przeznaczonych do transportu 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.

W przypadku pomp, wyraz „Small Components” obejmuje pompy o mocy napędu równej lub mniejszej niż 160 kW.

Komponenty 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.

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 zaworów i pomp ze szczególnym zwróceniem uwagi na procesy wytwarzania, badań i kontroli:

B 2000 – Materials

B 3000 – Design

B 3100 – General Design Rules

B 3200 – General Rules for Analyzing Components Behaviour

B 3400 – Pump Design

B 3410 – General Requirements

B 3420 – Special Design Rules

B 3500 – General Design of Valves

B 3510 – General

B 3420 – Loading Considerations

B 3430 – General Rules

B 3440 – Rules for the Determination of Minimum Wall Thickness and
Body Shape

B 3450 – Rules for the Analysis of Valves

B 3460 – Stress Reports

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 5100** – General
 - B 5200** – Hydrostatic Tests
 - B 5220** – Test Pressures
 - B 5223** – Individual Test Pressure for Valves
 - B 5300** – Additional Tests on Valves
 - B 5310** – Mandatory Additional Tests
 - B 5320** – Non-Mandatory Additional Tests
- B 6000** – Overpressure Protection
 - B 6500** – Design and Operating Specifications for Pressure Discharge Valves

W rozdziale B 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 1 powinny spełniać wymagania RCC-M Section II „MATERIAL“. A zatem nie mogą to być materiały konstrukcyjne produkowane, badane i dostarczane w oparciu o wymagania norm przedmiotowych powszechnie stosowanych w niejądrowych branżach przemysłu. 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 1 z podaniem rozdziałów Section II „MATERIAL” opisujących wymagania materiałowe, zawiera tablica B 2200 w kodzie RCC-M. W tabl. 2.4 niniejszych wytycznych zestawiono natomiast wymagania dotyczące materiałów na elementy pompy głównej układu chłodzenia reaktora oraz elementów jej napędu. Przykładowo odlew spiralnego korpusu pompy (*volute*) powinien być wykonany z niezawierającej molibdenu nierdzewnej stali chromowo-niklowej, której skład chemiczny, proces wytwarzania, własności mechaniczne i badania wyrobu przedstawiono w podrozdziale M 3401:

M 3401 – Chromium Nickel (Containing No Molybdenum) Austenitic-Ferritic Stainless Steel Castings for PWR Reactor Coolant Pump Casings

Z kolei wymagania materiałowe do wału napędu (*motor shaft*) pompy reaktora przedstawiono w rozdziale M 2132:

M 2132 – Manganese-Nickel-Chromium-Molybdenum Steel Alloy Forgings for PWR Reactor Coolant Pump Shaft Assemblies

Wymagania w zakresie projektowania B 3000 dotyczą przede wszystkim pompy głównej układu chłodzenia reaktora.

Rozdział B 4000 zawiera wymagania dotyczące wytwarzania oraz badań komponentów Class 1 zarówno podczas produkcji w warunkach warsztatowych, jak i w trakcie montażu. 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”.

Tablica 2.4

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów pompy chłodzenia reaktora

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
REACTOR COOLANT PUMP	
PRESSURE RETAINING PARTS	
Volute	M 3401
Volute studs and nuts	M 2312 cl A or cl B M 5140
Motor support stand	M 1115
Mainflange	M 2117
Diffuser flange	M 3301
Thermal barrier coil	M 3303 / M 3304 M 3319 / M 3320
Branch pipes and nozzles	M 3304
Thermal barrier flanges, nozzles, and seal housings	M 3301 / M 3306 / M 5110
Miscellaneous bolting materials	M 2312 cl C M 5110 / M 5120 / M 5140
NON-PRESSURE RETAINING PARTS	
Pump shaft	M 3309
Spoolpiece	M 2132
Pump coupling sleeve	M 2132
Diffuser	M 3405
Suction adapter	M 3405
Impeller	M 3405
Thermal shield	M 3405
REACTOR COOLANT PUMP MOTOR	
NON-PRESSURE RETAINING PARTS	
Motor shaft	M 2132
Motor coupling sleeve	M 2132
Flywheel	M 2321

Bardzo istotnym zagadnieniem podczas wytwarzania komponentów Class 1 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 i napawania armatury i pomp bazują na wymaganiach Section IV „WELDING”, które są jednak uzupełnione o szereg wymagań dodatkowych opisanych w podrozdziale B 4490 „Hardfacing by Weld Deposition of Alloys”. Zasadniczo, napawanie, w tym powierzchni roboczych siedłisk i grzybków zaworów, należy wykonywać w oparciu o wymagania podrozdziału S 8000 sekcji IV kodu RCC-M. W uwagach podrozdziału B 4490 nadmienia się jednak, że w przypadku stosowania spoiw zawierających kobalt, należy uzyskać akceptację dostawcy technologii. Jednocześnie do napawania zaworów zaleca się stosowanie stopów na bazie żelaza w gatunkach NOREM 02, NOREM 02A lub EVERIT 50. Stwierdza się ponadto, że stosowana technologia napawania powinna być odpowiednia do parametrów pracy zaworu. W dalszych uwagach stwierdza się, że stosowanie ultra twardych stopów na bazie żelaza (np. Delchrome 910) nie jest zalecane wszędzie tam, gdzie występuje ryzyko powstania gwałtownych zmian parametrów mechanicznych i cieplnych. Stosowanie spoiw na bazie niklu może występować w tych przypadkach, gdy warstwa napawana nie jest poddawana podwyższonemu zużyciu na ścieranie w trakcie eksploatacji (np. w przypadku zaworów kulowych) oraz gdy warunki środowiskowe nie powodują ryzyka powstawania korozji naprężeniowej.

Badania nieniszczące w trakcie wytwarzania wg S 8571 lub S 8572 są wymagane dla napoin ze stopów na bazie żelaza wykonywanych z zastosowaniem ręcznych metod spawania.

W podrozdziale B 4490 stwierdza się także, że napoiny wykonane z zastosowaniem metod spawalniczych innych niż wymieniono w rozdziale S 8000, powinny zostać zaakceptowane przez Dostawcę technologii.

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

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 w większości są praktycznie takie same. W kilku miejscach występują tylko drobne zmiany lub uzupełnienia. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection C, w których przedstawiono wymagania dotyczące zaworów i pomp Class 2:

C 2000 – Materials

C 3000 – Design

C 3100 – General Design Rules

C 3400 – Pump Design Rules

C 3410 – General Requirements

C 3420 – Special Design Requirements

C 3430 – Rules Governing the Different Types of Radially Split Pump

C 3440 – Rules Governing Axially Split Pump Types

C 3450 – Design Rules for Reciprocating Pumps

C 3460 – Special Pumps

C 3500 – General Design of Valves

C 3510 – General

C 3420 – Loading Rules

C 3430 – General Rules

C 3440 – Rules for the Determination of Minimum Wall Thickness

C 3450 – Rules for the Analysis of Valves

**C 3460 – Seismic Behaviour of the Valves Fitted with an Extended
Structure**

C 3470 – Stress Report

C 4000 – Fabrication and Associated Examinations

C 4100 – General

- C 4200** – Preliminary Documents and Requirements for Fabrication and Examination
- C 4300** – Fabrication Operations
- C 4400** – Welding
 - C 4490** – Hardfacing by Weld Deposition of Alloys
- C 5000** – Pressure Tests of Class 2 Components
 - C 5100** – General
 - C 5200** – Hydrostatic Tests
 - C 5300** – Additional Tests on Valves
 - B 5310** – Mandatory Additional Tests
 - B 5320** – Non-Mandatory Additional Tests
- C 6000** – Overpressure Protection
 - C 6500** – Design and Operating Specifications for Pressure Discharge Valves

W rozdziale C 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 2, w tym zaworów i pomp, 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 przypadku wymienionych w tabl. C 2200 elementów pomp i zaworów nie mają zastosowania materiały wg standardowych norm stali i stopów typu EN, EN ISO lub innych. W tabl. 2.5 niniejszych wytycznych zestawiono wymagania dotyczące zaworów, a w tabl. 2.6 pomp Class 2, z których przykładowo wynika, że śruby i inne elementy mocujące oraz odpowiednie detale zaworów należy wykonywać z materiałów (*Bolting materials*) zestawionych w podrozdziałach M 4102, M 5110, M 5120 oraz M 5140:

M 4102 – Forged or Rolled Class 1, 2 and 3 Nickel-Chromium-Iron Alloy Parts

M 5110 – Rolled or Forged Bars for Bolting, Valve Stems and Other Parts for Class 1, 2 and 3

M 5120 – Rolled or Forged Bars for the Manufacture of Class 1, 2 and 3 Nuts

M 5140 – Class 1, 2 and 3 Studs, Screws, Threaded Rods and Nuts for Components of Pressurized Water Reactors

Z kolei wymagania do materiałów przeznaczonych na wirniki pomp (*Impellers*) zestawiono w rozdziałach M 3201 i M 3405:

M 3201 – Martensitic Stainless Chromium-Nickel-Molybdenum Steel Castings for Non-Pressure-Retaining Internal, Category A, B and C Parts of Pressurized Water Reactor Pumps.

M 3405 – Non-Pressure-Retaining Category A, B and C Chromium Nickel Austenitic-Ferritic Stainless Steel Cast Internal Pump Parts (Containing No Molybdenum) for Pressurized Water Reactors.

W rozdziale C 3000 szczegółowo opisano wymagania w zakresie projektowania zaworów (C 3400) i pomp (C 3500).

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 porównaniu z B 4000, 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 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.

Tablica 2.5

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów do produkcji zaworów Class 2

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
VALVES AND FITTINGS	
PRESSURE-RETAINING PARTS	
Body, bonnets	M 1112 / M 1114 M 1122 / M 1122 Bis M 1131 / M 1141 M 3301 / M 3304 M 3306 / M 3402 / M 5110
Blank, seats, nozzles, cages	M 1112 / M 1122 / M 1131 M 1122 Bis / M 1141 M 3204 / M 3206 / M 3208 M 3301 / M 3304 / M 3306 M 3402 / M 4102 / M 5110
Bolting materials	M 4102 / M 5110 M 5120 / M 5140
Steams	M 4102 / M 5110
Flanges and counterflanges	M 1122 / M 1122 Bis M 3301 / M 3306 / M 3307
NON-PRESSURE-RETAINING PARTS	
Valve pins, manoeuvring pins, valve arms	M 1112 / M 1122 M 1122 Bis M 3301 / M 3306 M 3402 / M 5110
Safety valve springs	M 5190

Tablica 2.6

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów do produkcji pomp 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
Bolting materials	M 5110 / M 5120 / M 5140
Pipes	M 3304 / M 3320
Stator housing	M 3306 / M 3307
NON-PRESSURE-RETAINING PARTS	
Impellers	M 3201 / M 3405
Shafts	M 3202
Diffuser with return guide vanes	M 3201 / M 3204 M 3301 / M 3405

Zawarte w podrozdziale C 4490 wymagania dotyczące spoiw do napawania powierzchni roboczych zaworów są praktycznie takie same, jak ujęte w podrozdziale B 4490 (patrz pkt 2.3.1).

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 zaworów i pomp Class 3:

D 1000 – General

D 2000 – Materials

D 3000 – Design

D 3100 – General Design Rules

D 3400 – Pump Design

D 3410 – General

D 3500 – General Design of Valves

D 3510 – General

D 3520 – Special Requirements

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 (= C 5000)

D 5100 – General

D 6000 – Overpressure Protection (= C 6000)

W rozdziale D 2000 stwierdza się, że materiały do wykonywania komponentów Class 3, w tym zaworów i pomp, 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 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. 2.7 i 2.8 niniejszych wytycznych zestawiono natomiast wymagania dotyczące odpowiednio zaworów i pomp Class 3. Z tabl. 2.7 wynika przykładowo, że wymagania materiałowe do korpusów, pokryw (*Body, bonnets*)

i sprężyn (*Safety valve springs*) zaworów, w tym składu chemicznego stali, własności mechanicznych i badań nieniszczących, przedstawiono w podrozdziałach M 1112, M 1122, M 1122 Bis, M 1141, M 3301, M 3304, M 3306, M 3402, M 4301, M 5110 oraz M 5190:

M 1112 – Class 1, 2 and 3 Pressure Retaining Carbon Steel Castings

M 1122 – Class 1, 2 and 3 Carbon Steel Forgings

M 1122 Bis – Class 1, 2 and 3 Carbon Steel Drop Forgings

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

M 3301 – Class 1, 2 and 3 Austenitic Stainless Steel Forgings and Drop Forgings

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

M 3306 – Class 1, 2 and 3 Austenitic Stainless Steel Rolled or Forged Bars and Semi-Finished Products

M 3402 – Class 1, 2 and 3 Pressure-Retaining Austenitic-Ferritic Stainless Steel Castings

M 4301 – Class 3 Copper-Aluminium Castings for PWR Auxiliary System Pumps and Valves

M 5110 – Rolled or Forged Bars for Bolting, Valve Stems and Other Parts for Class 1, 2 and 3

M 5190 – Hot or Cold Formed Springs for Class 1, 2 and 3 Safety Valves

Rozdziały D 3000, D 4000, D 5000 i D 6000 zawierają wymagania dotyczące odpowiednio projektowania, wytwarzania oraz kontroli, testów ciśnieniowych oraz ochrony przed nadciśnieniem komponentów Class 3. Rozdziały te zawierają podział na podrozdziały podobny do zastosowanego w odpowiednich rozdziałach podsekcji „C” dotyczących komponentów Class 2. Również zawartość podrozdziałów podsekcji „D” często jest dokładnie taka sama, jak odpowiednich podrozdziałów podsekcji „C”, a zatem wiele podrozdziałów w Subsection D zawiera tylko odnośnik do odpowiedniego podrozdziału w podsekcji „C” lub w sekcjach IV „WELDING”, V „FABRICATION” oraz III „EXAMINATION METHODS”.

Tablica 2.7

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów do produkcji zaworów Class 3

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
VALVES AND FITTINGS	
PRESSURE-RETAINING PARTS	
Body, bonnets	M 1112 / M 1141 M 1122 / M 1122 Bis M 3301 / M 3304 M 3306 / M 3402 M 4301 / M 5110
Blank, seats, nozzles, cages	M 1112 / M 1122 / M 1131 M 1122 Bis / M 1141 M 3204 / M 3206 / M 3208 M 3301 / M 3304 / M 3306 M 3402 / M 4102 / M 4301 M 5110
Bolting materials	M 4102 / M 5110 M 5120 / M 5140
Steams (bars)	M 4102 / M 5110
Flanges and counterflanges	M 1122 / M 1122 Bis M 1131 M 3301 / M 3306 / M 3307 M 4301
NON-PRESSURE-RETAINING PARTS	
Safety valve springs	M 5190

Tablica 2.8

Lista rozdziałów Section II dotyczących materiałów do produkcji pomp Class 3

Nazwa komponentu	Rozdział odniesienia w Section II
AUXILIARY PUMPS	
PRESSURE-RETAINING PARTS	
Casing component parts (volute, cover, cooling insert or shaft seal housing, pump head, barrel)	M 1112 / M 1122 M 3204 / M 3208 / M 3301 M 3304 / M 3402 / M 6201
Flanges, counterflanges and nozzles	M 1122 / M 1122 Bis M 3301 / M 3306 / M 3402
Bolting materials	M 5110 / M 5120
Bolting materials (finished product)	M 5140
Pipes	M 3304 / M 3320
Stator housing	M 3306 / M 3307
NON-PRESSURE-RETAINING PARTS	
Impellers, axial flow impellers	M 3201 / M 3405 M 3407 / M 4301
Shafts	M 1123 / M 3202
Diffuser, return guide, vanes	M 3201 / M 3204 M 3301 / M 3405
CARBON STEEL AUXILIARY PUMPS	
PRESSURE-RETAINING PARTS	
Fittings.....	M 1122 / M 1122 Bis M 1132 / M 1133 / M 1151
Plate	M 1131
Pipes	M 1142 / M 1143 / M 1145
Elbows	M 1131 / M 1132 / M 1143
Bolting materials	M 5110 / M 5120 / M 5140
Forgings	M 1122

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 jeśli chodzi o tytuły głównych rozdziałów. A zatem w rozdziale E 2000 opisano wymagania dotyczące materiałów stosowanych do wytwarzania Small Components, w E 3000 ich projektowania, w E 4000 wytwarzania i towarzyszących badań oraz w E 4500 prób ciśnieniowych. Poniżej przedstawiono wybrane tytuły rozdziałów i podrozdziałów Subsection E, w których przedstawiono wymagania dotyczące zaworów i pomp:

E 2000 – Materials

E 3000 – Design

E 3100 – General Design Rules

E 3400 – Design of Valve Components

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

E 5000 – Validation of Pumps and Acceptance Tests

E 5100 – Scope of the Validation

E 5200 – Validation of a Model

E 5300 – Validation

E 5400 – Change of Components on a Validated Pump

E 5500 – Acceptance 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 i elementów mocujących podczas produkcji Small Components pod warunkiem spełnienia wymagań dodatkowych opisanych w podrozdziale E 2200, w tym do odlewów.

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 (za nielicznym wyjątkiem) do odpowiedniego rozdziału lub podrozdziału w sekcjach IV „WELDING”, V „FABRICATION” oraz III „EXAMINATION METHODS”. Na wstępie stwierdza się jednak, że przed rozpoczęciem spawania lub napawania wszystkie czynności i procedury spawalnicze oraz kwalifikacje spawaczy powinny zostać potwierdzone w oparciu o wymagania załącznika Annex H1 w Subsection H kodu RCC-M.

W rozdziale E 5000 na kilku stronach opisano ponadto wymagania w zakresie sprawdzenia i badań pomp wykonywanych według kryteriów podsekcji E.

2.3.5 Armatura i pompy nieobjęte 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 nieobjętych 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 armatury i pomp oznacza to, że wszystkie te urządzenia przeznaczone do eksploatacji w elektrowni jądrowej z reaktorem EPRTM nieobjęte klasyfikacją powinny spełniać wymagania dyrektywy ciśnieniowej PED 2014/68/UE [29] oraz odpowiednich przedmiotowych norm europejskich lub międzynarodowych typu EN lub EN ISO. Zarówno dyrektywa, jak i tego typu normy 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 [3] 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 armatury i pomp Class 1, 2 i 3 są opisane w Division 1. Pierwszą w kolejności jest podsekcja NCA [30], 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.

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

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

ASME Section III „Rules for Construction of Nuclear Facility Components”

Division 1:

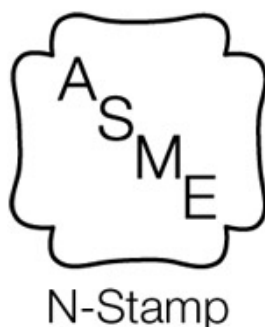
- Subsection NB „Class 1 Components”
- Subsection NC „Class 2 Components”
- Subsection ND „Class 3 Components”

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

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

- | | | |
|------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N Certificate | – | Vessels, pumps , valves , piping systems, storage tanks, core support structures, concrete containments, and transport packaging |
| NPT Certificate | – | Parts , appurtenances, welded tubular products, and piping subassemblies |
| NA Certificate | – | Field installation and shop assembly of all items |
| NV Certificate | – | Pressure relief valves |

W odniesieniu do armatury i pomp, certyfikat typu „N” powinien posiadać wytwórca kompletnych wyrobów, certyfikat typu „NPT” – wytwórca wytwarzający poszczególne fragmenty, podzespoły lub elementy pomp i armatury, certyfikat typu „NA” – wytwórca dokonujący prac montażowych wszystkich komponentów w warsztacie i na placu budowy oraz certyfikat typu „NV” – wytwórca zaworów bezpieczeństwa. Wyroby będą wówczas ostemplowane specjalnym certyfikacyjnym znakiem o następującym wyglądzie:



W większości przypadków producenci zaworów do zastosowań w elektrowniach jądrowych posiadają certyfikaty ASME typu „N” oraz „NPT”, a w przypadku zaworów bezpieczeństwa również „NV”.

Struktura podsekcji NB, NC oraz ND kodu ASME Section III jest zawsze taka sama i zawiera główne rozdziały przedstawione w tabl. 2.9.

Tablica 2.9
Struktura podsekcji NB, NC oraz ND kodu ASME Section III

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

Należy także nadmienić, że oprócz spełnienia wymagań kodu ASME Sect. III dla komponentów Class 1, 2 i 3, zawory i pompy powinny przejść przez procedurę kwalifikowania według wymagań QME-1 „Qualification of Active Mechanical Equipment used in Nuclear Power Plants” [31], a napędy (*actuators*) spełniać wymagania IEEE 382 „IEEE Standard for Qualification of Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations” [15].

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, zaworów i pomp, 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-3100 General Design
 - NB-3200 Design by Analysis
 - NB-3300 Vessel Design

- NB-3400 Pump Design
 - NB-3410 General Requirements for Centrifugal Pumps
 - NB-3420 Definitions
 - NB-3430 Design Requirements for Centrifugal Pumps
 - NB-3440 Design of Specific Pump Types
- NB-3500 Valve Design
 - NB-3510 Acceptability
 - NB-3520 Design Considerations
 - NB-3530 General Rules
 - NB-3540 Design of Pressure-Retaining Parts
 - NB-3550 Cyclic Loading Requirements
 - NB-3560 Design Reports
 - NB-3590 Pressure Relief Valve Design
- NB-3600 Piping 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-5380 Bubble Formation Testing
- NB-5400 Final Examination of Vessels
 - NB-5410 Examination After Hydrostatic Test
- NB-5500 Qualifications and Certification of Nondestructive Examination Personnel
 - NB-5510 General Requirements
 - NB-5520 Personnel Qualification, Certification, and Verification
 - NB-5530 Records
- NB-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-7100 General Requirements
 - NB-7200 Overpressure Protection Report
 - NB-7300 Relieving Capacity
 - NB-7400 Set Pressures of Pressure Transient Conditions
 - NB-7500 Operating and Design Requirements for Pressure Relief Valves
 - NB-7600 Nonreclosing Pressure Relief Devices
 - NB-7700 Certification
 - NB-7800 Marking, Stamping With Certification Mark, and Data Reports
- 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 [30]. Zgodnie z tablicą NCA-8000-1 w ww. rozdziale, znak certyfikacyjny powinien wyglądać, jak przedstawiono na początku punktu 2.4 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 „NV” 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 na armaturę i pompy, 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 zaworów i pomp, zaliczanych do Class 2 oraz 3 są opisane odpowiednio w Subsection NC oraz Subsection ND. Jak już wspomniano w tabl. 2.6, tytuły rozdziałów oraz większości podrozdziałów są takie same, jak w Subsection NB, zawierającej wymagania do komponentów Class 1. Występujące różnice dotyczą przede wszystkim rozdziałów w Subsection NC i ND opisujących projektowanie, badanie i próby odbiorowe. Różnice pomiędzy podsekcjami NC i ND są minimalne. Przykładowo, tytuły podrozdziałów, które zostały zmienione, usunięte lub dodane z rozdziałów w podsekcji NC w porównaniu z rozdziałami w podsekcji NB przedstawiono poniżej:

- NC-1000 Introduction
- NC-2000 Material
- NC-3000 Design
 - NC-3100 General Design
 - NC-3200 Alternative Design Rules for Vessels
 - NC-3300 Vessel Design
 - NC-3400 Pump Design
 - NC-3410 General Requirements for Centrifugal Pumps
 - NC-3420 Definitions
 - NC-3430 Design Requirements for Centrifugal Pumps
 - NC-3440 Design of Specific Pump Types
 - NC-3450 Design of Class 2 Reciprocating Pumps
 - NC-3500 Valve Design
 - NC-3510 General Requirements
 - NC-3520 Level D, C, and D Service Limits
 - NC-3530 General Rules
 - NC-3590 Pressure Relief Valve Design
 - NC-3600 Piping Design
 - NC-3700 Electrical and Mechanical Penetration Assemblies
 - NC-3800 Design of Atmospheric Storage Tanks
 - NC-3900 Zero psi to 15 psi (0 kPa to 100 kPa) Storage Tank Design

- NC-4000 Fabrication and Installation
- NC-5000 Examination
 - NC-5100 General Requirements for Examination
 - NC-5200 Examination of Welds
 - NC-5300 Acceptance Standards
 - NC-5320 Radiographic Acceptance Standards
 - NC-5330 Ultrasonic Acceptance Standards
 - NC-5340 Magnetic Particle Acceptance Standards
 - NC-5350 Liquid Penetrant Acceptance Standards
 - NC-5360 Visual Acceptance Standards for Brazed Joints
 - NC-5380 Gas and Bubble Formation Testing
 - NC-5400 Final Examination of Components
 - NC-5410 Examination After Pressure Testing
 - NC-5500 Qualifications and Certification of ND Examination Personnel
 - NC-5510 General Requirements
 - NC-5520 Personnel Qualification, Certification, and Verification
 - NC-5530 Records
 - NC-5700 Examination Requirements for Expansion Joints
- NC-6000 Testing
 - NC-6100 General Requirements
 - NC-6200 Hydrostatic Tests
 - NC-6300 Pneumatic Tests
 - NC-6400 Pressure Test Gages
 - NC-6500 Atmospheric and 0 psi to 15 psi (0 kPa to 100 kPa) Storage Tanks
 - NC-6600 Special Test Pressure Situations
 - NC-6900 Proof Tests to Establish Design Pressure
- NC-7000 Overpressure Protection
 - NC-7100 General Requirements
 - NC-7200 Overpressure Protection Report
 - NC-7300 Relieving Capacity Requirements
 - NC-7400 Set Pressures of Pressure Relief Devices
 - NC-7500 Operating and Design Requirements for Pressure and Vacuum Relief Valves

- NC-7600 Nonreclosing Pressure Relief Devices
- NC-7700 Certification
- NC-7800 Marking, Stamping With Certification Mark, and Data Reports
- NC-8000 Nameplates, Stamping With Certification Mark, and Reports

Bardziej istotne z punktu widzenia odbiorcy są różnice występujące nie w tytułach, lecz treści niektórych rozdziałów. W rozdziałach tych wymagania zostały zmodyfikowane poprzez wprowadzenie dodatkowych wymagań, usunięcie treści, a czasem także jej dodanie. 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 klas 2 i 3, podobnie jak dla Class 1, spoiwa do spawania lub napawania 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.

2.4.3 Armatura i pompy nieobjęte 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 zawory i pompy nieobjęte klasyfikacją związaną z bezpieczeństwem jądrowym powinny spełniać wymagania dokumentacji projektowej, która z dużym prawdopodobieństwem zakłada stosowanie odpowiednich norm amerykańskich. Normą odniesienia w przypadku zaworów jest norma ASME B16.34 „Valves Flanged, Threaded and Welding End” [35] z uwzględnieniem wymagań normy ASME B31.1 „Power piping” [36].

W przypadku pomp normą odniesienia jest norma API 610 „Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries” [37], która jest identyczna z normą ISO 13709 [38], lub normy Hydraulic Institute Standards (USA).

Poniżej przedstawiono tytuły rozdziałów oraz wszystkich załączników normy ASME B16.34 [35]:

1. Scope
2. Pressure-Temperature Ratings
3. Nominal Pipe Size
4. Marking
5. Materials
6. Dimensions
7. Pressure Testing
8. Requirements for Special Class Valves

Mandatory Appendices

- I Radiography Examination: Procedure and Acceptance Standards
- II Magnetic Particle Examination: Procedure and Acceptance Standards
- III Liquid Penetrant Examination: Procedure and Acceptance Standards
- IV Ultrasonic Examination: Procedure and Acceptance Standards
- V Requirements for Limited Class Valves
- VI Basis Equations for Minimum Wall Thickness
- VII Pressure–Temperature Ratings: U.S. Customary Units
- VIII References

Nonmandatory Appendices

- I Relationship Between Nominal Pipe Size and Inside Diameter
- II Method Used for Establishing Pressure–Temperature Ratings
- III Quality System Program

2.5 Wymagania norm niemieckich KTA

W Niemczech przepisy dotyczące zagadnień jądrowych są ujęte w normach typu KTA (*Kerntechnischer Ausschuss*), które zostały opracowane przez niemieckich producentów, inspektorów i operatorów elektrowni jądrowych. Normy te bazują na kodzie ASME, ale cechują się własnymi osobliwościami. W 2011 roku istniały 93 normy typu KTA, a kolejnych 15 było w opracowaniu [39]. Porównanie kodu ASME Sect. III oraz norm KTA w zakresie armatury i pomp przedstawiono w tabl. 2.10.

Tablica 2.10
Porównanie ASME Section III z normami KTA

ASME Section III, Division 1	KTA
Subsection NB (Class 1)	KTA 3201.2 [40] oraz KTA 3211.2 [41]
Subsection NC (Class 2)	KTA 3211.2
Subsection ND (Class 3)	KTA 3211.2

Wymaganiom dotyczącym projektowania pomp zawartym w rozdziałach NB-3400, NC-3400 i ND-3400 kodu ASME odpowiadają wymagania zawarte w Sec. 8.3 normy KTA 3211.2. Z kolei wymaganiom dotyczącym projektowania zaworów zawartym w rozdziałach NB-3500, NC-3500 i ND-3500 kodu ASME odpowiadają wymagania zawarte w Sec. 8.4 normy KTA 3211.2.

Wśród norm KTA nie ma normy, którą można byłoby porównać z ASME Section II [32]. Materiały zalecane do stosowania przez normę KTA 3211.2 [41] są ujęte w normie KTA 3211.1 [42], ale dodatkowe wymagania do tych materiałów (głównie związane z obliczeniami wytrzymałościowymi) zawiera wcześniej wymieniona norma KTA 3211.2.

System jakości w zakładach produkcyjnych powinien spełniać natomiast wymagania normy KTA 1401 [43].

2.6 Wymagania przepisów rosyjskich PNAE

Przy wytwarzaniu armatury dla elektrowni jądrowych projektowanych i budowanych w oparciu o rosyjską technologię z reaktorem typu VVER (np. VVER-440, VVER-1000 lub VVER-1200) podstawowym przepisem są ogólne warunki techniczne w zakresie armatury dla elektrowni jądrowych NP-68-05 (НП-68-05) [44]. Projektowanie i wytwarzanie pomp bazuje natomiast na federalnych rosyjskich przepisach PNAE G-7-008-89 (ПНАЭ Г-7-008-89) [45]. Z kolei przepisami dotyczącymi procesów spawania i napawania oraz kontroli złączy spawania zarówno w przypadku armatury, jak i pomp są odpowiednio dokumenty PNAE G-7-009-89 (ПНАЭ Г-7-009-89) [46] oraz PNAE G-7-010-89 (ПНАЭ Г-7-010-89) [47].

Według przepisów PNAE G-7-008-89 [45], urządzenia i rurociągi są zaliczane do grup A, B i C, które z kolei korelują z klasami bezpieczeństwa 1, 2 i 3 wg PNAE G-7-011-89 (ПНАЭ Г-7-011-89) [48]. Podział na klasy jest podobny do tego w ASME lub RCC-M. Różnica polega tylko na tym, że urządzenia i rurociągi nie zaklasyfikowane do klas 1, 2 lub 3 tworzą klasę 4.

Ogólne warunki techniczne НП-68-05 [44] nie są jednak jedynym dokumentem, którym należy kierować się przy produkcji zaworów dla elektrowni jądrowych z reaktorami typu VVER. Należy również spełniać wymagania dokumentu dotyczącego napawania powierzchni przylgowych zaworów РД 2730 300 06-98 [49] oraz instrukcji technologicznej ТИ 06.195-1 [50] dotyczącej napawania ręcznego elektrodami otulonymi.

W przypadku pomp należy także uwzględnić wymagania norm typu GOST, tj.: ГОСТ 24464-80 [51] dotyczącej pomp zasilających, ГОСТ 24465-80 [52] dotyczącej pomp kondensatu oraz ГОСТ 24656-81 dotyczącej pomp w obiegu pierwotnym reaktorów typu VVER [53].

Przedsiębiorstwa produkujące armaturę i pompy dla elektrowni jądrowych z reaktorami VVER powinny spełniać również wymagania w zakresie systemu zapewnienia jakości według НП-090-11 [54], a gotowe wyroby spełniać wymagania przepisu w zakresie odpowiedzialności wyrobów z punktu widzenia możliwości ich stosowania w obiektach energetyki jądrowej НП-071-06 [55].

Oprócz wymienionych powyżej państwowych przepisów rosyjskich typu PNAE, istnieje wiele państwowych norm ogólnych typu ГОСТ, branżowych (OCT) oraz zakładowych, jak również zaleceń technicznych typu RD (РД). W przypadku

armatury najczęściej dodatkowo stosowanymi są standardy typu ST CKBA (СТ ЦКБА) opracowane przez Centralne Biuro Konstrukcyjne Armatury (Центральное конструкторское бюро арматуростроения), które są częściej nowelizowane w porównaniu z normami, a zatem są bardziej aktualne i precyzyjne. Standardy ST CKBA dotyczą armatury o różnym przeznaczeniu i dla różnych branż przemysłu, ale wśród nich znajduje się spora grupa standardów do stosowania przy projektowaniu, wytwarzaniu i eksploatacji armatury dla elektrowni jądrowych. Jako przykład można wymienić standard ST CKBA 053 (СТ ЦКБА 053-2008) [56], w którym opisano wymagania w zakresie napawania powierzchni armatury oraz kontroli jej jakości.

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 [4] i ASME Section III [3], w których są zawarte wymagania dotyczące wytwarzania armatury i pomp Class 1, 2, 3 oraz nieobjętych klasyfikacją (tabl. 3.1 i 3.2). Szczegółowo wymagania opisano w pkt. 2 niniejszych wytycznych.

Tablica 3.1

System zapewnienia jakości (zarządzania jakością) podczas wytwarzania armatury i pomp 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 NCA-4000	NQA-1 NCA-4000	NQA-1 NCA-4000	ISO 9001
1.2.2	Dostawca materiałów metalicznego	NCA-3800	NCA-3800	NCA-3800	
1.2.3	Dostawca materiału niemetalicznego	NCA-3900	NCA-3900	NCA-3900	

Tablica 3.2

Armatura i pompy Class 1, 2, 3 i nieobjęte klasyfikacją

Lp.	Tytuł rozdziału lub podrozdziału	Class 1	Class 2	Class 3	Non nuclear
1	RCC-M	Subsection B	Subsection C	Subsection D	PED EN EN ISO
1.1	Wprowadzenie	B 1000	C 1000	D 1000	
1.2	Materiały	B 2000	C 2000	D 2000	
1.2.1	Materiał podstawowy	B 2200	C 2200	D 2200	
1.3	Projektowanie	B 3000	C 3000	D 3000	
1.3.1	Pompy	B 3400	C 3400	D 3400	
1.3.2	Zawory	B 3500	C 3500	D 3500	
1.4	Wytwarzanie i badanie	B 4000	C 4000	D 4000	
1.4.1	Spawanie i procesy pokrewne	B 4400	C 4400	D 4400	
1.4.2	Kwalifikowanie spawania/napawania	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	
1.4.4	Napawanie	B 4490	C 4490	D 4490	
1.5	Próba ciśnieniowa	B 5000	C 5000	D 5000	
2	ASME Section III	Subsection NB	Subsection NC	Subsection ND	ASME B16.34 API 610
2.1	Wprowadzenie	NB-1000	NC-1000	ND-1000	
2.2	Materiały	NB-2000	NC-2000	ND-2000	
2.2.1	Materiał podstawowy	NB-2100	NC-2100	ND-2100	
2.2.2	Spoiva	NB-2400	NC-2400	ND-2400	
2.3	Projektowanie	NB-3000	NC-3000	ND-3000	
2.3.1	Pompy	NB 3400	NC 3400	ND 3400	
2.3.2	Zawory	NB 3500	NC 3500	ND 3500	
2.4	Wytwarzanie i instalowanie	NB-4000	NC-4000	ND-4000	
2.4.1	Kwalifikowanie technologii spawalniczych	NB-4300	NC-4300	ND-4300	
2.5	Badanie	NB-5000	NC-5000	ND-5000	
2.6	Próba ciśnieniowa	NB-6000	NC-6000	ND-6000	

4 Podsumowanie

Dostępne publikacje techniczne i opisy budowy elektrowni jądrowych z reaktorami EPRTM, AP1000 oraz ABWR [16÷28] wykazują, że ilość zaworów i pomp w poszczególnych reaktorach różni się w zależności od ich budowy. W przypadku zaworów, ich ilość waha się dla jednego bloku od 5 do prawie 20 tysięcy jednostek. W przypadku pomp liczby są bardziej zbliżone: od 150 do 220 jednostek. W zależności od przeznaczenia i środowiska pracy, korpusy i elementy robocze zaworów i pomp są wykonywane zarówno ze stali niestopowych i niskostopowych (węglowych), jak i nierdzewnych (głównie typu AISI 316L), przy czym te ostatnie stanowią ponad połowę liczby ogólnej.

Zarówno w kodzie AFCEN RCC-M, jak i ASME Section III są przedstawione wymagania dotyczące zaworów i pomp w trzech klasach bezpieczeństwa: Class 1, 2 i 3. Należy w tym miejscu nadmienić, że pompy i zawory, podobnie jak i inne urządzenia, komponenty i rurociągi ciśnieniowe w elektrowniach jądrowych, są klasyfikowane według klas bezpieczeństwa w zależności od pełnionej funkcji i znaczenia dla bezpieczeństwa. W odpowiednich podrozdziałach obydwu ww. 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 głównego układu chłodzenia reaktora.

W związku z tym, że armatura (*valves*) i pompy (*pumps*) są jednocześnie urządzeniami ciśnieniowymi i mechanicznymi, zawierającymi aktywne części mechaniczne i elektryczne, wymagane jest przeprowadzenie nie tylko próby ciśnieniowej i innych prób odbiorowych przewidzianych dla urządzeń ciśnieniowych, lecz również procesu kwalifikowania tych urządzeń wg QME-1 [31], IEEE 382 [15] lub RCC-E [14], które ma na celu udowodnienie, że odpowiedzialne pompy i zawory, a także ich napędy (*actuators*), będą spełniały swoje funkcje nie tylko w warunkach normalnej pracy elektrowni jądrowej, lecz również w trakcie oraz po ustaniu czynników destabilizujących (awaryjnych). Badania kwalifikacyjne powodują konieczność posiadania przez producentów własnego certyfikowanego laboratorium

badawczego, a w razie jego braku, zlecenie tych czynności odpowiednim wyspecjalizowanym laboratorium zewnętrznym.

Z przeprowadzonej analizy wymagań kodów AFCEN i ASME dotyczących armatury i pomp wynika, że w przypadku kodu AFCEN RCC-M zdecydowana większość norm, na które się ten kod powołuje, są normami europejskimi typu EN lub międzynarodowymi typu EN ISO, szczególnie jeśli chodzi o procesy spawania, w tym normy dotyczące: spoiw, kwalifikowania technologii spawalniczych (spawania i napawania) oraz badań NDT, jak również kwalifikacji personelu spawalniczego i NDT. Podobna sytuacja ma miejsce także w przypadku pomp i zaworów nieobjętych ww. klasyfikacją bezpieczeństwa, które należy wykonywać w oparciu o wymagania Europejskiej Dyrektywy Ciśnieniowej PED 2014/68/UE [29] i różnego rodzaju normy przedmiotowe typu EN i EN ISO.

Największe różnice w przypadku zaworów i pomp Class 1, 2 i 3 występują w rozdziałach dotyczących projektowania (*design*). Wymagania kodów w zakresie spawania lub napawania są z reguły bardzo podobne niezależnie od klasy wyrobu.

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 zawory nieobjęte ww. klasyfikacją bezpieczeństwa należy wykonywać w oparciu o wymagania amerykańskiej normy ASME B16.34 [35] z uwzględnieniem wymagań normy ASME B31.1 [36] dotyczącej rurociągów energetycznych. Z kolei pompy należy wykonywać stosując wymagania normy API 610 [37], która jest identyczna z normą międzynarodową EN ISO 13709 [38].

W przypadku wytwarzania pomp w oparciu o wymagania norm niemieckich typu KTA, należy spełnić wymagania zawarte w Sec. 8.3 normy KTA 3211.2 [41], które są podobne do wymagań zawartych w rozdziałach NB-3400, NC-3400 oraz ND-3400 kodu ASME. Z kolei wymaganiom dotyczącym projektowania zaworów zawartym w rozdziałach NB-3500, NC-3500 i ND-3500 kodu ASME odpowiadają wymagania zawarte w Sec. 8.4 normy KTA 3211.2. System jakości w zakładach produkcyjnych powinien spełniać wymagania normy KTA 1401 [43].

Przy wytwarzaniu armatury i pomp do elektrowni jądrowych budowanych w oparciu o rosyjską technologię z reaktorem typu VVER podstawowym dokumentem są ogólne warunki techniczne НП-68-05 [44] oraz przepisy ogólne PNAE G-7-008-89 [45]. Z kolei przepisami dotyczącymi procesów spawania

i napawania oraz kontroli złączy spawanych są odpowiednio dokumenty PNAE G-7-009-89 [46] oraz PNAE G-7-010-89 [47].

Ogólne warunki techniczne НП-68-05 nie są jednak jedynym dokumentem, którym należy kierować się przy produkcji zaworów dla elektrowni jądrowych z reaktorami typu VVER. Należy również spełniać wymagania dokumentu dotyczącego napawania powierzchni przylgowych zaworów РД 2730 300 06-98 [49] oraz instrukcji technologicznej ТИ 06.195-1 [50] dotyczącej napawania ręcznego elektrodami otulonymi. Dodatkowym zalecanym źródłem wymagań, chociaż nieobowiązkowym, są standardy zakładowe, np. standardy typu ST CKBA (СТ ЦКБА) [56] opracowane przez Centralne Biuro Konstrukcyjne Armatury. Przedsiębiorstwa produkujące armaturę i pompy dla elektrowni jądrowych z reaktorami VVER oprócz wymagań technicznych, powinny również spełniać wymagania w zakresie systemu zapewnienia jakości według НП-090-11 [54].

Należy podkreślić, że niezależnie od używanego kodu warunkiem dostawy armatury i pomp jest spełnienie przez wytwórcę wymagań w zakresie projektowania, wytwarzania, kontroli jakości i prób odbiorowych. Z racji tego, że zawory i pompy są urządzeniami mechanicznymi, warunkiem stosowania ich w elektrowniach jądrowych jest również uzyskanie kwalifikowania w zakresie poprawności działania w różnych warunkach eksploatacyjnych. Przedsiębiorstwa produkcyjne powinny także posiadać: sprawdzony i certyfikowany system zapewnienia jakości uwzględniający specyficzne wymagania jądrowe, sprawdzone i kwalifikowane technologie spawania i napawania, personel o potwierdzonych kwalifikacjach, jak również powinny wykazać, że firma posiada: doświadczenie w wykonaniu wyrobów dla elektrowni jądrowych lub elektrowni konwencjonalnych i zakładów o podobnej skali odpowiedzialności i złożoności, odpowiednio przygotowane hale produkcyjne oraz profesjonalne zaplecze techniczne.

5 Piśmiennictwo

1. Program polskiej energetyki jądrowej. Monitor Polski, Warszawa, 24 czerwca 2014, Poz. 502.
2. <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/krynica-krzysztof-tchorzewski-o-elektrowni-jadrowej/z36fjc8> [05.09.2017]
3. ASME B&PV, Section III „Rules for construction of nuclear facility components”. American Society of Mechanical Engineers, New York.
4. AFCEN RCC-M „Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands”. 2012 Edition.
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. Expertise you can trust: pumps, valves and services for nuclear power stations. KSB Aktiengesellschaft, 2017.
9. Sempell Nuclear Valves. Secure leak-tight performance and 100% reliability for high pressure, high temperature applications. Emerson Automation Solutions, 2017.
10. Valves and Systems for Nuclear Industries. IMI Bopp & Reuther.
11. A World Leading Valve. Product Range. Velan, FLB-2004.
12. Pump Product Catalog. Flowserve, 2014.
13. SPX® Power + Energy. Providing critical solutions to the power industry. SPX Corporation, 2013.
14. AFCEN RCC-E „Design and Construction Rules for Electrical and I&C Systems and Equipment”. 2016 Edition.
15. IEEE 382-2006 „IEEE Standard for Qualification of Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations”.
16. Nuclear Power Plant Unit Olkiluoto 3. TVO, 2010.
17. <http://www.new.areva.com/EN/operations-4893/heavy-components-to-boost-performance.html#tab=tab5> [17.11.2017]
18. <http://www.tvo.fi/news/1465> [17.11.2017]

19. SEMPELL Model PSRV – Pressurized Safety Relief Valves. Type VS99 Pilot Operated. Emerson, 2017.
20. 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, 22-24.09.2015 r.
21. KSB Solutions. Olkiluoto Unit 3. KSB Aktiengesellschaft, 2012.
22. ‘Power House’ of the future. Hinkley Point C. Capitalmind, 2016.
23. <https://www.hinkleysupplychain.co.uk/work-packages/valves/> [17.11.2017]
24. P. AP1000: The PWR Revisited. IAEA International Conference on Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century, 27 October 2009.
25. http://www.world-nuclear-news.org/nn-ap1000_pumps_china-bound_again-1508137.html [17.11.2017]
26. <http://www.france-metallurgie.com/sheffield-forgemasters-foundry-adopts-new-technology-us/> [17.11.2017]
27. <http://www.nuclear-power.net/bwr-boiling-water-reactor/> [17.11.2017]
28. The ABWR Plant. General Description. GE Energy, USA, December 2006.
29. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych.
30. ASME B&PVC, Section III – Subsection NCA „General Requirements for Division 1 and Division 2”, 2015.
31. QME-1-2012 „Qualification of Active Mechanical Equipment used in Nuclear Power Plants”.
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 B16.34-2013 „Valves Flanged, Threaded and Welding End”.
36. ASME B31.1-2016 „Power piping“.

37. API 610-2010 „Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries (ISO 13709 :2009)“.
38. PN-EN ISO 13709:2010 „Pompy odśrodkowe dla przemysłu naftowego, petrochemicznego i gazowniczego“.
39. Hofer D., Schau H., Karabaki H.E., Hill R. Comparison of Germany KTA and ASME Nuclear Design Codes for Class 1, 2, 3 Components and Piping. Proceeding of the ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Division Conference PVP2011, July 17-21, 2011, Baltimore, Maryland, USA.
40. KTA 3201.2:2007-11 „Components of the Reactor Coolant Pressure Boundary of Light Water Reactors – Part 3: Manufacture“.
41. KTA 3211.2:2013-11 „Pressure and activity retaining components of systems outside the primary circuit – Part 2: Design and analysis“.
42. KTA 3211.1:2015-11 „Pressure and activity retaining components of systems outside the primary circuit – Part 2: Materials“.
43. KTA 1401:1996 „General Requirements Regarding Quality Assurance“.
44. НП-68-05 „Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования“.
45. ПНАЭ Г-7-008-89 „Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок“.
46. ПНАЭ Г-7-009-89 „Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка, основные положения“.
47. ПНАЭ Г-7-010-89 „Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля“.
48. ПНАЭ Г-01-011-97 „Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97“.
49. РД 2730 300 06-98 „Арматура атомных и тепловых электростанций. Наплавка уплотнительных поверхностей“.
50. ТИ 06.195-1 „Арматура энергетическая. Ручная электродуговая наплавка уплотнительных и направляющих поверхностей“.
51. ГОСТ 24464-80 „Насосы питательные энергетических блоков АЭС. Общие технические условия“.
52. ГОСТ 24465-80 „Насосы конденсатные энергетических блоков АЭС. Общие технические условия“.

53. ГОСТ 24656-81 „Насосы циркуляционные первого контура энергоблоков атомных электростанций с реакторами ВВЭР. Типы, основные параметры и общие технические требования”.
54. НП-090-11 "Требования к программам обеспечения качества для объектов использования атомной энергии".
55. НП-071-06 „Правила оценки соответствия оборудования, комплектующих, материалов и полуфабрикатов, поставляемых на объекты использования атомной энергии“.
56. СТ ЦКБА 053-2008 „Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования“.
