

Warszawa, 2019



Polski przemysł dla energetyki jądrowej

# WYTYCZNE

## WSPOMAGAJĄCE DZIAŁANIA PRZEDSIĘBIORSTW KRAJOWYCH W BUDOWIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH

BUDOWLANE KONSTRUKCJE STALOWE ELEKTROWNI JĄDROWYCH



**ŁUKASIEWICZ – Instytut Spawalnictwa**

**Autor opracowania:**

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

**Zamawiający:**

*Ministerstwo Aktywów Państwowych*

*ul. Krucza 36 / Wspólna 6*

*00-522 Warszawa*

**Zakres wytycznych:**

*Niniejsze wytyczne zawierają zestawienie wymagań zawartych w najczęściej stosowanych na świecie amerykańskich i francuskich kodach jądrowych w zakresie wytwarzania budowlanych konstrukcji stalowych elektrowni jądrowych.*

Projekt współfinansowany ze środków Ministerstwa Aktywów Państwowych.

*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 Aktywów Państwowych, ul. Krucza 36 / Wspólna 6, 00-522 Warszawa lub na adres e-mail: [przemysl.jadrowy@me.gov.pl](mailto:przemysl.jadrowy@me.gov.pl)*

**Wytyczne nr: W/MAP/DEJ/IS/06/19, Wydanie 1**

ISBN 978-83-61272-97-7

*Steel Structures for building of Nuclear Power Plants*

*ŁUKASIEWICZ – Instytut Spawalnictwa, 2019.*

Nakład 500 szt.

© Wszystkie prawa zastrzeżone

# SPIS TREŚCI

	<b>str.</b>
<b>1</b>	<b>Wprowadzenie . . . . . 5</b>
<b>2</b>	<b>Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni</b>
	<b>jądrowej z reaktorem EPR . . . . . 8</b>
2.1	Krótką charakterystyka konstrukcji budowlanych EPR . . . . . 8
2.2	Wymagania wg AFCEN RCC-CW . . . . . 11
2.2.1	Pręty do zbrojenia betonu (CREIN) . . . . . 12
2.2.2	System napinania (CPTSS) . . . . . 16
2.2.3	Prefabrykowane wyroby betonowe i kratownice zbrojeniowe(CPREF) 16
2.2.4	Konstrukcje stalowe (CSTLW) . . . . . 17
2.2.5	Elementy metalowe osadzone w betonie (CANCH) . . . . . 18
2.2.6	Rurociągi żelbetowe (CBURP) . . . . . 20
<b>3</b>	<b>Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni</b>
	<b>jądrowej z reaktorem AP1000 . . . . . 22</b>
3.1	Krótką charakterystyka konstrukcji budowlanych AP1000 . . . . . 22
3.2	Wymagania wg ASME Section III oraz ANSI/AISC. . . . . 29
3.2.1	ASME Section III, Division 1 – Subsection NE . . . . . 29
3.2.2	ACI 349 . . . . . 31
3.2.3	ANSI/AISC N690 . . . . . 41
<b>4</b>	<b>Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni</b>
	<b>jądrowej z reaktorem ABWR . . . . . 43</b>
4.1	Krótką charakterystyka konstrukcji budowlanych ABWR . . . . . 43
4.2	Wymagania wg ASME Section III oraz ANSI/AISC. . . . . 47
4.2.1	ASME Section III, Division 2 . . . . . 47
4.2.2	ACI 349 . . . . . 50
4.2.3	ANSI/AISC N690 . . . . . 50
<b>5</b>	<b>Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w</b>
	<b>poszczególnych kodach i normach . . . . . 51</b>
<b>6</b>	<b>Podsumowanie . . . . . 53</b>
<b>7</b>	<b>Piśmiennictwo . . . . . 54</b>



# 1 Wprowadzenie

Zgodnie z projektem dokumentu dotyczącym polityki energetycznej Polski do 2040 roku (PEP2040) [1], wdrożenie energetyki jądrowej i uruchomienie pierwszego bloku w Polsce powinno nastąpić do 2033 r. Projekt PEP2040 zakłada budowę 6 bloków energetycznych o mocy 6-9 GW do 2043 roku, które zapewnią krajowym odbiorcom dostawę 20% energii. Resort energii szacuje realizację całego programu jądrowego na 100÷135 mld zł przez okres 20 lat. Powyższe plany i zapowiedzi Ministerstwa Energii umożliwiają podjęcie działań przez krajowe podmioty gospodarcze w zakresie przygotowanie się do udziału w procesie budowy pierwszej elektrowni jądrowej, a następnie jej eksploatacji.

Wśród najbardziej prawdopodobnych uczestników przetargu na dostawę technologii jądrowej wymienia się firmy lub korporacje z Francji, Japonii, Kanady, Korei Południowej i Stanów Zjednoczonych. Wymienienie krajów, a nie potencjalnych firm-dostawców technologii jądrowej jest bardziej odpowiednie z punktu widzenia przepisów technicznych stosowanych podczas wytwarzania reaktora jądrowego i innych głównych urządzeń i konstrukcji, ponieważ do ich projektowania i wytwarzania stosuje się wymagania kodów, norm i przepisów kraju dostawcy. W związku z brakiem elektrowni jądrowych (EJ), Polska nie posiada własnych przepisów dotyczących ich budowy i eksploatacji, a zatem dokumentami odniesienia mającymi zastosowanie do konstrukcji i urządzeń elektrowni jądrowych należących do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa mogą być różne kody i normy, w tym:

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

Należy jednak nadmienić, że mimo posiadania własnych budowlanych przepisów jądrowych przez takie kraje, jak Japonia [2], Korea Południowa [3] oraz Kanada [4], zdecydowana większość projektów zagranicznych jest realizowana w oparciu o przepisy amerykańskie. Specyfika stalowych konstrukcji budowlanych elektrowni jądrowych powoduje, że podczas ich wykonywania mają zastosowanie zarówno przepisy i normy budowlane, jak i przepisy dotyczące urządzeń i wyrobów

ciśnieniowych. W Stanach Zjednoczonych jest to zatem norma American Concrete Institute ACI 349 [5] oraz kod ASME B&PVC, Section III [6]. W przypadku budowy elektrowni jądrowej według francuskiej technologii wszystkie wymagania dotyczące konstrukcji budowlanych opisano w kodzie AFCEN RCC-CW [7].

Każda elektrownia jądrowa, zarówno z reaktorem typu PWR (*Pressurized Water Reactor*), jak i BWR (*Boiling Water Reactor*), składa się z wyspy jądrowej i wyspy turbinowej. Wyspę jądrową tworzy budynek reaktora, wokół którego są rozmieszczone budynki pomocnicze. Podstawowym zadaniem budynku reaktora, nazywanym także obudowa bezpieczeństwa reaktora (*containment*), jest ochrona personelu obsługującego i otoczenia przed promieniowaniem. Z kolei sam reaktor i inne ważne urządzenia ciśnieniowe (np. wytwornica pary, stabilizator ciśnienia, pompy, główne rurociągi, zbiorniki z wodą do chłodzenia itd.) muszą być chronione przed uszkodzeniem i przedostaniem się na zewnątrz substancji promieniotwórczych. Ww. wymagania powodują, że zarówno obudowa bezpieczeństwa, jak i inne istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa budynki elektrowni jądrowej są projektowane i obliczane w taki sposób, aby mogły wytrzymać wstrząsy sejsmiczne, ataki terrorystyczne (np. upadek samolotu), uderzenia tsunami oraz oddziaływanie wielu innych czynników (np. tornado, huragan, śnieżycy itd.).

Poprawne zaprojektowanie i wykonanie budowlanych konstrukcji elektrowni jądrowych odbywa się w oparciu o wymagania stosownych kodów, norm i przepisów, gdyż wysoka jakość wykonania decyduje o bezpiecznej eksploatacji elektrowni jądrowej, która obecnie jest planowana na okres co najmniej 60-70 lat z możliwością przedłużenia nawet do 100 lat, co będzie oczywiście zależało od stanu technicznego podstawowych elementów konstrukcyjno-technologicznych elektrowni.

Oprócz ww. dwóch podstawowych kodów „jądrowych”, na świecie stosuje się inne przepisy, które mają zastosowanie w krajach posiadających własne technologie jądrowe. Powoduje to, że podczas wykonywania stalowych konstrukcji budowlanych są stosowane odpowiednie przepisy dostawcy technologii jądrowej lub przepisy krajowe. Uwzględniając globalizację rynków światowych, polskie firmy mają spore szanse na dostarczanie wyrobów i usług nie tylko w Polsce, ale na rynkach krajów europejskich, azjatyckich lub innych.

W dalszej części niniejszych wytycznych główna uwaga zostanie zwrócona na wymagania zawarte w dwóch podstawowych przepisach jądrowych: francuskim kodzie 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) oraz amerykańskim kodzie ASME Section III (American Society  
of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code).*

W opracowaniu zestawiono wymagania w zakresie stalowych konstrukcji  
budowlanych elektrowni jądrowych.

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

## 2 Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni jądrowej z reaktorem EPR

### 2.1 Krótka charakterystyka konstrukcji budowlanych EPR

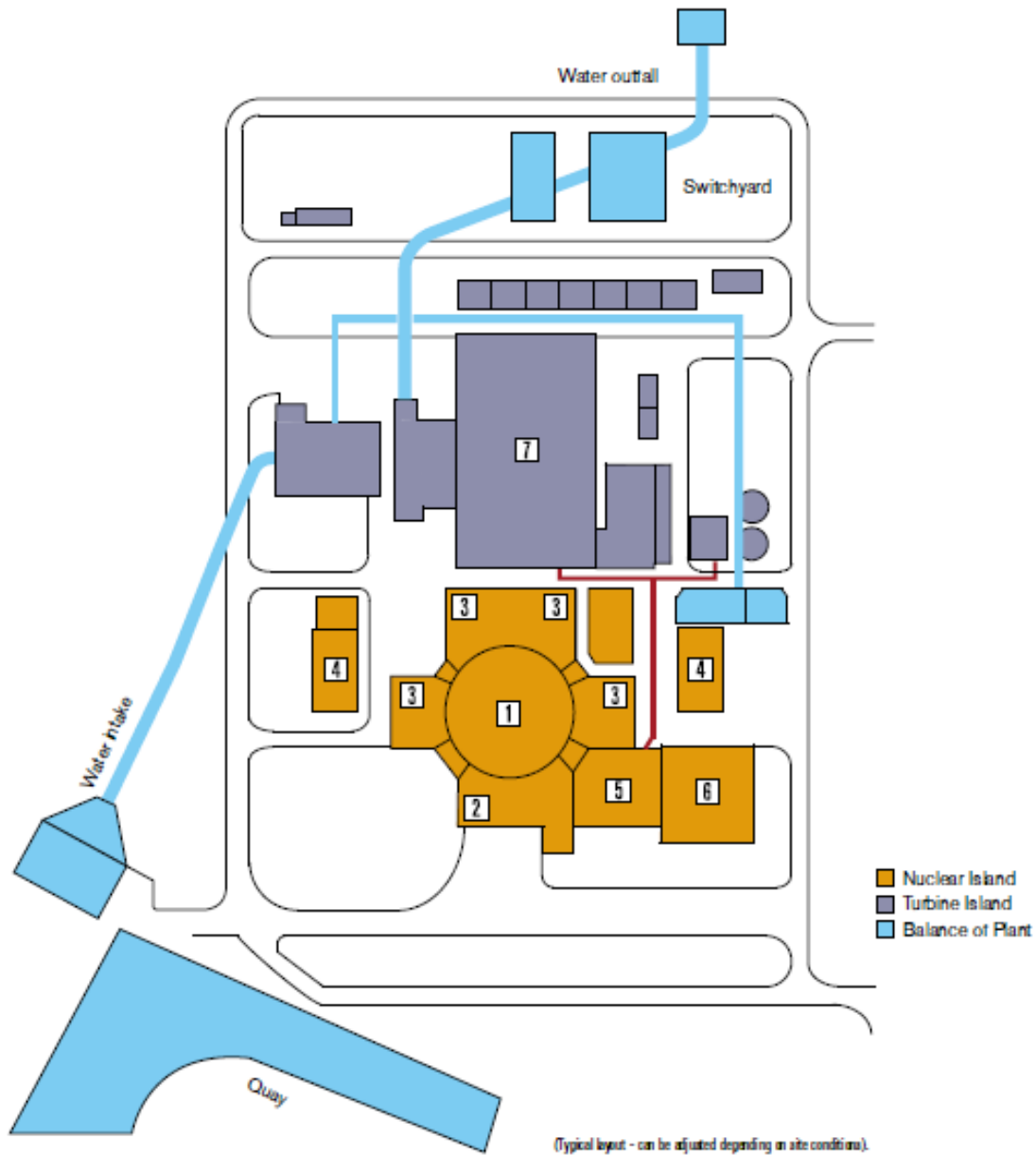
Podobnie jak każda elektrownia jądrowa, elektrownia z reaktorem EPR francuskiej firmy Framatome, składa się z wyspy jądrowej i wyspy turbinowej (rys. 1). Głównymi konstrukcjami budowlanymi są budynek reaktorowy i turbinowy wraz z budynkami pomocniczymi, paliwa, odpadów i bezpieczeństwa (rys. 2). Prawie wszystkie budynki są konstrukcjami żelbetowymi, a zatem do ich wykonania są stosowane specjalne betony i odpowiednio zaprojektowane zbrojenie. Specyficzną jest tylko konstrukcja obudowy bezpieczeństwa reaktora, która jest strukturą składającą się z dwóch żelbetowych współosiowych struktur pierścieniowych z przestrzenią powietrzną pomiędzy nimi (rys. 3) i wewnętrznego szczelnego płaszcza metalowego wykonanego z blachy o grubości 6 mm (rys. 4). Wewnętrzna struktura budowlana jest wykonana z betonu sprężonego w postaci cylindrycznej ściany zwieńczonej eliptyczną kopułą z podłożem ze zbrojonego betonu. Zewnętrzna natomiast ma postać zbrojonej cylindrycznej ściany opierającej się na tym samym podłożu wraz ze zbrojoną kopułą i służy jako ochrona przed zagrożeniami zewnętrznymi.



Rys. 1. Schemat elektrowni EPR z wyspą jądrową (1-6) i turbinową (7) [8].



Z informacji technicznych wynika, że do budowy reaktora EPR zużywa się 68.000 ton prętów żebrowanych, 100.000 płyt kotwiących o łącznej masie 1.250 ton oraz wykonuje się płaszcz o masie 850 ton i konstrukcje stalowe o masie 7.500 ton.



1 – Reactor Building

2 – Fuel Building

3 – The Safeguard Buildings

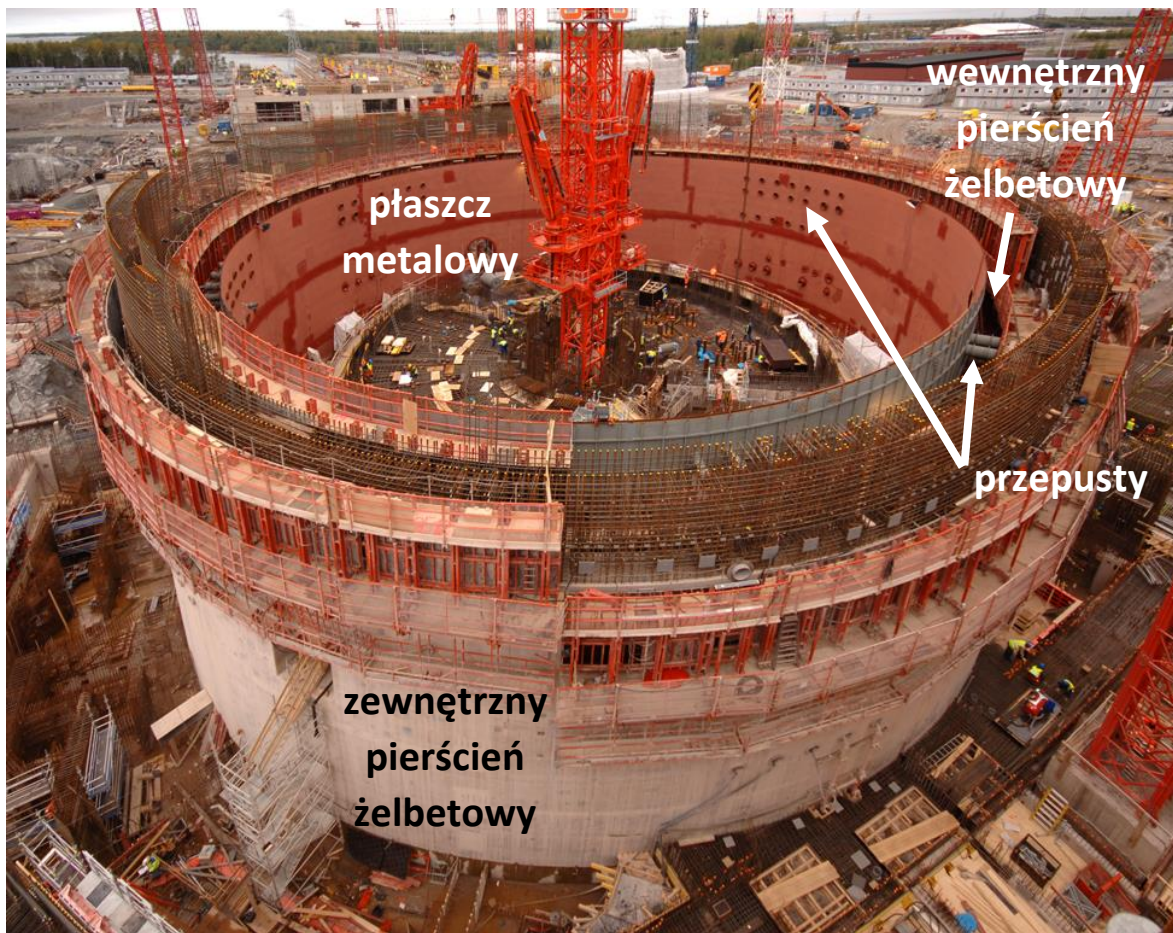
4 – Diesel Buildings

5 – Nuclear Auxiliary Building

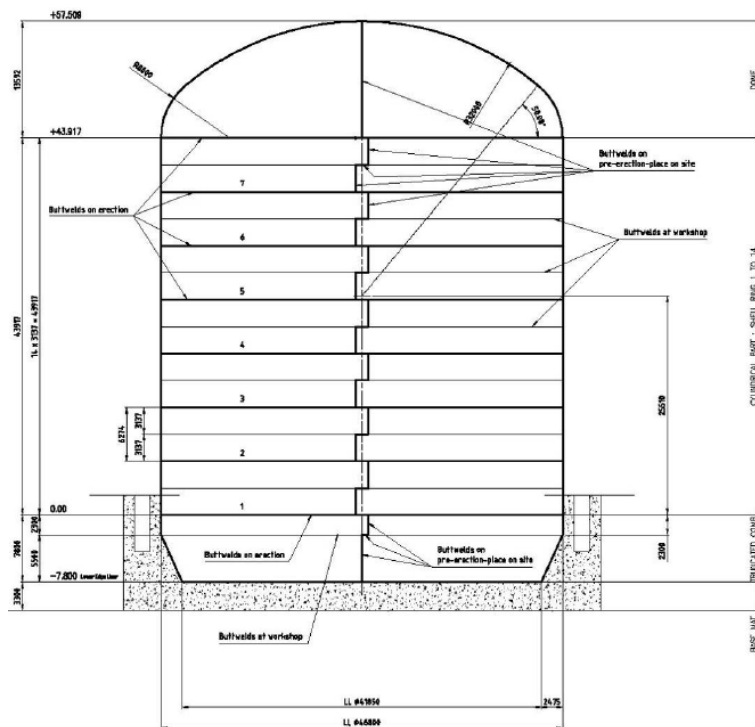
6 – Waste Building

7 – Turbine Building

Rys. 2. Schemat usytuowania budynków elektrowni z reaktorem EPR [8].



Rys. 3. Budynek reaktora EPR elektrowni Olkiluoto 3 w budowie [9].



Rys. 4. Płaszcz metalowy reaktora EPR w elektrowni Olkiluoto 3 [10].

## 2.2 Wymagania wg AFCEN RCC-CW

Wymagania dotyczące projektowania i wykonania żelbetowych i stalowych konstrukcji budowlanych są opisane w kodzie RCC-CW [7], który w marcu 2015 roku zastąpił dotychczas stosowany kod ETC-C. W kodzie RCC-CW są opisane wymagania w zakresie projektowania, wytwarzania i badania wszystkich elementów budowlanych reaktora. Struktura kodu RCC-CW jest następująca:

- Part G General
- Part D Design
- Part D Appendices
- Part C Construction
- Part C Appendices
- Part M Maintenance and Monitoring
- Part M Appendices

Wymagania dotyczące prac ziemnych, budowlanych oraz wytwarzania poszczególnych elementów betonowych, żelbetowych i metalowych budynku reaktora jądrowego są zawarte w odpowiednich rozdziałach Części C „Budowa”:

- CGEOT Earthworks and Soil Treatment
- CCONC Concrete
- CFNSH Surface Finish and Formwork
- **CREIN Reinforcement for Reinforced Concrete**
- **CPTSS Post Tensioning System**
- **CPREF Prefabricated Concrete Elements and Reinforcement Cages**
- **CCLIN Leaktight Metal Parts on Containments**
- **CPLIN Pools and Tanks**
- **CSTLW Structural Steelwork**
- **CANCH Metal Elements Embedded into the Concrete**
- **CBURP Reinforced Concrete Pipelines**
- CJOIN Joint Sealing
- CTOLR Survey Networks, Tolerances and Monitoring Systems

Jak wynika z powyższego zestawienia, wymagania w zakresie projektowania opisano w części D, natomiast w zakresie wytwarzania w części C, w której przedstawiono wymagania dotyczące następujących elementów stalowych:

- wyrobów do zbrojenia betonu (CREIN);
- systemu sprężania (CPTSS);
- prefabrykowania kratownic (CPREF);
- szczelnych części stalowych obudowy bezpieczeństwa (CCLIN);
- basenów i zbiorników (CPLIN);
- konstrukcji stalowych (CSTLW);
- elementów metalowych osadzanych w betonie (CANCH);
- rurociągów żelbetowych (CBURP).

Wymagania dotyczące wytwarzania szczelnego płaszcza metalowego obudowy bezpieczeństwa reaktora (CCLIN), konstrukcji stalowych (CSTLW) oraz basenów i zbiorników (CPLIN) zostały omówione już wcześniej w wytycznych nr W/ME/DEJ/IS/02/15 [11]. Poniżej podano więc analizie wymagania dotyczące wytwarzania pozostałych budowlach elementów metalowych.

### **2.2.1 Wyroby do zbrojenia betonu (CREIN)**

W rozdziale CREIN kodu RCC-CW przedstawiono wymagania dotyczące walcówki, prętów i siatek zbrojeniowych stosowanych do zbrojenia betonu. Już w pierwszym zdaniu podrozdziału CREIN 1000 stwierdza się, że stal do zbrojenia betonu w postaci prętów, kręgów i siatek powinna spełniać wymagania normy EN 10080 [12], ale jednocześnie cały szereg wymagań dodatkowych, w tym:

- stal powinna być niestopową stalą jakościową wg PN-EN 10020 [13];
- stale wgniatane (ang. *indented steels*) nie są dozwolone za wyjątkiem prefabrykowanych elementów konstrukcji;
- stal powinna posiadać Europejską Aprobatę Techniczną (European Technical Assessment) oraz certyfikat stałości własności użytkowych wydawany odpowiednio przez oceniający organ techniczny i notyfikowaną jednostkę certyfikującą zgodnie z aktualnie obowiązującą dyrektywą europejską;

- stal zbrojeniowa poza spełnieniem wymagań normy EN 10080 [12] powinna także spełniać wymagania dotyczące projektowania opisane w podrozdziale DCONC 2120 kodu RCC-CW w zakresie:
  - granicy plastyczności  $R_e$ ;
  - stosunku wytrzymałość/granica plastyczności  $R_m/R_e$ ;
  - wydłużenia  $A_{gt}$ ;
  - stosunku rzeczywistej do nominalnej granicy plastyczności  $R_{e,act}/R_{e,nom}$ ;
- w przypadku siatek zgrzewanych/spawanych (ang. *welded fabrics*), nominalna średnica prętów powinna być mniejsza lub równa 16 mm oraz spełniać wymagania w zakresie siły ścinania;
- podatność do gięcia powinna być sprawdzana przez próby gięcia i ponownego przegięcia wg normy EN 10080 [12];
- względna powierzchnia stali żebrowanej i wgniatanej powinna spełniać wymagania określone w normie EN ISO 15630-1 [14], a także przedstawione w tabl. CREIN 1000-1 kodu RCC-CW;
- kryteria oceny zgodności stali zbrojeniowej powinny odpowiadać wymaganiom podanym w normie PN-EN 10080 [12] oraz dodatkowo w tabl. CREIN 1000-2 kodu RCC-CW;
- przydatność stali do ponownego prostowania powinna być podana w certyfikacie zgodności.

W podrozdziale CREIN 1000 stwierdza się ponadto, że gładkie pręty do zbrojenia betonu powinny odpowiadać wymaganiom francuskiej normy NF A 35-015 [15] oraz być dostarczane ze Świadectwem odbioru 3.1 wg EN 10204 [16].

W podrozdziale CREIN 2000 opisano stan dostawy stali zbrojeniowej. Stwierdza się w nim m.in., że na plac budowy stal powinna być dostarczona w postaci prostych prętów, kręgów, paneli lub zwojów, a także w postaci prefabrykowanych elementów przyciętych, uformowanych i scalonych w warsztacie. Prostowanie prętów zbrojeniowych lub innego rodzaju zbrojeń, które zostały przypadkowo zgięte podczas wytwarzania, transportu lub przechowywania, jest zabronione. Dostawa stali o średnicy większej niż 6 mm w postaci kręgów jest zabroniona, chyba że na placu budowy lub w warsztacie będą dostępne urządzenia

do prostowania. Stal zbrojeniowa powinna posiadać etykiety zgodnie z wymaganiami EN 10080 [12] oraz wymaganiami Projektu.

W podrozdziałach CREIN 3000 i CREIN 4000 opisano warunki transportu, przechowywania i kontroli dostaw stali zbrojeniowej. Miejsce przechowywania na przykład powinno być czyste i odseparowane od placu budowy. Wyroby powinny być składowane osobno w zależności od rodzaju stali, typu wyrobu i średnicy. Wszystko to ma na celu zmniejszenie ryzyka zastosowania niewłaściwego gatunku stali lub nieodpowiedniego rodzaju wyrobu.

Sprawdzenie dostaw powinno obejmować: średnice, pochodzenie (zakład produkcyjny), rodzaj, przywieszkę, gatunek, nr partii lub wytopu oraz numer certyfikatu. Kontrola powinna z kolei dotyczyć własności mechanicznych według odpowiedniej normy, które należy sprawdzić przed użyciem stali zbrojeniowej w konstrukcjach budowlanych. Próby należy przeprowadzać dla każdego 1000 ton stali tego samego gatunku i średnicy w trakcie trwania dostawy lub co trzy miesiące, jeśli dostawa na koniec każdego trzeciego miesiąca jest mniejsza niż 1000 ton.

W podrozdziale CREIN 5000 opisano prostowanie, formowanie oraz montaż wyrobów ze stali zbrojeniowej w obiekcie. Czynności te powinny przebiegać w oparciu o wymagania normy EN 13670 [17] oraz wymagania dodatkowe opisane w podrozdziałach od CREIN 5100 do CREIN 5500.

W podrozdziale CREIN 5300 dotyczącym formowania stwierdza się, że gięcie stali zbrojeniowej w szalunku jest zabronione poza zamykaniem ram i strzemion dla średnic nie przekraczających 12 mm. Cięcie powinno być przeprowadzane za pomocą nożyc lub tarcz. Gięcie powinno być przeprowadzane w sposób mechaniczny i płynny ze stałą prędkością, która jest odpowiednia dla danej temperatury otoczenia. Proces gięcia należy złagodzić za pomocą odpowiednich trzpieni w celu zapewnienia stałego promienia krzywizny giętej sekcji. Wewnętrzne średnice gięcia dla prętów gładkich i żebranych przedstawiono odpowiednio w tabl. CREIN 5320-1 i CREIN 5330-1. Formowanie prętów jest zabronione w temperaturach poniżej  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Całkowite lub częściowe prostowanie wcześniej zgiętej stali lub zbrojenia jest niedopuszczalne, z wyjątkiem zbrojenia, które posiada certyfikat zgodności potwierdzający możliwość prostowania po gięciu. Certyfikat ten wydaje uprawniona lub notyfikowana jednostka. Dokument ten powinien zawierać także wyniki badań wytrzymałościowych.

Wymagania dotyczące spawania są przedstawione w podrozdziale CREIN 5400 dotyczącym przede wszystkim montażu zbrojenia na placu budowy. W podrozdziale CREIN 5410 stwierdza się m.in., że spawanie z zastosowaniem uchwytów spawalniczych jest zabronione, co sugerowałoby zastosowanie przede wszystkim spawania ręcznego elektrodami otulonymi.

Z kolei w podrozdziale CREIN 5420 „Montaż zbrojeń” stwierdza się, że montaż zbrojeń przeprowadza się poprzez wiązanie lub spawanie wg wymagań normy EN 13670 [17]. Jeśli scalanie zachodzi za pomocą spoin szczepnych z zastosowaniem spawania łukowego lub zgrzewania, to:

- spoiny te nie mogą zmieniać własności mechaniczne i parametry geometryczne stali zbrojeniowych w betonie, a metody spawania i operatorzy urządzeń spawalniczych powinny zostać kwalifikowane wg normy EN ISO 17660-2 [18];
- kontrola wizualna spoin powinna być przeprowadzana w miejscu wytwarzania co najmniej co 9 godzin. Ta inspekcja powinna być przeprowadzana w przypadku paneli lub kratownic zbrojeniowych łączonych za pomocą spoin w celu sprawdzenia, że wyjściowe zbrojenie nie uległo zmianie.

W podrozdziale CREIN 5451 opisano wymagania dotyczące połączeń mechanicznych, a CREIN 5452 nośnych złączy spawanych. W tym ostatnim podrozdziale stwierdza się, że w przypadku nośnych złączy spawanych, w normalnych warunkach produkcyjnych doczołowe złącza prętów są niedopuszczalne. Złącza te mogą być wykonywane w szczególnych przypadkach i muszą być dopuszczone przez Projekt. Kwalifikowanie technologii spawania i spawaczy powinno przy tym przebiegać w warunkach realnego spawania dla wszystkich stosowanych średnic dla każdego szczególnego przypadku. Procedura spawania produkcyjnego powinna być szczegółowo opisana i przedstawiona do zatwierdzenia przez Projekt.

Technologie spawania oraz operatorzy urządzeń spawalniczych powinni podlegać kwalifikowaniu przez uprawnioną jednostkę i spełniać wymagania normy EN ISO 17660-1 [19] oraz poniższe wymagania dodatkowe:

- próba gięcia przeprowadza się do kąta  $90^\circ$  bez ujawnienia się jakichkolwiek pęknięć pomiędzy  $0$  a  $45^\circ$  i bez pokazania się żadnych zniszczeń pomiędzy  $45$  a  $90^\circ$ ;

- zniszczenie podczas próby rozciągania powinno nastąpić poza SWC (strefą wpływu ciepła), której usytuowanie w przypadku złączy zakładkowych i skrzyżowanych prętów zbrojeniowych przedstawiono na rys. CREIN 5452-1;
- wydłużenie  $A_{gt}$  mierzone poza SWC powinno być większe lub równe względem minimalnej dopuszczalnej wartości dla stali;
- wytrzymałość na ścinanie spoiny dwóch krzyżujących się prętów, jak w zgrzewanych siatkach, powinna być większa lub równa
 
$$0,3 \times R_e \times A_{gt}$$
- badania wizualne złączy doczołowych powinny zawierać sprawdzenie, czy w pobliżu spoin nie występują podtopienia oraz czy rowek jest w całości wypełniony. Opis niezgodności spawalniczych znajduje się w normie EN ISO 6520-1 [20].

Podczas wytwarzania złączy nośnych należy ponadto przeprowadzać bieżącą kontrolę prac spawalniczych. Przystępując do spawania, należy przeprowadzić próbę gięcia w celu zapewnienia prawidłowych ustawień na stanowisku spawalniczym. Kryteria akceptacji prób przeprowadzanych podczas kontroli produkcyjnej są identyczne z kryteriami badań podczas kwalifikowania technologii spawania. Próbę gięcia należy przeprowadzać co 9 godzin.

### **2.2.2 System sprężania (CPTSS)**

W rozdziale CPTSS stwierdza się, że systemy sprężania betonu powinny posiadać europejską aprobatę techniczną ETA (European Technical Approval) lub ETE (European Technical Evaluation). Opisano także wymagania do poszczególnych elementów tych systemów, w tym do: stali sprężających, elementów zakotwienia, kanałów, wtryskiwania trwałych środków ochronnych (zapraw cementowych i produktów elastycznych) oraz systemów dynamometrycznych cięgien.

### **2.2.3 Prefabrykowane wyroby betonowe i kratownice zbrojeniowe (CPREF)**

W rozdziale CPREF opisano wymagania dotyczące prefabrykowanych elementów strukturalnych oraz kratownic zbrojeniowych. Wszystkie elementy przed rozpoczęciem produkcji powinny być zatwierdzone w ramach Projektu.



W podrozdziale CPREF 2000 opisano wymagania dotyczące prefabrykowanych kratownic zbrojeniowych. W podrozdziale tym nie ma obszernych opisów, gdyż wymagania w zakresie wytwarzania kratownic są takie same, jak opisano w rozdziale CREIN, który został szczegółowo omówiony powyżej. W podrozdziale CPREF 2000 opisano także oznaczenie kratownic, przechowywanie, transport, sprawdzanie przy dostawie oraz montaż na placu budowy, który należy wykonywać zgodnie z wymaganiami podrozdziału CREIN 5400.

W podrozdziale CPREF 3000 opisano wymagania dotyczące prefabrykowanych elementów betonowych.

## **2.2.4 Konstrukcje stalowe (CSTLW)**

Rozdział CSTLW kodu RCC-CW obejmuje wymagania dotyczące wszystkich innych konstrukcji stalowych, oprócz płaszcza stalowego budynku reaktora oraz basenów i zbiorników, w tym po przechowywania paliwa jądrowego. Rozdział ten nie obejmuje także wytwarzania konstrukcji z wysokostopowych stali nierdzewnych.

Już w pierwszym zdaniu rozdziału CSTLW stwierdza się, że należy czytać go wraz z rozdziałem DSTLW dotyczącym projektowania.

Po omówieniu wymagań ogólnych w pierwszym podrozdziale CSTLW 1000, w podrozdziale CSTLW 2000 stwierdza się, że podstawowym dokumentem odniesienia podczas wytwarzania konstrukcji stalowych jest norma EN 1090-2 [21]. Pozostałe normy odniesienia są natomiast wymienione w tabl. GREFD 2190-1 kodu RCC-CW. W kolejnych podrozdziałach opisuje się poszczególne etapy wytwarzania konstrukcji stalowych, ale opis ten w wielu podrozdziałach sprowadza się do podania odpowiedniego punktu w ww. normie EN 1090-2 [21].

W podrozdziale CSTLW 5200 stwierdza się m.in., że wszystkie wyroby powinny posiadać Świadectwo odbioru 3.1 wg EN 10204 [16], oprócz stali wysokowytrzymałych, które należy dostarczać ze Świadectwem odbioru 3.2 wg EN 10204. Należy opracować system identyfikowalności wyrobów na wszystkich etapach dostawy i przetwarzania oraz przedłożyć do zatwierdzenia przez Projekt.

W kolejnych podrozdziałach opisano wymagania dotyczące dostawy konstrukcyjnych wyrobów stalowych (np. stanu powierzchni oraz specjalnych właściwości, a w tabl. CSTLW 5310-1 częstotliwości specjalnych kontroli wyrobów

stalowych), jak również dostawy materiałów dodatkowych do spawania oraz różnego rodzaju złączy mechanicznych.

W podrozdziale CSTLW 6000 opisano wymagania w zakresie przygotowania wyrobów i ich montażu, w tym przechowywania, cięcia, kształtowania i wykonywania otworów.

W podrozdziale CSTLW 7000 opisano wymagania dotyczące spawania, które prawie we wszystkim są zbieżne z wymaganiami normy EN 1090-2 [21]. Zwraca się jednak uwagę na to, że plany spawania powinny być opracowane i zatwierdzone przez Projekt. W dopełnienie do wymagań pkt. 7.2.2 normy EN 1090-2, powinny być opracowane procedury szczegółowo opisujące identyfikowalność czynności spawalniczych dla klasy EXC3 i EXC4.

Stwierdza się ponadto, że ręczne spawanie metodami MIG/MAG 131, 132, 133, 135, 136, 138 oraz 114 powinno być zatwierdzone przez Projekt. Poniżej wyszczególniono wymagania wyższe niż w normie EN 1090-2:

- wskazanie usytuowania spawanych złączy (dostępność, pozycja);
- konieczne do przeprowadzenia uzupełniające badania nieniszczące NDT;
- potwierdzenie umiejętności spawaczy w zakresie stosowanych metod spawania;
- system zapewnienia jakości i monitorowania spawania;
- udział strony trzeciej.

W podrozdziale CSTLW 7410 jeszcze raz podkreśla się, że dla konstrukcji w klasie EXC3 i EXC4 należy przeprowadzić procedurę kwalifikowania technologii spawania i przedłożyć do zatwierdzenia przez Projekt. Stosowanie technologii spawania bez zatwierdzenia przez Projekt jest zabronione.

Kolejne podrozdziały dotyczą:

- łączników mechanicznych (CSTLW 8000)
- wznoszenia obiektu (CSTLW 9000)
- obróbki powierzchni (CSTLW 10000)
- tolerancji geometrycznych (CSTLW 11000)
- inspekcji, badań i działań korygujących (CSTLW 12000), w tym inspekcji przed, podczas i po spawaniu, jak również naprawy odkształceń powstałych w wyniku spawania.

## 2.2.5 Elementy metalowe osadzone w betonie (CANCH)

W rozdziale CANCH kodu RCC-CW opisano wymagania dotyczące elementów metalowych osadzanych w betonie (płyt kotwiących) za wyjątkiem elementów związanych ze szczelnym metalowym płaszczem obudowy bezpieczeństwa reaktora oraz basenami i zbiornikami. Płyty kotwiące powinny zostać wykonane co najmniej w klasie EXC3 wg EN 1090-2 [21]. W przypadku bardzo odpowiedzialnych urządzeń, klasa wykonania płyt kotwiących może zostać podwyższona do EXC4. Powinno to być wskazane w Projekcie.

Materiały stosowane do wykonania płyt kotwiących powinny spełniać szereg wymagań, w tym m.in.:

- materiałem elementów jest stal w gat. S235 lub S355 wg EN 10025-2 [22] pod warunkiem, że ich jakość spełnia wymagania normy EN 1993-1-10 [23];
- do wykonania elementów ze stali nierdzewnej należy stosować stale w gat. 1.4571 lub 1.4401 wg EN 10088 [24];
- zabrania się stosowania stali nieuspokojonej;
- gatunek i jakość stali powinna być opisana na rysunkach wykonawczych;
- jeśli kołki z łbem są stosowane, gatunek blachy stalowej powinien posiadać europejską aprobatę techniczną ETA (European Technical Approval);
- blachy, które przeznaczone do obciążenia w kierunku prostopadłym, powinny spełniać wymagania normy EN 10164 [25];
- klasa jakości powinna być Z35, chyba że Projekt stanowi inaczej.

Stalowe płyty o grubości większej niż 10 mm należy poddać badaniom ultradźwiękowym wg EN 10160 [26] dla klasy S2 i E3. Jeśli badania ultradźwiękowe są wymagane, należy przestrzegać częstotliwości badań określonej w rozdziale CSTLW 5310.

Wszystkie wyroby powinny być dostarczane w stanie znormalizowanym oraz posiadać Świadectwo odbioru 3.1 wg normy EN 10204 [16]. W świadectwie tym powinny być zawarte informacje o składzie chemicznym stali, numerze wytopu oraz własnościach mechanicznych. Spawanie naprawcze materiałów wyjściowych przez Dostawców jest zabronione. Dopuszcza się tylko szlifowanie w zakresie dopuszczalnych odchyłek wymiarowych.

Wymagania w zakresie wykonania płyt kotwiących są oparte o wymagania normy EN 1090-2 [21], które są uzupełnione lub zmodyfikowane z uwzględnieniem specyficznych wymagań jądrowych.

Wymagania dotyczące spawania płyt kotwiących są na tyle istotne, że poświęcono im cały podrozdział CANCH 7000 „Welding”. W podrozdziale tym opisano: stosowane normy (CANCH 7100), wymagania dodatkowe w zakresie wytwarzania płyt kotwiących (CANCH 7200), wymagania w zakresie sprawdzania spoin (CANCH 7300), jak również badań nieniszczących (CANCH 7400) i niszczących (CANCH 7500).

W podrozdziale CANCH 7100 stwierdza się, że dotyczy on kołków z łebkami, stali gorącowalcowanych (złączki) i prętów żebrowanych. Wszystkie technologie wskazane przez Projekt są zgodne z normami EN ISO 15614-1 [27], EN ISO 14555 [28] oraz EN ISO 17660-1 [19], które należy stosować podczas kwalifikowania technologii spawania oraz certyfikowania spawaczy i operatorów urządzeń spawalniczych. Jedyną zmianą w stosunku do kryteriów ujętych w ww. normach jest to, że badania wytrzymałości są wymagane, a zerwanie powinno nastąpić poza złączem.

W podrozdziale CANCH 7200 stwierdza się, że łączenie łączników z łebkiem za pomocą połączeń spawanych nie może wpływać na płaskość blach. Proces przyspawywania łukowego kołków należy prowadzić z zastosowaniem pierścieni ceramicznych lub w osłonie gazu wg EN ISO 14555 [28].

W podrozdziale CANCH 7400 wskazuje się m.in., że należy przeprowadzić 100% badań wizualnych połączeń spawanych kołków w oparciu o wymagania EN ISO 14555 i/lub EN ISO 5817 [29] dla poziomu B, poza nadmiernym wymiarem spoiny i wtopieniem, które mogą być ocenione na poziomie C. Badania penetracyjne powinny być prowadzone dla 10% płyt.

Badania niszczące opisane w podrozdziale CANCH 7500 dotyczą wyłącznie spawanych łączników łebkowych.

### **2.2.6 Rurociągi żelbetowe (CBURP)**

Rozdział CBURP kodu RCC-CW obejmuje wymagania dotyczące rurociągów żelbetowych, które są objęte klasą bezpieczeństwa. W rozdziale tym stwierdza się, że tego typu rury powinny być wykonywane zgodnie z wymogami normy EN 641 [30], a także spełniać dodatkowe wymagania, które dotyczą m.in. betonu (CBURP 2100),

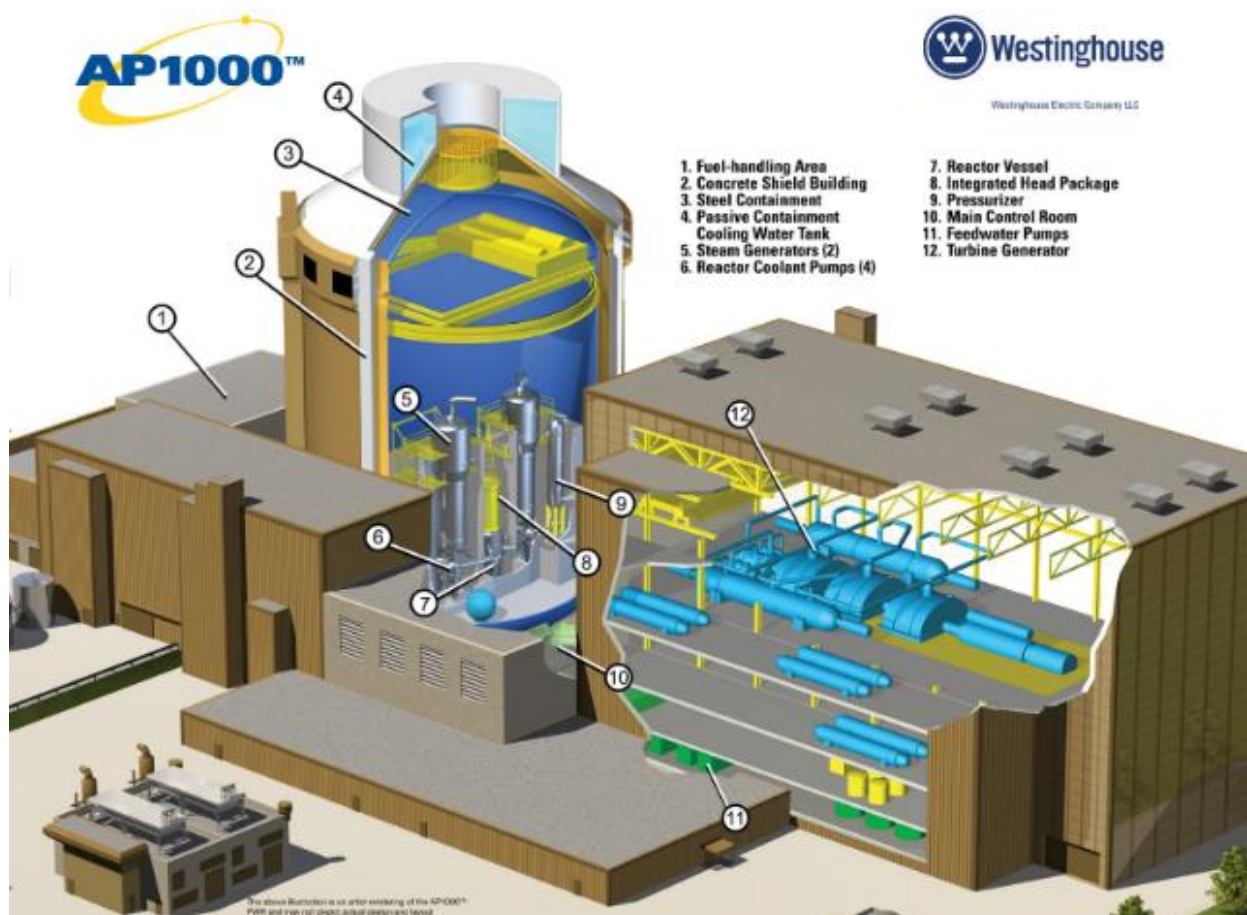
elementów stalowych (CBURP 2200), zbrojenia (CBURP 2300) i wytwarzania tego rodzaju rur (CBURP 3000). Omówiono także zagadnienia związane z kontrolą produktu końcowego, jego cechowaniem, przechowywaniem, transportem, a także montażem na placu budowy.

W podrozdziale CBURP 7000 dotyczącym spawania opisano wymagania w zakresie spawania płaszcza stalowego, łączenia pierścieni i kołnierzy w warunkach warsztatowych oraz rur między sobą na placu budowy. Omówiono wymagania ogólne, plan spawania, kwalifikacje spawaczy i operatorów urządzeń spawalniczych, badań złączy spawanych oraz spawania naprawczego. Większość wymagań dotyczących spawania jest zgodna z wymaganiami normy EN 1090-2 [21]. Technologie spawania powinny być kwalifikowane, a ocena niezgodności spawalniczych dokonana w oparciu o normę EN ISO 5817 [29]. Podczas wytwarzania w warsztacie, należy przeprowadzić 100% badań wizualnych i 100% penetracyjnych, a wszystkie płaszcze stalowe z łączonymi pierścieniami poddać wodnej próbie ciśnieniowej ze 100% badaniami jakości. Badania wizualne 100% należy przeprowadzać przed, w trakcie i po spawaniu.

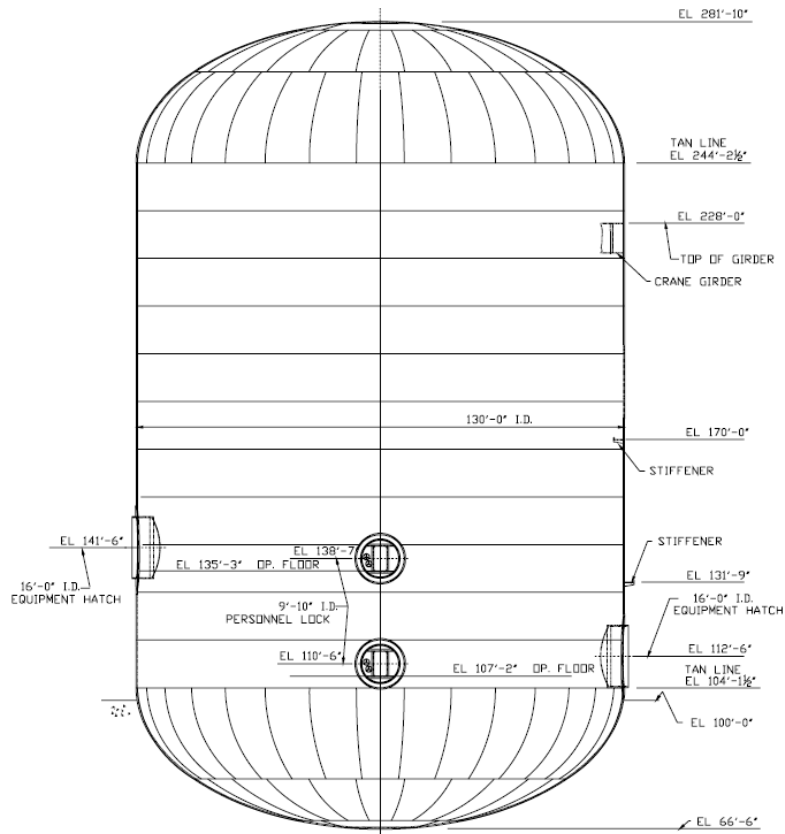
## 3 Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni jądrowej z reaktorem AP1000

### 3.1 Krótka charakterystyka konstrukcji budowlanych AP1000

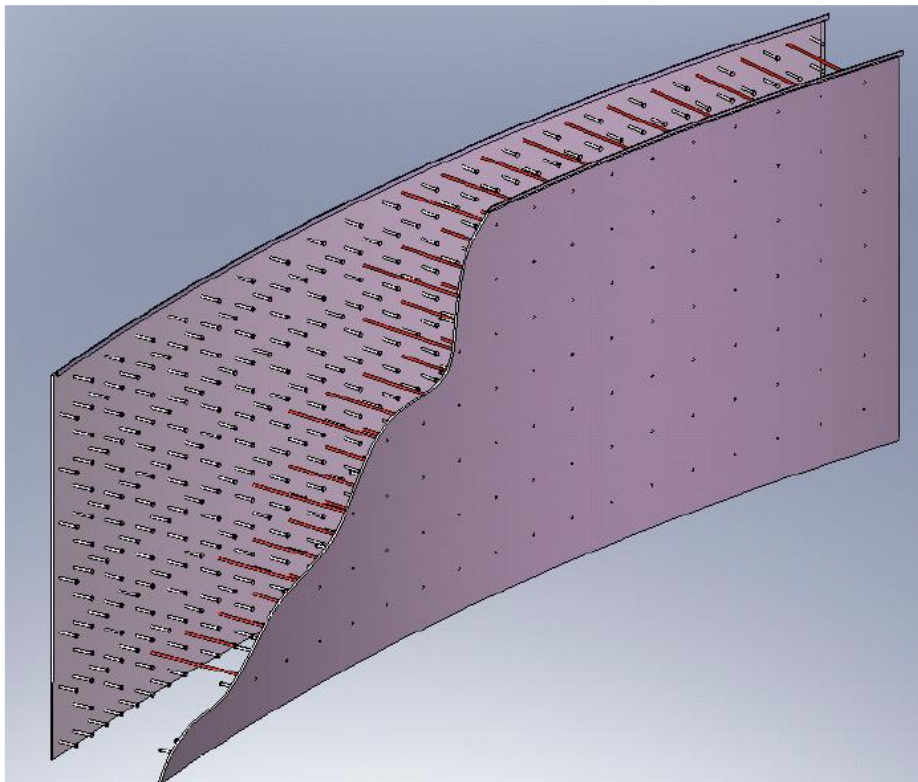
Schemat elektrowni jądrowej z reaktorem AP1000 amerykańskiej firmy Westinghouse przedstawiono na rys. 5. Podstawową osobiwością konstrukcyjną budynku reaktorowego jest to, że wewnętrzną osłonę reaktora AP1000 tworzy stalowy zbiornik ciśnieniowy (rys. 6), a nie konstrukcja żelbetowa z płaszczem metalicznym, jak ma to miejsce w przypadku reaktorów EPR lub ABWR. Osłonę zewnętrzną reaktora AP1000 tworzy natomiast panelowa struktura stalowo-betonowa (rys. 7), którą do budowy budynku reaktora jądrowego zastosowano po raz pierwszy w Japonii w 1996 roku.



Rys. 5. Elektrownia jądrowa z reaktorem AP1000 firmy Westinghouse [31].



Rys. 6. Wewnętrzny płaszcz stalowy reaktora AP1000 firmy Westinghouse [32].



Rys. 7. Struktura stalowa panelu wypełnianego betonem tworzącego pierścień zewnętrzny obudowy bezpieczeństwa reaktora AP1000 [33].

Grubość blachy w dolnej części cylindrycznej wewnętrznej płaszczki stalowego obudowy reaktora AP1000 (rys. 6) wynosi 1,875 cala (47,625 mm), a w pozostałej 1,75 cala (44,45 mm). Grubość blach tworzących części zamykające: dolną i górną (*containment vessel bottom and top heads*) wynosi 1,625 cala (41,275 mm). Odpowiednio uformowane blachy ze stali w gatunku ASME SA-738, Grade B są dostarczane na plac budowy, gdzie łączy się je za pomocą metod spawalniczych, głównie w sposób zmechanizowany.

Budowa budynku reaktorowego rozpoczyna się od wylania odpowiednio zbrojonych fundamentów, na których następnie ustawia się moduł CR-10 (rys. 8), który pełni rolę piedestału dla dennicy ochronnego stalowego płaszczki wewnętrznej reaktora (rys. 9). Moduł ten jest spawaną konstrukcją stalową wzmocnioną za pomocą prętów zbrojeniowych (rys. 10), gdyż w kolejnych etapach budowy elektrowni jądrowej moduł ten będzie zalany betonem, podobnie jak dolna część ww. dennicy płaszczki ochronnego.



Zdjęcie: South Carolina Electric & Gas

Rys. 8. Moduł CR-10 do ustawienia dennicy płaszczki reaktora AP1000 na placu budowy elektrowni V. C. Summer Unit 2 [34].





*Zdjęcie: South Carolina Electric & Gas*

Rys. 9. Montaż części dolnej płaszczu reaktora AP1000 na placu budowy elektrowni V. C. Summer Unit 2 [35].



*Zdjęcie: South Carolina Electric & Gas*

Rys. 10. Fragment modułu CR-10 na placu budowy V. C. Summer Unit 2 [36].

Kolejnym etapem budowy budynku reaktora AP1000 jest montaż zewnętrznej konstrukcji ochronnej, którą, jak już wspomniano, tworzą stalowe panele o specjalnej konstrukcji. Poszczególne sekcje są wykonywane w warsztacie (rys. 11), montowane na placu budowy (rys. 12), a następnie zalewane betonem. Do wykonania obudowy wykorzystuje się 160 paneli różnego typu.



Rys. 11. Prefabrykacja stalowych paneli osłony zewnętrznej reaktora AP1000 [37].



Rys. 12. Montaż stalowych paneli zewnętrznej osłony reaktora AP1000 na placu budowy Vogtle 3 [38].

Elektrownia z reaktorem AP1000 jest budowana w sposób modułowy, który zakłada wykonanie i montaż modułów różnego typu (konstrukcyjne, mechaniczne i budowlane) i stopnia złożoności. Moduły konstrukcyjne i budowlane, tworzące ściany i podłogi pomieszczeń i zbiorników wodnych zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz płaszcza obudowy reaktora, składają się głównie z blach, kształtowników i kołków stalowych, które po wykonaniu w warsztacie (rys. 13), a następnie scaleniu na placu budowy i zamontowaniu w miejscu przeznaczenia są w większości przypadków zalewane betonem. Ww. moduły cechują się różną wielkością, co powoduje, że w warunkach warsztatowych są wykonywane tylko mniejsze z nich lub poszczególne fragmenty modułów wielkogabarytowych, które następnie są scalane na placu budowy (rys. 14).



Rys. 13. Prefabrykowany sub-modul CA20-06 dla Vogtle 3 [39].



*Zdjęcie: South Carolina Electric & Gas*

Rys. 14. Umieszczenie modułu CA-01 wewnątrz płaszczu reaktora AP1000. Moduł ten składa się z wielu sub-modułów, które zostały połączone w jedną całość na placu budowy elektrowni V. C. Summer Unit 2 [40].

Z dokumentacji technicznej (AP1000 Design Control Document) firmy Westinghouse [32 i 33] wynika, że do wykonania wewnętrznego stalowego płaszczu ochronnego wraz z przepustami i słuzami do wprowadzania lub wyciągania urządzeń i przemieszczania się personelu ma zastosowanie kod ASME Section III, Division 1 [41]. Panelowy zewnętrzny płaszcz bezpieczeństwa, konstrukcja wsporcza wewnętrznego płaszczu stalowego obudowy oraz stalowe moduły konstrukcyjne są natomiast wykonywane w oparciu o wymagania normy ANSI/AISC N690 [42]. Z kolei konstrukcje żelbetowe wykonuje się w oparciu o wymagania amerykańskiej normy ACI 349 [5].

## **3.2 Wymagania wg ASME Section III oraz ANSI/AISC**

### **3.2.1 ASME Section III, Division 1 – Subsection NE**

Subsection NE zawiera zasady i wymagania dotyczące materiałów, projektowania, produkcji, badań nieniszczących, kontroli, prób odbiorowych i przygotowywania raportów w odniesieniu do metalicznego płaszcza obudowy. Wymagania dotyczące wytwarzania przedstawione są w następujących rozdziałach:

- NE-1000 Introduction
- NE-2000 Material
  - NE-2100 General Requirements for Material
  - NE-2200 Material Test Coupons and Specimens for Ferritic Steel Material
    - NE-2210 Heat Treatment Requirements
    - NE-2220 Procedure for Obtaining Test Coupons and Specimens for Quenched and Tempered Material
  - NE-2300 Fracture Toughness Requirements for Material
    - NE-2310 Material to Be Impact Tested
    - NE-2320 Impact Test Procedures
    - NE-2330 Test Requirements and Acceptance Standards
    - NE-2340 Number of Impact Tests Required
    - NE-2350 Retests
    - NE-2360 Calibration of Instruments and Equipment
  - NE-2400 Welding Materials
    - NE-2410 General Requirements
    - NE-2420 Required Tests
    - NE-2430 Weld Metal Test
    - NE-2440 Storage and Handling of Welding Material
  - NE-2500 Examination and Repair of Pressure Retaining Material
  - NE-2600 Material Organizations' Quality System Programs
  - NE-2700 Dimensional Standards
- NE-4000 Fabrication and Installation
  - NE-4100 General Requirements
  - NE-4200 Forming, Fitting, and Aligning

- NE-4300 Welding Qualifications
- NE-4400 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
- NE-4600 Heat Treatment
- NE-4700 Mechanical Joints and Penetration Assemblies
- NE-4800 Expansion Joints
- NE-5000 Examination
  - NE-5100 General Requirements for Examination of Vessels
  - NE-5200 Required Examination of Welds
  - NE-5300 Acceptance Standards
  - NE-5500 Qualifications and Certification of Nondestructive Examination Personnel
  - NE-5700 Examination Requirements for Expansion Joints
- NE-6000 Testing
  - NE-6100 General Requirements
  - NE-6200 Hydrostatic Tests
  - NE-6300 Pneumatic Tests
  - NE-6400 Pressure Test Gauges
  - NE-6700 Containment Penetration
- NE-8000 Nameplates, Stamping, and Reports

W powyższych rozdziałach opisano wymagania dotyczące: zakresu stosowania wymagań (NE-1000), stali i jej wyrobów oraz spoiw stosowanych do budowy płaszcz (NE-2000), całego procesu wytwarzania (NE-4000), badań nieniszczących (NE-5000) oraz prób odbiorowych (NE-6000). W rozdziale NE-8000 wskazano ponadto, że płaszcz obudowy powinien posiadać symbol „N”, natomiast części i akcesoria, które są jego częścią powinny być ostemplowane znakiem „NPT”.

Wymagania zawarte w ww. rozdziałach i podrozdziałach są bardzo szczegółowe. W celu zobrazowania stopnia tej szczegółowości, w powyższym zestawieniu tytułów rozdziałów przykładowo przedstawiono tytuły paragrafów podrozdziałów NE-2200, NE-2300 i NE-2400, w których 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 (NE-2500) oraz

system zapewnienia jakości dostawcy (NE-2600). Tytułem uzupełnienia należy także nadmienić, że materiały podstawowe powinny spełniać nie tylko wymagania zawarte w niniejszym rozdziale NE-2000, lecz również wymagania przedstawione w odpowiednich częściach i rozdziałach ASME Section II „Materials” [43]. Z kolei spoiwa powinny spełniać wymagania zarówno ASME Section II, Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals, jak i ASME Section IX „Welding and Brazing Qualifications” [44] wraz z wymaganiami dodatkowymi opisanymi w rozdziale NE-2400.

W rozdziale NE-4300 dotyczącym kwalifikowania technologii spawania wskazuje się, że procedura powinna zostać przeprowadzona według wymagań ASME Section IX [44] wraz z wymaganiami dodatkowymi opisanymi w ww. rozdziale NE-3000.

### **3.2.2 ACI 349**

Wymagania do wykonania innych niż obudowa bezpieczeństwa konstrukcji żelbetowych obiektów jądrowych opisano w normie ACI 349 [5]. Poniżej przytoczono spis treści tej normy, a następnie omówiono rozdziały i podrozdziały dotyczące stalowych konstrukcji spawanych i ich przetwarzania (zaznaczono na czerwono).

#### **Chapter 1—General requirements**

1.1—Scope

1.2—Drawings and specifications

1.3—Inspection

1.4—Approval of special systems of design or construction

**1.5—Quality assurance program**

#### **Chapter 2—Notation and definitions**

2.1—Code notation

2.2—Definitions

#### **Chapter 3—Materials**

3.1—Tests of materials

- 3.2—Cements
- 3.3—Aggregates
- 3.4—Water

### **3.5—Steel reinforcement**

- 3.6—Admixtures

### **3.7—Storage and identification of materials**

### **3.8—Referenced standards**

## **Chapter 4—Durability requirements**

- 4.1—Water-cementitious material ratio
- 4.2—Freezing and thawing exposures
- 4.3—Sulfate exposures
- 4.4—Corrosion protection of reinforcement

## **Chapter 5—Concrete quality, mixing, and placing**

- 5.1—General
- 5.2—Selection of concrete proportions
- 5.3—Proportioning on the basis of field experience or trial mixtures, or both
- 5.4—Proportioning without field experience or trial mixtures
- 5.5—Average compressive strength reduction
- 5.6—Evaluation and acceptance of concrete
- 5.7—Preparation of equipment and place of deposit
- 5.8—Mixing
- 5.9—Conveying
- 5.10—Depositing
- 5.11—Curing
- 5.12—Cold weather requirements
- 5.13—Hot weather requirements

## **Chapter 6—Formwork, embedded pipes, and construction joints**

- 6.1—Design of formwork
- 6.2—Removal of forms, shores, and reshoring
- 6.3—Conduits and pipes embedded in concrete
- 6.4—Construction joints



## **Chapter 7—Details of reinforcement**

- 7.1—Standard hooks
- 7.2—Minimum bend diameters
- 7.3—Bending
- 7.4—Surface conditions of reinforcement
- 7.5—Placing reinforcement
- 7.6—Spacing limits for reinforcement
- 7.7—Concrete protection for reinforcement
- 7.8—Special reinforcement details for columns
- 7.9—Connections
- 7.10—Lateral reinforcement for compression members
- 7.11—Lateral reinforcement for flexural members
- 7.12—Minimum reinforcement
- 7.13—Requirements for structural integrity

## **Chapter 8—Analysis and design—general considerations**

- 8.1—Design methods
- 8.2—Loading
- 8.3—Methods of analysis
- 8.4—Redistribution of negative moments in continuous flexural members
- 8.5—Modulus of elasticity
- 8.6—Stiffness
- 8.7—Span length
- 8.8—Columns
- 8.9—Arrangement of live load
- 8.10—T-beam construction
- 8.11—Joist construction
- 8.12—Separate floor finish

## **Chapter 9—Strength and serviceability requirements**

- 9.1—General
- 9.2—Required strength
- 9.3—Design strength
- 9.4—Design strength for reinforcement

9.5—Control of deflections

## **Chapter 10—Flexure and axial loads**

10.1—Scope

10.2—Design assumptions

10.3—General principles and requirements

10.4—Distance between lateral supports of flexural members

10.5—Minimum reinforcement of flexural members

10.6—Distribution of flexural reinforcement in beams and one-way slabs

10.7—Deep beams

10.8—Design dimensions for compression members

10.9—Limits for reinforcement of compression members

10.10—Slenderness effects in compression members

10.11—Magnified moments—general

10.12—Magnified moments—nonsway frames

10.13—Magnified moments—sway frames

10.14—Axially loaded members supporting slab system

10.15—Transmission of column loads through floor system

10.16—Composite compression members

10.17—Bearing strength

## **Chapter 11—Shear and torsion**

11.1—Shear strength

11.2—Lightweight concrete

11.3—Shear strength provided by concrete for nonprestressed members

11.4—Shear strength provided by concrete for prestressed members

11.5—Shear strength provided by shear reinforcement

11.6—Design for torsion

11.7—Shear-friction

11.8—Deep beams

11.9—Special provisions for brackets and corbels

11.10—Special provisions for walls

11.11—Transfer of moments to columns

11.12—Special provisions for slabs and footings

## **Chapter 12—Development and splices of reinforcement**

- 12.1—Development of reinforcement—general
- 12.2—Development of deformed bars and deformed wire in tension
- 12.3—Development of deformed bars and deformed wire in compression
- 12.4—Development of bundled bars
- 12.5—Development of standard hooks in tension
- 12.6—Mechanical anchorage
- 12.7—Development of welded deformed wire reinforcement in tension
- 12.8—Development of welded plain wire reinforcement in tension
- 12.9—Development of prestressing strand
- 12.10—Development of flexural reinforcement—general
- 12.11—Development of positive moment reinforcement
- 12.12—Development of negative moment reinforcement
- 12.13—Development of web reinforcement
- 12.14—Splices of reinforcement—general
- 12.15—Splices of deformed bars and deformed wire in tension
- 12.16—Splices of deformed bars in compression
- 12.17—Special splice requirements for columns
- 12.18—Splices of welded deformed wire reinforcement in tension
- 12.19—Splices of welded plain wire reinforcement in tension

## **Chapter 13—Two-way slab systems**

- 13.1—Scope
- 13.2—Definitions
- 13.3—Slab reinforcement
- 13.4—Openings in slab systems
- 13.5—Design procedures
- 13.6—Direct design method
- 13.7—Equivalent frame method

## **Chapter 14—Walls**

- 14.1—Scope
- 14.2—General
- 14.3—Minimum reinforcement

14.4—Walls designed as compression members

14.5—Empirical design method

14.6—Nonbearing walls

14.7—Walls as grade beams

14.8—Alternative design of slender walls

## **Chapter 15—Footings**

15.1—Scope

15.2—Loads and reactions

15.3—Footings supporting circular or regular polygonshaped columns or pedestals

15.4—Moment in footings

15.5—Shear in footings

15.6—Development of reinforcement in footings

5.7—Minimum footing depth

15.8—Transfer of force at base of column, wall, or reinforced pedestal

15.9—Sloped or stepped footings

15.10—Combined footings and mats

## **Chapter 16—Precast concrete**

16.1—Scope

16.2—General

16.3—Distribution of forces among members

16.4—Member design

16.5—Structural integrity

16.6—Connection and bearing design

16.7—Items embedded after concrete placement

16.8—Marking and identification

16.9—Handling

16.10—Strength evaluation of precast construction

## **Chapter 17—Composite concrete flexural members**

17.1—Scope

17.2—General

17.3—Shoring

- 17.4—Vertical shear strength
- 17.5—Horizontal shear strength
- 17.6—Ties for horizontal shear

## **Chapter 18—Prestressed concrete**

- 18.1—Scope
- 18.2—General
- 18.3—Design assumptions
- 18.4—Serviceability requirements—flexural members
- 18.5—Permissible stresses in prestressing steel
- 18.6—Loss of prestress
- 18.7—Flexural strength
- 18.8—Limits for reinforcement of flexural members
- 18.9—Minimum bonded reinforcement
- 18.10—Statically indeterminate structures
- 18.11—Compression members—combined flexure and axial loads
- 18.12—Slab systems
- 18.13—Post-tensioned tendon anchorage zones
- 18.14—Intentionally left blank
- 18.15—Intentionally left blank
- 18.16—Corrosion protection for unbonded tendons
- 18.17—Post-tensioning ducts
- 18.18—Grout for bonded tendons
- 18.19—Protection for prestressing steel
- 18.20—Application and measurement of prestressing force
- 18.21—Post-tensioning anchorages and couplers
- 18.22—External post-tensioning

## **Chapter 19—Shells**

- 19.1—Scope
- 19.2—General
- 19.3—Design strength of materials
- 19.4—Section design and reinforcement requirements
- 19.5—Construction

## **Chapter 20—Strength evaluation of existing structures**

- 20.1—Strength evaluation—general
- 20.2—Analytical investigations—general
- 20.3—Load tests—general
- 20.4—Load test procedure
- 20.5—Loading criteria
- 20.6—Acceptance criteria
- 20.7—Safety

## **Chapter 21—Provisions for seismic design**

- 21.1—Definitions
- 21.2—General requirements
- 21.3—Flexural members of moment frames
- 21.4—Moment frame members subjected to bending and axial load
- 21.5—Joints of moment frames
- 21.6—Intentionally left blank
- 21.7—Reinforced concrete structural walls and coupling beams
- 21.8—Intentionally left blank
- 21.9—Structural diaphragms and trusses
- 21.10—Foundations

## **APPENDIXES**

### **Appendix A—Strut-and-tie models**

- A.1—Definitions
- A.2—Strut-and-tie model design procedure
- A.3—Strength of struts
- A.4—Strength of ties
- A.5—Strength of nodal zones

### **Appendix B—Intentionally left blank**

### **Appendix C—Alternative load and strength reduction factors**

- C.1—General
- C.2—Required strength
- C.3—Design strength

## **Appendix D—Anchoring to concrete**

D.1—Definitions

D.2—Scope

D.3—General requirements

D.4—General requirements for strength of anchors

D.5—Design requirements for tensile loading

D.6—Design requirements for shear loading

D.7—Interaction of tensile and shear forces

D.8—Required edge distances, spacings, and thicknesses to preclude splitting failure

D.9—Installation of anchors

D.10—Structural plates, shapes, and specialty inserts

D.11—Shear strength of embedded plates and shear lugs

D.12—Grouted embedments

## **Appendix E—Thermal considerations**

E.1—Scope

E.2—Definitions

E.3—General design requirements

E.4—Concrete temperatures

## **Appendix F—Special provisions for impulsive and impactive effects**

F.1—Scope

F.2—Dynamic strength increase

F.3—Deformation

F.4—Requirements to assure ductility

F.5—Shear strength

F.6—Impulsive effects

F.7—Impactive effects

F.8—Impactive and impulsive loads

## **Appendix G—SI metric equivalents of U.S. Customary Units**

W podrozdziale 1.5 stwierdza się, że przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac należy opracować program zapewnienia jakości obejmujący konstrukcje związane z bezpieczeństwem jądrowym. Ogólne wymagania i wytyczne dotyczące ustanowienia i realizacji programu zapewnienia jakości na etapie projektowania i budowy elektrowni jądrowych są określone w Rozdziale 10 przepisów NRC Part 50 (10CFR50 [45]), Appendix B oraz Rozdziału 10 przepisów NRC Part 830, Subpart A. W przypadku obiektów poza terytorium USA, zapis ten oznacza opracowanie systemu zapewnienia jakości wg NQA-1 [46].

W podrozdziale 3.5 szczegółowo opisano wymagania dotyczące zbrojenia konstrukcji żelbetowych w postaci stali konstrukcyjnych i rur stalowych wymienionych w niniejszej normie. W podrozdziale tym stwierdza się m.in., że spawanie prętów zbrojeniowych powinno być zgodne z normą ANSI/AWS D1.4 [47] i prowadzone przez certyfikowanego spawacza. Rodzaj i usytuowanie połączeń spawanych oraz inne wymagania dotyczące spawania prętów zbrojeniowych należy podać na rysunkach projektowych lub w specyfikacjach projektu. Wymagania zawarte w normie ASTM dotyczącej prętów zbrojeniowych, z wyjątkiem ASTM A 706, należy uzupełnić tak, aby spełniały wymagania raportu właściwości materiałów wg wymagań ANSI/AWS D1.4 [47].

W podrozdziale 3.7 stwierdza się, że należy zadbać o właściwe przechowanie wszystkich materiałów, aby zapobiec uszkodzeniu lub pogorszeniu ich jakości. Jeżeli jest to konieczne w przypadku określonych produktów, należy zapewnić specjalne środowiska ochronne, takie jak atmosfera gazu obojętnego, specyficzne poziomy zawartości wilgoci i kontrolowane temperatury. Wszystkie przechowywane materiały muszą być odpowiednio oznakowane lub opisane, aby umożliwić identyfikację. Materiał zbrojeniowe powinny być przechowywane w taki sposób, aby umożliwić kontrolę zapasów i zapobiec uszkodzeniu lub pogorszeniu właściwości poniżej wymagań norm ASTM. Stale zbrojeniowe według gatunków prętów lub dostaw powinny być możliwe do zidentyfikowania za pomocą dokumentacji, znaczników lub innych środków kontroli, pod konkretnym numerem lub kodem wytopu do czasu sprawdzenia zgodności z certyfikatem.

W podrozdziale 3.8 wymieniono normy ASTM, które są integralną częścią normy ACI 349. Wymienia się także normy dotyczące spawania stali zbrojeniowej ANSI/AWS D1.4 [47] oraz spawania stali konstrukcyjnych AWS D1.1/D1.1M [48].

W rozdziale 7 opisano wymagania dotyczące m.in. gięcia prętów.



### 3.2.3 ANSI/AISC N690

Wymagania normy ANSI/AISC N690 [42] dotyczą materiałów konstrukcyjnych, projektowania konstrukcji stalowych i ich stalowych elementów, jak również wytwarzania, w tym materiałów (NA3.), cięcia i spawania (rozdział NM.), jak również systemu zapewnienia jakości (rozdział NN.) w obszarze energetyki jądrowej i innych tego typu zastosowań. W zakresie wytwarzania w normie tej wskazano, iż wykonywanie konstrukcji spawanych powinno zasadniczo odbywać się zgodnie z wymaganiami norm AWS D1.1 [48] oraz AWS D1.6 [49].

Poniżej przedstawiono zawartość ww. rozdziałów normy ANSI/AISC N690:

- NA. General Provisions
  - NA1. Scope
  - NA2. Referenced Specifications, Codes and Standards
  - NA3. Materials
    - 1. Structural Steel Materials
      - 1a. ASTM Designations
      - 1b. Unidentified Steel
      - 1c. Rolled Heavy Shapes
      - 1d. Built-Up Heavy Shapes
    - 2. Steel Castings and Forgings
    - 3. Bolts, Washers and Nuts
    - 4. Anchor Rods and Threaded Rods
    - 5. Consumables for Welding
    - 6. Headed Stud Anchors
  - NA4. Structural Design Drawings And Specifications
  - NA5. Quality Assurance
- NM.
  - NM1. Shop and Erection Drawings
  - NM2. Fabrication
    - 1. Cambering, Curving and Straightening
    - 2. Thermal Cutting
    - 3. Planing of Edges
    - 4. Welded Construction

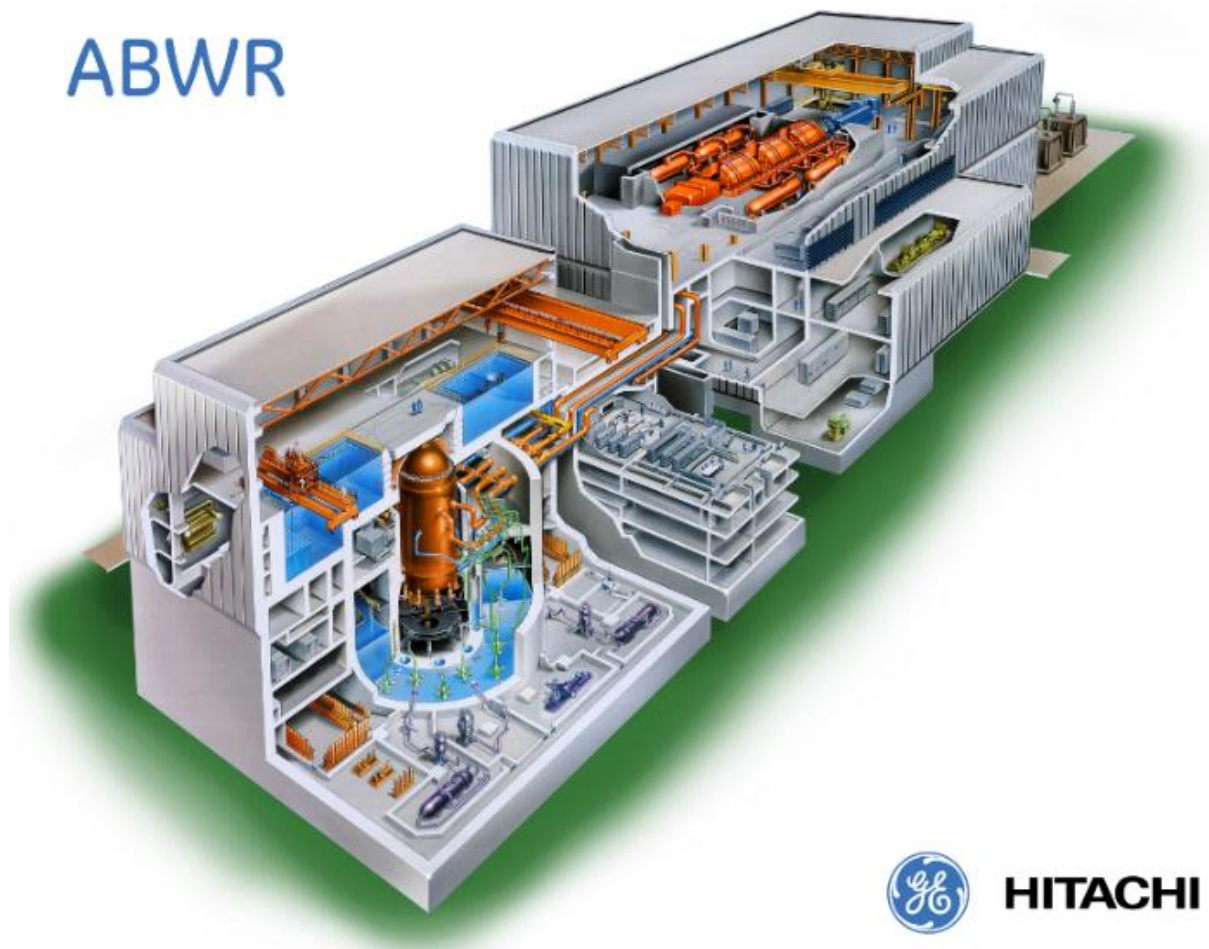
- 7. Dimensional Tolerances
- 9. Holes for Anchor Rods
- 12. Surface Condition
- 13. Bending
- 14. Commercial Grade Dedication
- 15. Identification of Steel
- NM3. Shop Painting
  - 4. Finished Surfaces
- NM4. Erection
  - 2. Stability and Connections
  - 7. Tolerances for Cranes
    - 7a. Tolerances for Cranes Column Base Lines
    - 7b. Tolerances for Cranes Runway Girdes
    - 7c. Tolerances for Cranes Rails
- NN. Quality Control and Quality Assurance
  - NN1. General Provisions
  - NN2. Fabricator and Erector Quality Assurance Program
  - NN3. Fabricator and Erector Documents
  - NN4. Inspection and Nondestructive Evaluation Personnel
  - NN5. Minimum Requirements for Inspection of Structural Steel Buildings and Structures
  - NN6. Minimum Requirements for Inspection of Composite Construction
  - NN7. Nonconforming Material and Workmanship

Z powyższego zestawienia tytułów rozdziałów i paragrafów normy ANSI/AISC N690 dotyczących wytwarzania, a w szczególności spawania, konstrukcji stalowych dla energetyki jądrowej wynika, że wymagania są podobne do tych ujętych w kodzie ASME Section III [6], ale ich zakres jest nieco węższy i mniej szczegółowy. Można zatem nawet stwierdzić, że wymagania normy ANSI/AISC N690 są bardziej zbliżone do wymagań stosowanych podczas wytwarzania konstrukcji spawania ogólnego przeznaczenia.

## 4 Konstrukcje stalowe w obiektach budowlanych elektrowni jądrowej z reaktorem ABWR

### 4.1 Krótka charakterystyka konstrukcji budowlanych ABWR

Zewnętrznie elektrownia jądrowa z reaktorem ABWR (rys. 15) wygląda dokładnie tak samo, jak z reaktorami typu PWR.



Rys. 15. Elektrownia jądrowa z reaktorem ABWR firmy Hitachi-GE [50].

W przypadku reaktora ABWR firmy GE-Hitachi Nuclear Energy / Hitachi-GE Nuclear Energy (typ BWR), obudowa bezpieczeństwa składa się ze struktury żelbetowej uzupełnionej przez wewnętrzny płaszcz stalowy - *liner* (rys. 16). Do wykonania płaszcza metalowego obudowy reaktora stosuje się stal nierdzewną i węglową. Dolna część płaszcza wykonana jest ze stali nierdzewnej z gatunku ASME

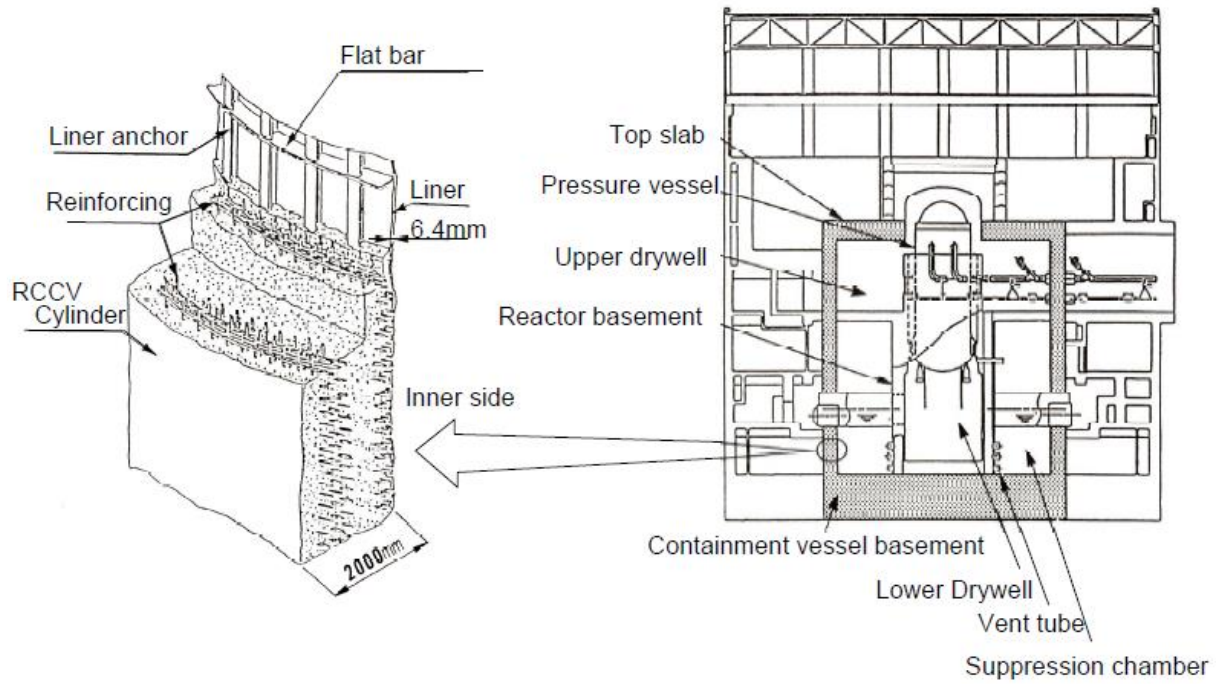
SA-240, typ 304L ze względu na jej kontakt z wodą (rys. 17). Górna część płaszczka jest wykonana ze stali węglowej ASME SA-516 Gr. 70 o grubości 6,4 mm. Kopuła (*Drywell Head*) oraz fragment obudowy ze stali węglowej stanowiący część górnego modułu (*RCCV Top Slab*) ma grubość 31,8 mm. Materiałem płyt kotwiących płaszczka (*liner anchors*) jest stal z gatunku SA-36. Interesującym szczegółem wykonawczym jest to, że około 90 % prac spawalniczych okładziny obudowy bezpieczeństwa RCCV wykonuje się z zastosowaniem metod zautomatyzowanych lub pół-automatycznych. W sposób automatyczny spawa się również wiele innych elementów reaktora ABWR.

Budowa elektrowni jądrowej z reaktorem ABWR przebiega w sposób modułowy, co oznacza, że w jednym module mogą znajdować się konstrukcje stalowe, układy mechaniczne i struktury budowlane. Główne moduły reaktora ABWR tworzą (rys. 17÷19):

- moduł centralnej maty zbrojeniowej obudowy bezpieczeństwa / moduł maty podstawy (*RCCV center mat rebar module / base mat module*): 640 ton.
- moduł okładziny obudowy bezpieczeństwa (*RCCV liner plate module*): dolny fragment 630 ton przy zamontowanych dolnych prętach zbrojeniowych i górna część 170 ton.
- dolny moduł podstawy zbiornika ciśnieniowego reaktora RPV (*Lower RPV pedestal module*): 550 ton.
- moduł górnego wyposażenia wewnętrznego zbiornika suchego obudowy bezpieczeństwa (*RCCV upper drywell internals module*): 650 ton.
- moduł złożony płyty górnej obudowy bezpieczeństwa, obejmujący pręty zbrojeniowe, okładzinę oraz wbudowane orurowanie (*RCCV top slab composite module of rebar, liner and built-in piping*): 490 ton.

W zależności od projektu oraz klasy bezpieczeństwa, poszczególne konstrukcje stalowe budynku ABWR są wykonywane w oparciu o następujące kody i normy:

- ASME Section III, Division 2 [51] – Liner, Diaphragm Floor
- ASME Section III, Division 1 MC [41] – Drywell Head, Equipment Hatch, Personnel Airlock, Suppression Chamber (S/C) Hatch
- ANSI/AISC N690 [42] – RPV Pedestal, Diaphragm Floor, Access Tunnel
- ACI 349 [5] – inne budynki związane z bezpieczeństwem jądrowym



Rys. 16. Budynek reaktora ABWR firmy GE Hitachi [52].



Rys. 17. Dolny pierścień cylindryczny płaszczu stalowego (RCCV Lower Liner Module) reaktora ABWR firmy GE Hitachi [53].



Rys. 18. Base Mat Module reaktora ABWR firmy GE Hitachi [54].



Rys. 19. Top Slab Module reaktora ABWR firmy GE Hitachi [54].

## 4.2 Wymagania wg ASME Section III oraz ANSI/AISC

### 4.2.1 ASME Section III, Division 2

Division 2 został opracowany wspólnie przez American Concrete Institute (ACI) i ASME oraz zawiera m.in. wymagania w zakresie: materiałów, projektowania, wytwarzania, budowy, badań nieniszczących, badań odbiorowych, znakowania, przygotowywania raportów itd. podczas wykonywania żelbetowej obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego z szczelnym płaszczem stalowym. Tego rodzaju obudowa składa się z:

- powłoki tworzonej przez strukturę betonową odporną na oddziaływanie ciśnienia oraz elementów powłoki,
- płaszcz metalowego (ang. *liner*),
- przepustów w płaszczu przechodzących przez powłokę betonową.

Wymagania dotyczące materiałów podstawowych oraz wytwarzania płaszcz metalowego obudowy bezpieczeństwa przedstawione są w następujących wybranych rozdziałach:

- CC-2500 Material for Liners
  - CC-2510 Permitted Material Specifications
  - CC-2520 Fracture Toughness Requirements for Materials
  - CC-2530 Examination and Repair of Liner Material
  - CC-2540 Material Identification
- CC-2600 Welding Material
  - CC-2610 Welding Material Requirements
  - CC-2620 Stud Welding Material
  - CC-2630 Identification of Welding Material
- CC-2800 Material Manufacturer's Quality System Programs
  - CC-2810 Documentation and Maintenance of Quality System Programs
- CC-4500 Fabrication of Liners
  - CC-4510 General Requirements
  - CC-4520 Forming, Fitting, and Aligning

- CC-4530 Welding Qualification
- CC-4540 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
- CC-4550 Heat Treatment
- CC-4560 Protection of Attachments
- CC-4600 Fabrication of Embedment Anchors
  - CC-4610 General Requirements
  - CC-4620 Forming, Fitting, and Aligning
  - CC-4630 Welding Qualification
  - CC-4640 Rules Governing Making, Examining, and Repairing Welds
  - CC-4650 Heat Treatment
  - CC-4660 Bolted Construction
- CC-5500 Examination of Welds
  - CC-5510 General
  - CC-5520 Required Examination of Welds
  - CC-5530 Examination Procedures
  - CC-5540 Acceptance Standards
- CC-6000 Structural Integrity Test of Concrete Containments

Jak wynika z ww. tytułów rozdziałów i podrozdziałów, opisano w nich wszystkie etapy wytwarzania płaszcza metalowego obudowy, począwszy od zalecanych materiałów podstawowych, kołków i spoiw wraz z towarzyszącymi im dokumentami kontroli, poprzez procesy wytwarzania i obróbki cieplnej (w tym kwalifikowania technologii spawalniczych), a skończywszy na badaniach nieniszczących złączy spawanych oraz próbach odbiorowych całej konstrukcji obudowy bezpieczeństwa. Nie wszystkie wymagania są opisane w pełnym zakresie, gdyż niektóre z nich zostały już sformułowane w innej sekcji lub rozdziale kodu lub normie. Wówczas w tekście znajduje się przywołanie odpowiedniego dokumentu lub jego części, np. kwalifikowanie technologii spawania należy przeprowadzić według wymagań ASME Section IX „Welding and Brazing Qualifications” z uwzględnieniem wymagań dodatkowych zawartych w rozdziałach CC-4530 i CC-4630. Niemniej wszystkie istotne wymagania oraz wymagania dodatkowe są w ww. rozdziałach wymienione, a o ich szczegółowości świadczy poniższe zestawienie zawartości rozdziału CC-4530 dotyczącego kwalifikowania technologii spawalniczych:



## **CC-4530 Welding Qualifications**

- CC-4531 General Requirements
  - CC-4531.1 Types of Processes Permitted
    - CC-4531.1.1 Capacitor Discharge Welding
    - CC-4531.1.2 Low Energy Capacitor Discharge Welding
- CC-4532 Welding Qualifications, Records, and Identifying Stamp
  - CC-4532.1 Required Qualifications
  - CC-4532.2 Maintenance and Certification of Records
    - CC-4532.2.1 Identification of Joints by Welder or Welding Operator
  - CC-4532.3 Welding Prior to Qualifications
  - CC-4532.4 Transferring Qualifications
- CC-4533 General Requirements for Welding Procedure Qualification Tests
  - CC-4533.1 Conformance to Section IX Requirements
  - CC-4533.2 Base Material to Be Employed
  - CC-4533.3 Heat Treatment of Qualification Welds for Ferritic Materials
  - CC-4533.4 Preparation of Test Coupons and Specimens
    - CC-4533.4.1 Coupons Representing the Weld Deposits
    - CC-4533.4.2 Coupons Representing the Heat Affected Zone
  - CC-4533.5 Impact Test Requirements
    - CC-4533.5.1 Impact Tests of Weld Metal
    - CC-4533.5.2 Impact Tests of Heat Affected Zone
  - CC-4533.6 Qualification Requirements for Build-Up Weld Deposits
- CC-4534 Continuing Performance Test for Stud Welding

O istotności i szczegółowości wymagań dodatkowych może świadczyć również fakt, iż opis dotyczący prób łamania udarowego (CC-4533.5 Impact Test Requirements) obejmuje prawie połowę zawartości rozdziału CC-4530, który w sumie liczy kilka stron.

#### **4.2.2 ACI 349**

Wymagania do wykonania innych niż obudowa bezpieczeństwa konstrukcji żelbetowych obiektów jądrowych opisano w ACI 349 [5] i przeanalizowano w pkt. 3.2.2 niniejszych Wytycznych.

#### **4.2.3 ANSI/AISC N690**

Wymagania normy ANSI/AISC N690 [42] dotyczą materiałów konstrukcyjnych, projektowania konstrukcji stalowych i ich stalowych elementów, jak również wytwarzania, poddano analizie w pkt. 3.2.3 niniejszych Wytycznych.

## 5 Zestawienie tabelaryczne podstawowych wymagań zawartych w poszczególnych kodach i normach

Poniżej w formie tabelarycznej przedstawiono rozdziały lub paragrafy odpowiednich sekcji kodów AFCEN i ASME oraz norm ACI 349 i ANSI/AISC N690, w których są zawarte wymagania dotyczące budowlanych konstrukcji stalowych elektrowni jądrowych, w tym konstrukcji wsporczych, kombinowanych konstrukcji modułowych, przepustów, śluz, elementów kotwiących itd. Szczegółowo wymagania opisano w pkt. 2÷4 niniejszych Wytucznych.

Lp.	Obiekt i/lub działanie (syntetyczny opis)	RCC-CW	ASME Sect. III		ANSI / AISC / ACI
<b>1</b>	<b>Szczelne części metalowe obudowy, w tym płaszcz stalowy, przepusty i śluzy</b>	<b>CCLIN</b>	<b>Division 1 – NE MC</b>	<b>Division 2</b>	<b>-</b>
1.1	Materiały i wyroby	5000	NE-2000	CC-2000	
1.1.1	Dokumenty kontroli i identyfikowalność	5100	NE-2150	CC-2540 CC-2630 CC-2740	
1.1.2	Blachy, rury i kształtowniki	5200	-	CC-2500	
1.1.3	Spoiwa	5400	NE-2140 NE-2400	CC-2600	
1.1.4	Kołki	5500		CC-2700	
1.2	Wytwarzanie	6000 7000 8000	NE-4000	CC-4500 CC-4600	
1.2.1	Wykonanie płaszcza stalowego	-	NE-4000	CC-4500	
1.2.2	Wykonanie kotw osadzanych	-	-	CC-4600	
1.3	Przygotowanie	6000	NE-4200	CC-4520	
1.4	Spawanie	7000	-	-	
1.4.1	Wymagania ogólne	7100	NE-4100	CC-4510	
1.4.2	Kwalifikowanie spawania i personelu	7400	NE-4300	CC-4530 CC-4630	
1.4.3	Spawanie produkcyjne	7500	NE-4400	-	
1.4.4	Kryteria odbioru badań NDT	7600	NE-5300	CC-5520 CC-5540	
1.4.5	Obróbka cieplna	-	NE-4600	CC-4550 CC-4650	
1.5	Łączenie mechaniczne	8000	NE-4700	CC-4660	
1.6	Obróbka powierzchniowa	10000	-	-	
1.7	Tolerancje wymiarowe	11000	-	-	

1.8	Sprawdzenie, badanie i korekta	12000	NE-5000	CC-5500	
1.8.1	Sprawdzenie przed, w trakcie i po spawaniu	12100	-	-	
1.8.2	Sprawdzenie i badanie przygrzanych kołków	12200	-	-	
1.8.3	Sprawdzenie i badanie spawania prętów żebrowanych i płyt kotwiących	12300	-	-	
1.8.4	Badanie spawania produkcyjnego	12400		-	
1.9	Spawanie naprawcze	-	NE-4450	CC-4540 CC-4640	
<b>2</b>	<b>Konstrukcje stalowe, w tym wsporcze i modułowe</b>	<b>CSTLW</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>N690</b>
2.1	Specyfikacja i dokumentacja	4000			
2.2	Materiały i wyroby	5000			NA3.
2.2.1	Dokumenty kontroli i identyfikowalność	5200			NM2/15
2.2.2	Produkty stalowe	5300			NA3./1.
2.2.3	Odlewy stalowe	5400			NA3./2.
2.2.4	Spoiwa	5500			NA3./5.
2.2.5	Łączniki mechaniczne	5600			NA3./3.
2.3	Przygotowanie i montaż, w tym magazynowanie, cięcie, kształtowanie itd.	6000			NM.
2.4	Spawanie	7000			NM2./4.
2.4.1	Wymagania ogólne	7100			
2.4.2	Plan spawania	7200			
2.4.3	Kwalifikowanie spawania i personelu	7400			
2.4.4	Przygotowanie i spawanie produkcyjne	7500			
2.4.5	Kryteria odbioru badań NDT	7600			
2.5	Łączenie mechaniczne	8000			
2.6	Montaż	9000			NM.4
2.7	Obróbka powierzchniowa	10000			NM2/12
2.8	Tolerancje wymiarowe	11000			NM2./7.
2.9	Sprawdzenie, badanie i korekta	12000			NN.
2.9.1	Spawanie	12100			
2.9.2	Prostowanie odkształceń spawalniczych	12200			
<b>3</b>	<b>System zapewnienia jakości</b>	<b>GGENP: ISO 9001 ISO19443 GS-R-3</b>	<b>NQA-1</b>	<b>NQA-1</b>	<b>N690: NQA-1 + NN. ACI 349 10CFR 50</b>

## 6 Podsumowanie

Z powyższej analizy budowlanych konstrukcji stalowych elektrowni jądrowych z reaktorem EPR firmy Framatome, AP1000 firmy Westinghouse oraz ABWR firmy Hitachi, jak również zestawienia wymagań kodów AFCEN i ASME dotyczących ich wykonania wynika, że w przypadku kodu AFCEN RCC-CW zdecydowana większość wymagań jest zbieżna z wymaganiami normy europejskiej EN 1090-2 dla wytwarzania konstrukcji co najmniej w klasie EXC3 uzupełnionych lub zmodyfikowanych z uwzględnieniem specyficznych wymagań jądrowych. Skutkuje to tym, że praktycznie wszystkie elementy składowe procesu wytwarzania obudowy metalicznej, w tym materiały podstawowe i spoiwa, kwalifikowanie technologii spawalniczych, badania NDT oraz kwalifikacje personelu są oparte o wymagania norm europejskich typu EN lub EN ISO.

W przypadku kodu ASME, podczas wykonywania konstrukcji stalowych tj. obudowa reaktora mają zastosowanie wymagania zawarte w odpowiednich rozdziałach sekcji ASME Section III, Division 1 – Subsection NE (w przypadku płaszcza metalowego) lub ASME Section III, Division 2 (w przypadku obudowy żelbetowej z szczelnym płaszczem metalowym), a przy wykonywaniu stalowych konstrukcji wsporczych, modułowych, żelbetowych oraz innych, normy ACI 349 i ANSI/AISC N690, jak również przywołane w nich normy amerykańskie typu ASTM, AWS, ANSI/AISC, ACI i inn.

Należy podkreślić, że niezależnie od używanego kodu, do wykonania budowlanych elementów metalowych elektrowni jądrowych w większości przypadków są zalecane powszechnie znane i szeroko stosowane konstrukcyjne normalizowane stale węglowe lub stale dla urządzeń ciśnieniowych w postaci blach, rur, prętów, kołków i kształtowników, z których przetwarzaniem (cięciem, gięciem, spawaniem) krajowe firmy z branży metalowej powinny bez trudu sobie poradzić. Oprócz spełnienia wymagań kodów i norm, firmy krajowe powinny posiadać: certyfikowany system zapewnienia jakości uwzględniający specyficzne wymagania jądrowe, sprawdzone i uznane technologie produkcyjne (przede wszystkim spawalnicze), personel o potwierdzonych kwalifikacjach, co umożliwi podjęcie działań mających na celu znalezienie się na liście kwalifikowanych dostawców wyrobów lub usług.

## 7 Piśmiennictwo

1. Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040). Projekt w. 1.2 - 23.11.2018 r.
2. The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME), Codes for Nuclear Power Generation Facilities - Rules on Concrete Containment Vessels for Nuclear Power Plants, JSME S NE1-2011, in Japanese.
3. Korea Electric Power Industry Code (KEPIC), Area – SN (Nuclear Structures), Category SNB – Concrete Containment, Category SNC – Concrete Structures.
4. CSA N287.1 to N287.7, Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants.
5. ACI 349 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary.
6. ASME B&PV, Section III „Rules for construction of nuclear facility components”. American Society of Mechanical Engineers, New York.
7. AFCEN RCC-CW „Rules for Design and Construction of PWR Nuclear Civil Works”.
8. The Path of Greatest Certainty. Areva, 2009.
9. Wiegner Z. OL3 EPR progress by photos 2005-2010. Konferencja naukowo-techniczna Mądralin-2011, 13-14.01.2011.
10. Moucquot-Laiho V. Olkilouto 3 Project. AREVA Suppliers` Day, Warszawa, 4.10.2011.
11. Niagaj J. Wytyczne wspomagające działania przedsiębiorstw krajowych w budowie elektrowni jądrowych. Konstrukcje stalowe obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego. W/ME/DEJ/IS/02/15, Wydanie 1, Instytut Spawalnictwa, 2015.
12. PN-EN 10080:2007 „Stal do zbrojenia betonu – Spawalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne”.
13. EN 10020:2003 „Definicja i klasyfikacja gatunków stali”.
14. PN-EN ISO 15630-1:2019-04 „Stal do zbrojenia i sprężania betonu – Metody badań – Część 1: Pręty, walcówka i drut do zbrojenia betonu”.
15. NF A 35-015 Juillet 2019 „Aciers pour béton armé – Aciers soudables lisses – Barres et couronnes – Aciers pour béton armé- Aciers soudables lisses- Barres et couronnes”.
16. PN-EN 10204:2006 „Wyroby metalowe – Rodzaje dokumentów kontroli”.
17. PN-EN 13670:2011 „Wykonywanie konstrukcji z betonu”.

18. PN-EN ISO 17660-2:2008 „Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 2: Złącza spawane/zgrzewane nienośne”.
19. PN-EN ISO 17660-1:2008 „Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 1: Złącza spawane/zgrzewane nośne”.
20. PN-EN ISO 6520-1:2009 „Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie”.
21. PN-EN 1090-2:2018-09 „Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych”.
22. PN-EN 10025-2:2019-11 „Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych”.
23. PN-EN 1993-1-10:2007 „Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową”.
24. PN-EN 10088-1:2014-12 „Stale odporne na korozję – Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję”.
25. PN-EN 10164:2018-11 „Wyroby stalowe o podwyższonych własnościach plastycznych w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu – Warunki techniczne dostawy”.
26. PN-EN 10160:2001 „Badanie ultradźwiękowe wyrobów stalowych płaskich grubości równej lub większej niż 6 mm (metoda echa)”.
27. PN-EN ISO 15614-1:2017-08 „Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu”.
28. PN-EN ISO 14555:2017-08 „Zgrzewanie – Zgrzewanie łukowe kołków metalowych”.
29. PN-EN ISO 5817:2014-05 „Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych”.
30. PN-EN 641:2000 „Rury ciśnieniowe żelbetowe z płaszczem blaszanym oraz złącza i kształtki”.
31. [http://www.ap1000.westinghousenuclear.com/ap1000\\_glance.html](http://www.ap1000.westinghousenuclear.com/ap1000_glance.html)
32. Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 19 - Tier 2 Chapter 3 - Design of Structures, Components, Equip. & Systems - 3.8 Design of Category I Structures.

33. Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 19 - Tier 2 Chapter 3 - Design of Structures, Components, Equip. & Systems - Appendix 3H Auxiliary and Shield Building Critical Sections.
34. <https://www.flickr.com/photos/scegnews/8635421750>
35. <https://www.flickr.com/photos/scegnews/8968981331>
36. South Carolina Electric & Gas
37. Traxler R. Vogtle and Summer Nuclear Projects, CB&I, April 2015.
38. Georgia Power, April 2016.
39. Vogtle Units 3&4 ITAAC Lessons Learned Project Update. 16 February 2012.
40. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Landmark-module-installation-at-VC-Summer-2407157.html>
41. ASME B&PVC, Section III, Division 1 – Subsection NE „Class MC Components”.
42. ANSI/AISC N690 „Specification for Safety-Related Steel Structures for Nuclear Facilities”.
43. ASME B&PVC, Section II „Materials”.
44. ASME B&PVC, Section IX „Welding and Brazing Qualifications”.
45. 10CFR50 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities.
46. NQA-1 „Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications”.
47. ANSI/AWS D1. 4 „Structural Welding Code – Reinforcing Steel”.
48. AWS D1.1 „Structural Welding Code – Steel”.
49. AWS D1.6 „Structural Welding Code – Stainless Steel”.
50. <http://www.ecomagination.com/portfolio/ge-hitachi-advanced-reactor-technologies-abwresbwr>
51. ASME B&PVC, Section III, Division 2 „Code for Concrete Containments”.
52. Design Features, Construction and Operating Experiences of ABWR. Improvement of Safety, Economics and Reliability. Hitachi Ltd., 14 March 2007.
53. <http://www.hitachi-hgne.co.jp/en/business/abwr/domestic/simane3/index.html>
54. [http://www.hitachi-hgne.co.jp/en/business/plant\\_construction/time/module/index.html](http://www.hitachi-hgne.co.jp/en/business/plant_construction/time/module/index.html)

-----