

**Blok Budowa elektrowni jądrowych został przygotowany pod honorowym patronatem Wiceprezesa Rady Ministrów, Ministra Gospodarki Janusza Piechocińskiego**

dr inż. Tomasz Piotrowski\*  
dr Maciej Maślakowski\*  
mgr Rafał Kuszyk\*

## Budowa elektrowni jądrowej w Polsce w świetle wymagań ETC-C i innych standardów technicznych na świecie

### *Construction of a nuclear power plant in Poland according to ETC-C and other technical guidelines in the world*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wytyczne do budowy elektrowni jądrowej w Polsce w świetle kodu ETC-C oraz innych standardów technicznych na świecie. Ich zaadaptowanie wydaje się warunkiem niezbędnym do osiągnięcia zamierzonego celu. ETC-C jest dokumentem przeznaczonym do dobrowolnego stosowania, który zawiera dokładne i praktyczne zasady projektowania, budowy i badania konstrukcji inżynierskich budynków i obiektów inżynierskich, których awaria może mieć wpływ na bezpieczeństwo elektrowni jądrowej.

**Słowa kluczowe:** budowa, elektrownia jądrowa, wymagania.

**Abstract.** The paper presents guidelines for the construction of a nuclear power plant in Poland according to ETC-C and other technical standards in the world. Implementation of such documents during the construction of a nuclear power plant in Poland seems to be a necessary condition to achieve the intended purpose. ETC-C is a document for voluntary application that contains detailed and practical principles of design, construction and testing of engineering structures of buildings and civil engineering structures, the failure of which may influence on the safety of a nuclear power plant.

**Keywords:** construction, nuclear power plant, industry participation.

**W** Prawie atomowym [1] znajduje się zapis, że *obiekt jądrowy jest budowany w sposób zapewniający bezpieczeństwo jądrowe oraz ochronę radiologiczną pracowników i ludności*. Podstawowymi wymaganiami stawianymi elektrowni jądrowej są zatem **bezpieczeństwo jądrowe** – osiągnięcie odpowiednich warunków eksploatacji, zapobieganie awariom i łagodzenie ich skutków, czego wynikiem jest ochrona pracowników i ludności przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego z obiektów jądrowych oraz **ochrona radiologiczna** – zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom – ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne (ALARA – As Low As Reasonably Achievable), przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych. Z bezpieczeństwem wiąże się także pojęcie **ochrony fizycznej**, czyli całości kształt przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych, mających na celu skuteczne zabezpieczenie materiałów jądrowych i obiektów jądrowych przed aktami terroru,

dywersji, sabotażu i kradzieży. Prawo atomowe definiuje również **program zapewnienia jakości** jako *system działań gwarantujący spełnienie określonych wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w zależności od prowadzonej działalności, a w przypadku działalności z materiałami jądrowymi lub obiektami jądrowymi także wymagań ochrony fizycznej*. Istotnym zapisem jest także Art. 36b: *W projekcie i procesie budowy obiektu jądrowego nie stosuje się rozwiązań i technologii, które nie zostały sprawdzone w praktyce w obiektach jądrowych lub za pomocą prób, badań oraz analiz*. W związku z tym, że nie występują polskie wytyczne, normy, czy inne dokumenty wskazujące rozwiązania i technologie, które mogą być stosowane w obiektach jądrowych, konieczne jest wdrożenie odpowiednich wymagań sformułowanych w Europie i na świecie.

### **ETC-C – EPR Technical Code for Civils Works**

ETC-C [2] jest jedną z siedmiu publikacji AFCEN (Association Française pour les règles de Conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des Chaudières Electro Nucléaires), które mają zastosowanie w projektowaniu, budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych.

ETC-C to techniczny kod robót budowlanych dotyczący budynków i obiektów inżynierskich klasy bezpieczeństwa C1, których awaria może mieć wpływ na bezpieczeństwo elektrowni jądrowej. Dokument ten zawiera zasady projektowania, wykonywania (budowy) i kontroli (odbioru). Jest on podzielony na cztery części:

0. Wstęp – zawiera opis struktury i cel dokumentu ETC-C;

1. Projekt – zawiera opis kombinacji obciążeń, które powinny być uwzględnione przy projektowaniu oraz zasady/kryteria potrzebne przy projektowaniu konstrukcji klasy C1, dotyczące betonu, części metalowych zapewniających szczelność obudowy, basenu i zbiorników liniowych, konstrukcji stalowych, zakotwień i zagadnień geotechnicznych;

2. Budowa – zawiera wymagania wykonawcze dotyczące zagadnień z części 1 – Projekt;

3. Badania szczelności i odporności oraz monitoring wewnętrznej obudowy bezpieczeństwa – zawiera szczegóły dotyczące badania szczelności stalowego płaszcza, badania odporności konstrukcji żelbetowej na działanie wysokiego ciśnienia oraz jej monitoring podczas budowy i eksploatacji.

ETC-C został opracowany na podstawie norm europejskich w większości mających

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Łądowej

również status Polskich Norm PN-EN, w tym dotyczących konstrukcji (Eurokody) oraz francuskich szczególnych przepisów bezpieczeństwa budynków. Część 2 dotyczącą etapu budowy podzielono na 13 rozdziałów:

- 2.1. Roboty ziemne i zabiegi glebowe
- 2.2. Beton
- 2.3. Wykończenie powierzchni i deskowanie
- 2.4. Zbrojenie do betonu zbrojonego
- 2.5. System sprężania
- 2.6. Prefabrykacja elementów betonowych i klatek zbrojących

2.7. Uszczelniające elementy metalowe za-instalowane w obudowach

2.8. Elementy metalowe wbudowane w beton

2.9. Metalowa obudowa szczelnych kana-łów i basenów

2.10. Konstrukcje stalowe

2.11. Rurociągi bezpieczeństwa zagłębio-ne w gruncie

2.12. Połączenia uszczelniające

2.13. Topografia, tolerancje i monitoring

W tabeli przedstawiono wstępną anali-zę listy norm z wybranych rozdziałów

(dotyczące robót ziemnych oraz zbroje-nia do betonu), na które powołano się w ETC-C:2010 oraz ich polskie odpowied-niki. Analogiczną listę norm dotyczących betonu zamieszczono w publikacji [3].

## Działania na rzecz europeizacji kodu ETC-C

Historycznie, standardy dotyczące tech-nologii jądrowych na świecie są opraco-wywane na poziomie narodowym (ASME w USA, AFCEN we Francji, KTA w Niem-

### Lista norm powołanych w sekcji 2.1 i 2.4 ETC-C:2010 i ich odpowiedniki ustanowione w Polsce

| Norma w ETC-C   | Norma polska (odpowiednik)  | Tytuł   |
|---|---|---|
| Sekcja 2.1 Roboty ziemne i zabiegi glebowe (Earthworks and soil treatments) |   |   |
| NFP94-110   | PN-EN ISO 22476-4:2013-05E  | Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 4: Badanie presjometrem Menarda  |
| NFP94-112   | prEN ISO 22476-9  | Soil investigation and testing – Field vane test  |
| NFP94-113   | PN-EN ISO 22476-1:2013-03E  | Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 1: Badanie sondą statyczną ze stożkiem elektrycznym lub stożkiem piezoelektrycznym   |
| EN ISO 22476-2  | PN-EN ISO 22476-2:2005E   | Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 2: Sondowanie dynamiczne   |
| EN ISO 22476-3  | PN-EN ISO 22476-3:2005E   | Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 3: Sonda cylindryczna SPT  |
| NFP94-119   | PN-EN ISO 22476-1:2013-03E  | Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 1: Badanie sondą statyczną ze stożkiem elektrycznym lub stożkiem piezoelektrycznym   |
| XP P 94-120   | brak  | Soil: investigation and testing. Phicometer shearing test   |
| NF P 94-157-1   | brak  | Soils: investigation and testing. In situ pore pressure measurement Part 1: piezometric tube  |
| NFP 94-131  | brak  | Soil: investigation and testing. Lugeon water test  |
| NFP 94-132  | brak  | Soil: investigation and testing – Lefranc test  |
| NFP 94 117-1  | brak  | Soil: investigation and testing – part 1 – Plate loading test   |
| XP CEN ISO/TS 17892-1 do 12   | PKN CEN ISO/TS 17892-1 do 12: 2009P                                 | Badania geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów<br>Część 1: Oznaczanie wilgotności<br>Część 2: Oznaczanie gęstości gruntów drobnoziarnistych<br>Część 3: Oznaczanie gęstości właściwej – metoda piknometru<br>Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego<br>Część 5: Badanie edometryczne gruntów przy przyroście obciążenia<br>Część 6: Badanie penetrometrem stożkowym<br>Część 7: Badanie ściśliwości gruntów drobnoziarnistych w jednoosiowym stanie naprężeń<br>Część 8: Badanie w aparacie trójosiowego ściskania bez odpływu wody gruntów nieskonsolidowanych<br>Część 9: Badanie w aparacie trójosiowego ściskania gruntów nasyconych wodą<br>Część 10: Badanie metodą bezpośredniego ścinania<br>Część 11: Oznaczanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym<br>Część 12: Oznaczanie granic Atterberga |
| Sekcja 2.4 Zbrojenie do betonu (Reinforcement for reinforced concrete)      |   |   |
| EN 10080  | PN-EN 10080:2007P   | Stal do zbrojenia betonu – Spajalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne   |
| EN 10020  | PN-EN 10020:2003P   | Definition and classification of grades of steel  |
| NFA 35015   | brak  | Weldable smooth steel – bars and coils  |
| NF EN 10204   | PN-EN 10204:2006P   | Wyroby metalowe – Rodzaje dokumentów kontroli   |
| EN 13670  | PN-EN 13670:2011P   | Wykonywanie konstrukcji z betonu  |
| ISO 17660   | PN-EN ISO 17660-1:<br>PN-EN ISO 17660-2:2008P                       | Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej –<br>Część 1: Złącza spawane/zgrzewane nośne<br>Część 2: Złącza spawane/zgrzewane nienośne  |
| NF A 35-027   | brak  | Steel product for reinforced concrete – fabricated reinforcements   |
| EN ISO 15630  | PN-EN ISO 15630-1:<br>PN-EN ISO 15630-2:<br>PN-EN ISO 15630-3:2011E | Stal do zbrojenia i sprężania betonu – Metody badań –<br>Część 1: Prety, walcówka i drut do zbrojenia betonu<br>Część 2: Zgrzewane siatki do zbrojenia<br>Część 3: Stal do sprężania  |
| NF A 35020 parts 1-2  | brak  | Steel products – end coupling or anchoring devices for high adherence steel for concrete reinforcement  |
| EN ISO 6520-1   | PN-EN ISO 6520-1:2009P  | Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie   |
| ISO 15835   | brak  | Steels for the reinforcement of concrete – reinforcement couplers fir mechanical splices of bars  |

czek, NIKET w Rosji, JSME w Japonii itd.). Chiny i Korea uruchomiły ostatnio własne procesy kodyfikacyjne, których celem jest lepsza ochrona narodowego interesu przemysłowego. Obecnie jedynie ASME i AFCEN są standardami, które funkcjonują w przestrzeni międzynarodowej. Tendencje te wskazują, że nie ma zapotrzebowania, by w ramach Komitetu Technicznego ISO/TC 85 (*Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection*) dokonać standaryzacji obszarów, które pokrywają już istniejące kody narodowe, ponieważ państwa dominujące nie znajdują w tym swojego interesu. W związku z tym działalność utworzonej w ramach ISO/TC 85 grupy roboczej (Working Group), która miała zdefiniować zasadnicze wymagania dotyczące reaktorów jądrowych GEN IV, pokrywa jedynie mały obszar wszystkich zagadnień, a budownictwo nie dotyka wcale. W grudniu 2013 r. AFNOR (Association Française de Normalisation – Francuskie Stowarzyszenie Normalizacyjne – odpowiednik PKN w Polsce), na podstawie doświadczenia organizacji Workshop CEN/WS 64 na temat *Zasad projektowania i instalacji urządzeń mechanicznych innowacyjnych instalacji jądrowych*, zdecydował się natomiast wystąpić do Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN z inicjatywą organizacji Workshop CEN/WS 64 Phase 2 [4], którego głównym celem będzie europeizacja kodów AFCEN dotyczących urządzeń mechanicznych i inżynierii lądowej przy instalacji elektrowni jądrowych GEN II, III i IV. Celami szczegółowymi Workshop CEN/WS 64 Phase 2 będą m.in.:

- rekomendacja średnio- i długoterminowych kierunków rozwoju tych kodów;
- identyfikacja potrzeb R&D związanych z rekomendacjami;
- stworzenie bezpośrednich lub pośrednich odniesień do norm krajowych i zaproponowanie ich zastąpienia przez normy międzynarodowe, a w przypadku braku norm opowiadanie się za koniecznością ich opracowania.

Rezultatem prac Workshop CEN/WS 64 Phase 2 ma być tzw. CEN Workshop Agreement (CWA). Jest to dokument, który nie ma wprawdzie statusu normy europejskiej i nie wnosi obligatoryjności do stosowania na poziomie krajowym, ale może stanowić sztywne regulacje w relacji inwestor-wykonawca. Ważne jest zatem, by przedstawiciele polskich firm i instytucji znaleźli się wśród opracowujących ten dokument, ponieważ w przeciwnym

wypadku inwestor pierwszej polskiej elektrowni jądrowej zostanie postawiony przed faktem dokonanym i będzie zobowiązany stosować regulacje, na opracowanie których nie miał żadnego wpływu, a które w sposób oczywisty będą chroniły interesy narodowe największych graczy na tym rynku, a Polska z pewnością do nich nie należy.

## Normy ACI i ASTM – działalność NESCC

W Stanach Zjednoczonych w dziedzinie instalacji jądrowych funkcjonują normy ACI i ASTM. Jednym z najistotniejszych dokumentów dotyczących budownictwa jest ACI 349-06 *Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures & Commentary*, którego format bazuje na podstawowej normie betonowej ACI 318-05 *Building Code Requirements for Structural Concrete*. Wśród norm ASTM warto wyróżnić: ASTM C637-09 *Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete* oraz ASTM C638-09 *Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete*.

W 2009 r. American National Standards Institute (ANSI) oraz National Institute for Standards and Technology (NIST) utworzyły Nuclear Energy Standards Coordination Collaborative (NESCC) [5], którego celem jest ułatwienie i koordynacja terminowej identyfikacji, ewolucji i przeglądu standardów projektowania, eksploatacji, rozwoju, wdrażania i licencjonowania elektrowni jądrowych na terenie USA. Efektem prac tego gremium są opracowania (tzw. Final Report) zawierające opis stanu obecnego i zalecenia dotyczące przyszłego rozwoju, obejmujące następujące obszary:

- starzenie się przewodów elektrycznych, kody monitorowania stanu i standardy;
- kody i standardy dotyczące napraw elektrowni jądrowych;
- kody i standardy dotyczące rur polimerowych w elektrowniach jądrowych;
- kody i standardy dotyczące betonu w elektrowniach jądrowych.

## Podsumowanie

Polska stoi przed wyborem dostawcy technologii jądrowej do pierwszej elektrowni [6, 7]. O tym, czy zostanie wybrana technologia amerykańska, francuska, japońska, rosyjska, powinno decydować także to, w jakim stopniu jest ona dostosowana do wdrożenia w warunkach polskich.

Każda technologia jest zgodna ze szczegółowymi normami opracowanymi na poziomie narodowym. Istotne jest to, czy normy te można w łatwy sposób przenieść na grunt krajowy. Niewątpliwie przewagę mają kody AFCEN, w tym ETC-C, który bazuje głównie na praktyce francuskiej, w dużym stopniu ukonstytuowanej w normach europejskich. Należy także zauważyć, że dokumenty amerykańskie są bardziej szczegółowe i obejmują dużo większy obszar zagadnień dotyczących inżynierii lądowej związanych z budową elektrowni jądrowych. Z jednej strony większa szczegółowość wytycznych sprzyja zapewnieniu odpowiedniej jakości prac. Z drugiej jednak, może to powodować ograniczenia, które sprawią, że polski przemysł budowlany niedostosowany do ściśle zdefiniowanych wymagań będzie niekonkurencyjny wobec firm zagranicznych. Jednym z zadań ministra właściwego ds. gospodarki opisanym w PPEJ jest wspieranie udziału polskiego przemysłu w realizacji zadań na rzecz energetyki jądrowej, w tym przez opracowanie standardów jakościowych wymaganych do włączenia polskich przedsiębiorstw do łańcucha zamówień. Wydaje się, że konieczna jest, inspirowana przez Ministerstwo Gospodarki, wspólna inicjatywa instytucji związanych z normalizacją w Polsce (np. PKN, UDT, PCA itp.), która sprawi, że będziemy dobrze przygotowani do budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

*Artykuł powstał w ramach projektu nr LI-DER/033/639/L-4/12/NCBR/2013 pt. NGS-Concrete Nowej Generacji beton osłony przed promieniowaniem jonizującym, w ramach IV edycji programu Lider realizowanego przez NCBiR oraz grantu dziekańskiego WIL PW zrealizowanego w 2013 r.*

## Literatura

- [1] Ustawa z 29 listopada 2000 r., Prawo atomowe, Dz. U. 2012 nr 0 poz. 264.
- [2] ETC-C EPR Technical Code for Civil Works, Design and construction rules for nuclear power generating stations, AFCEN 2012, s. 405.
- [3] Piotrowski T., Wymagania dotyczące betonu w elektrowni jądrowej typu EPR wg ETC-C a normalizacja w Polsce, *Materiały Budowlane*, 5 (489) 2013, 35 – 38.
- [4] <http://www.cen.eu/work/areas/energy/nuclear/Pages/WS-64.aspx>.
- [5] <http://www.ansi.org>.
- [6] Kowalski R., Cwyl M., Piotrowski T., Administracyjne aspekty procesu przygotowania budowy elektrowni jądrowej, *Materiały Budowlane*, 5 (489) 2013, 30-34;
- [7] Program polskiej energetyki jądrowej, wersja z 28.01.2014 r., przyjęta przez Radę Ministrów, <http://bip.mg.gov.pl/node/16134>.