

prof. dr hab. Inż. Michał A. Glinicki

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

Wyzwania materiałowe i trwałość betonu w obiektach wyspy jądrowej w elektrowni z reaktorem generacji III+

Material Challenges and Concrete Durability in Nuclear Island Structures of Generation III+ Nuclear Power Plants

Słowa kluczowe: Beton osłonowy, projektowanie, trwałość

Keywords: Shielding concrete, design, durability

Streszczenie:

Reaktory energetyczne działają na świecie od ponad 70 lat. W tym okresie konstrukcje reaktorów, powiązane z nimi systemy bezpieczeństwa oraz konstrukcje budowlane przeszły znaczącą ewolucję. Bloki energetyczne z reaktorami generacji III+, wprowadzone do użytkowania w ostatniej dekadzie, stanowią najbardziej zaawansowane wersje elektrowni z rozwiniętymi pasywnymi systemami bezpieczeństwa. Betonowe konstrukcje nośne i osłonowe stanowią istotne elementy systemu bezpieczeństwa: stanowiąc osłonę biologiczną umożliwiają bezpieczną pracę personelu elektrowni i zabezpieczają przed skażeniem środowiska. Jednocześnie stanowią istotne, systemowe zabezpieczenie przed skutkami potencjalnej awarii i ograniczają skutki hipotetycznych ciężkich awarii. Reaktory projektowane na 60 lat eksploatacji (z możliwością przedłużenia do 80 lat) cechują się znacznie mniejszym prawdopodobieństwem wystąpienia poważnej awarii w porównaniu do starszych konstrukcji.

W referacie omówiono specyfikę betonu wykorzystywanego w konstrukcjach wyspy jądrowej, odnosząc się do aktualnych planów wdrożenia technologii amerykańskiej AP1000 w Polsce. Określeniem 'wyspy jądrowej' nazywa się obiekty o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa funkcjonowania elektrowni, posadowione na ogół na wspólnej płycie fundamentowej. Beton w obiektach musi sprostać wymaganiom wytrzymałościowym oraz pełnić rolę bariery ochronnej przed promieniowaniem w złożonym środowisku oddziaływań termicznych, mechanicznych i wilgotnościowych. Konstrukcje obiektów projektuje się zgodnie z wymaganiami odporności na wstrząsy sejsmiczne i incydentalne obciążenia uderzeniowe.

Na podstawie licencyjnych dokumentów AP1000 [1] przeanalizowano zgodność rygorystycznych wymogów technicznych z lokalnie dostępnymi surowcami i normami. Omówiono oddziaływania środowiskowe na beton w trybie normalnej pracy reaktora, podczas przeładunku paliwa, w stanach przejściowych (włączenie/wyłączenie), jak i w trybie awaryjnym. Szczególną uwagę poświęcono zjawiskom degradacyjnym i uszkodzeniom prowokowanym radiacyjnie, analizując ich przebieg w zależności od parametrów środowiskowych i właściwości składników betonu. Przegląd wskazuje na możliwe trudności związane z doбором miejscowych kruszyw i spoiw oraz projektowaniem mieszanek betonowych gwarantujących wieloletnią trwałość konstrukcji. Krajowe badania trwałości betonu narażonego na długotrwałe oddziaływanie promieniowania gamma w kontrolowanych warunkach środowiskowych wykazały przyspieszenie przebiegu karbonatyzacji, wzrost wielkości kryształów kalcytu i zmianę ich właściwości mechanicznych [2]. Zaobserwowano symptomy utraty stabilności warstwy pasywnej na stali zbrojeniowej w betonie. Neutronowa analiza aktywacyjna wykazała obecność izotopów promieniotwórczych, zwłaszcza długożyciowych Co-60, Eu-152 i Cs-134, w krajowych cementach portlandzkich i kruszywach mineralnych. Z uwagi na istotny wpływ jednorodności betonu na osłonność w polu promieniowania jonizującego opracowano nowe narzędzia eksperymentalno-numeryczne do cyfrowej rekonstrukcji mikrostruktury i do przewidywania pola temperatury w twardniejącym betonie masywnym. Wyniki analiz i nowe narzędzia badawcze mogą być użyteczne do selekcji składników i optymalizacji składu betonu w nowych obiektach energetyki jądrowej.

Bibliografia

1. <https://adams-search.nrc.gov/home>
2. M.A. Glinicki, Wpływ składników betonu na jego podatność na uszkodzenia radiacyjne, *Cement Wapno Beton*, 30(4) (2025), 264-283

Abstract:

Nuclear power reactors have been operating in the world for over 70 years. During this period, reactor designs, associated safety systems and civil engineering infrastructure have undergone significant technological evolution. Generation III+ reactor units, commissioned during the last decade, represent the most advanced nuclear power plant designs incorporating enhanced passive safety systems. Structural and shielding concrete components constitute essential elements of the safety system: they provide biological shielding enabling safe operation for plant personnel and protect the environment against radioactive contamination. Simultaneously, they serve as a critical systemic barrier mitigating the consequences of potential incidents and limiting the effects of hypothetical severe accidents. Reactors designed for 60 years of operation (with the possibility of extending to 80 years) are characterized by a much lower probability of severe failure compared with earlier reactor generations.

The paper discusses the specificity of concrete used in the structures of the nuclear island, referring to the current plans for the implementation of the American AP1000 technology in Poland. The term 'nuclear island' refers to facilities of key importance for the safety of the operation of the power plant, usually located on a common foundation slab. Concrete used in these structures must satisfy stringent mechanical performance requirements while simultaneously functioning as a radiation shielding barrier under complex thermal, mechanical, and moisture-related environmental conditions. Structural components are designed in accordance with seismic resistance requirements and accidental impact loading criteria.

Based on the AP1000 license documents [1], the compliance of stringent technical requirements with locally available raw materials and standards was analysed. Environmental impacts on concrete in the mode of normal reactor operation, during fuel handling, in transient states (on/off), as well as in emergency mode are discussed. Particular attention was devoted to degradation phenomena and radiation-provoked damage, analysing their course depending on environmental parameters and properties of concrete components. The review indicates potential challenges associated with the selection of locally available aggregates and binders, as well as with the design of concrete mixtures ensuring long-term structural durability. National studies of the durability of concrete exposed to long-term gamma radiation under controlled environmental conditions have shown an acceleration of the carbonation process, an increase in the size of calcite crystals and a change in their mechanical properties [2]. Symptoms of loss of stability of the passive layer on reinforcing steel in concrete have been observed. Neutron activation analysis showed the presence of radioactive isotopes, especially long-lived Co-60, Eu-152 and Cs-134, in domestic Portland cements and mineral aggregates. Considering the significant influence of concrete homogeneity on shielding effectiveness in ionizing radiation fields, new experimental–numerical tools were developed for digital reconstruction of concrete microstructure and prediction of temperature fields in massive hardening concrete elements. The obtained results and newly developed research tools may prove useful for material selection and concrete mix optimization in future nuclear power engineering facilities.

Bibliography

3. <https://adams-search.nrc.gov/home>
4. M.A. Glinicki, Influence of Concrete Constituents on Susceptibility to Radiation Damage, *Cement Wapno Beton*, 30(4) (2025), 264-283

XII KONFERENCJA NAUKOWA
ENERGIA I ŚRODOWISKO
W TECHNOLOGIACH PRZEMYSŁOWYCH

STRESZCZENIA REFERATÓW



20-22.05.2026 KRYNICA-ZDRÓJ