

Ocena jakości betonu w osłonie reaktora po 35 latach eksploatacji

Aneta Antolik, Daria Józwiak Niedźwiedzka, Mariusz Dąbrowski, Michał A. Glinicki

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

Wprowadzenie

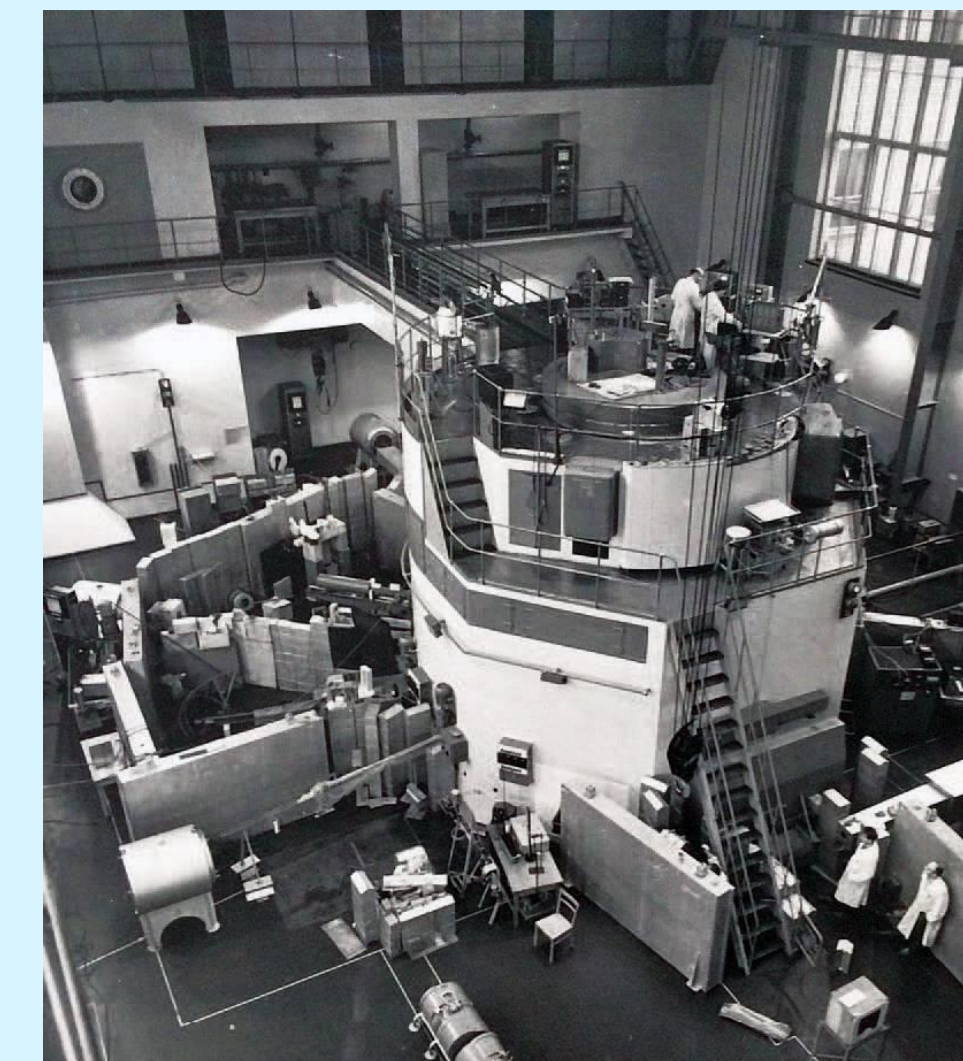
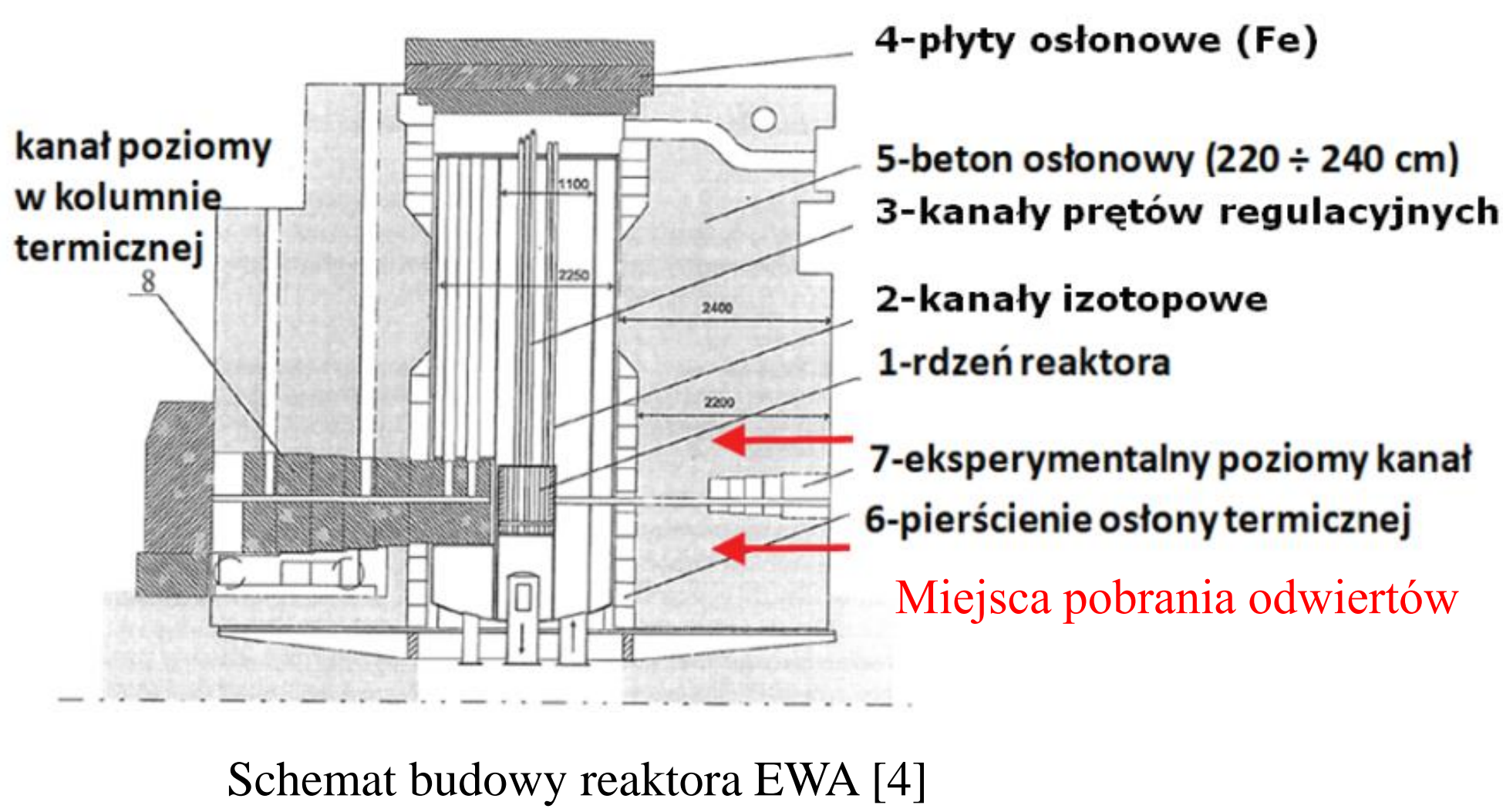
Beton osłonowy w budowie reaktorów jądrowych poddawany jest długotrwałym, wysokim dawkom promieniowania. Mogą one powodować duże naprężenia termiczne oraz uszkodzenia mikrostruktury, które mogą wywołać zmiany właściwości fizycznych materiału. Przeprowadzenie szczegółowych badań betonu w obudowie reaktora wyłączzonego już z użytku, może pozwolić na dokładniejsze poznanie szkodliwości wpływu napromieniowania na właściwości betonu [1][2].

Przedmiotem badań była betonowa obudowa reaktora badawczego EWA, znajdującego się w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku-Świerku. Reaktor, który funkcjonował od 1958 roku, podlegał procesom starzenia oraz jednocześnie napromieniowaniu.

Materiały i metody

Zbadania właściwości fizycznych oraz mikrostruktury betonu w reaktorze EWA podstawie próbek odwiertów:

- wytrzymałości na ściskanie
- analiza składu chemicznego i fazowego (analiza termiczna, XRD, XRF)
- wyznaczenie gęstości objętościowej
- obserwacje mikroskopowe na cienkich szlifach w świetle przechodzącym
- obserwacje mikroskopowe za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego



Reaktor EWA [3]

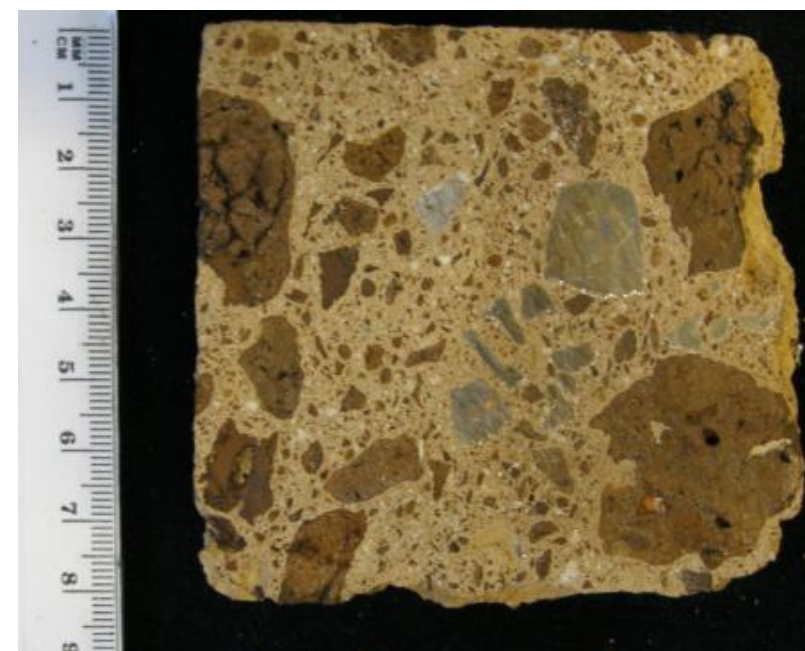
Reaktor EWA

- Akronim od: eksperymentalny, wodny, atomowy
- Typ WWR-S, wyprodukowany w ZSSR
- Działał w latach 1958-1995 w NCBJ w Świerku
- Paliwo usunięte w 2002 roku
- Generowana moc cieplna 2-10 MWt

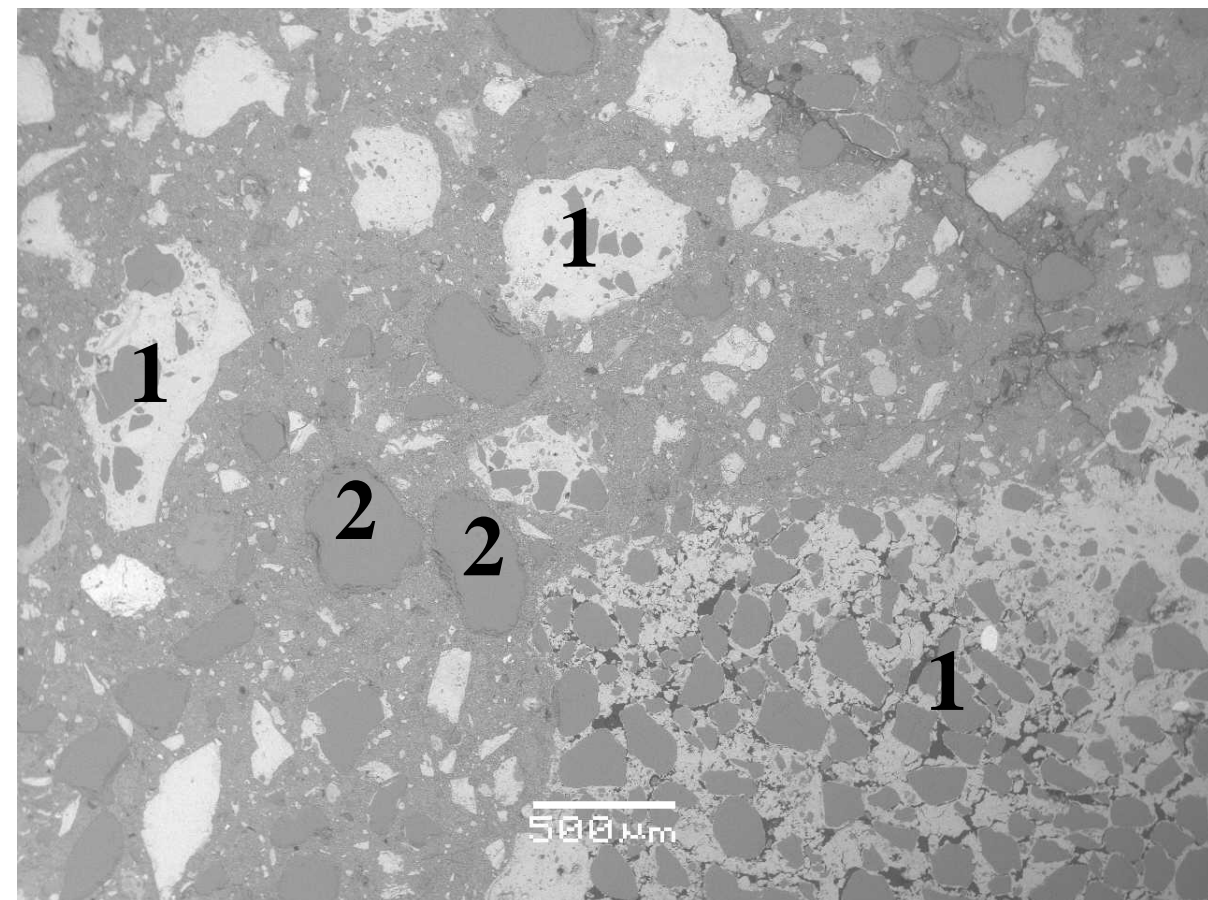
Mikrostruktura

	Kruszywo grube	Kruszywo drobne
Rodzaj	Ruda żelaza - goethyt łamany	Ruda żelaza - goethyt łamany, piasek kwarcowy
Rozmiar ziaren	do 29 mm	do 2 mm
Zawartość w betonie [%]	25 - 35	

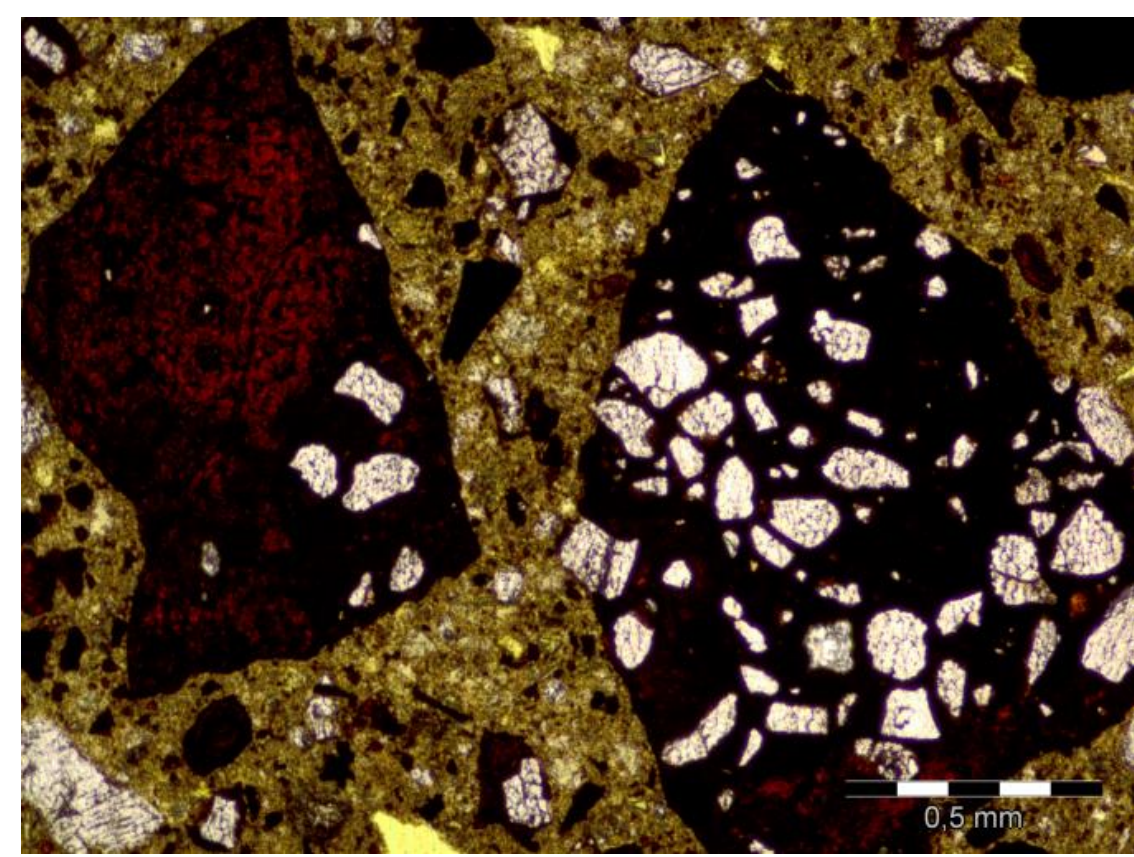
Obecność wypełnienia stalowego (~ 25%) o różnych kształtach.



Przykład przekroju rdzenia betonowego



Mikrostruktura betonu w mikroskopie skaningowym, 1 - ziarna piasku kwarcowego, 2 - ziarna goethytu z inkluzjami kwarcu

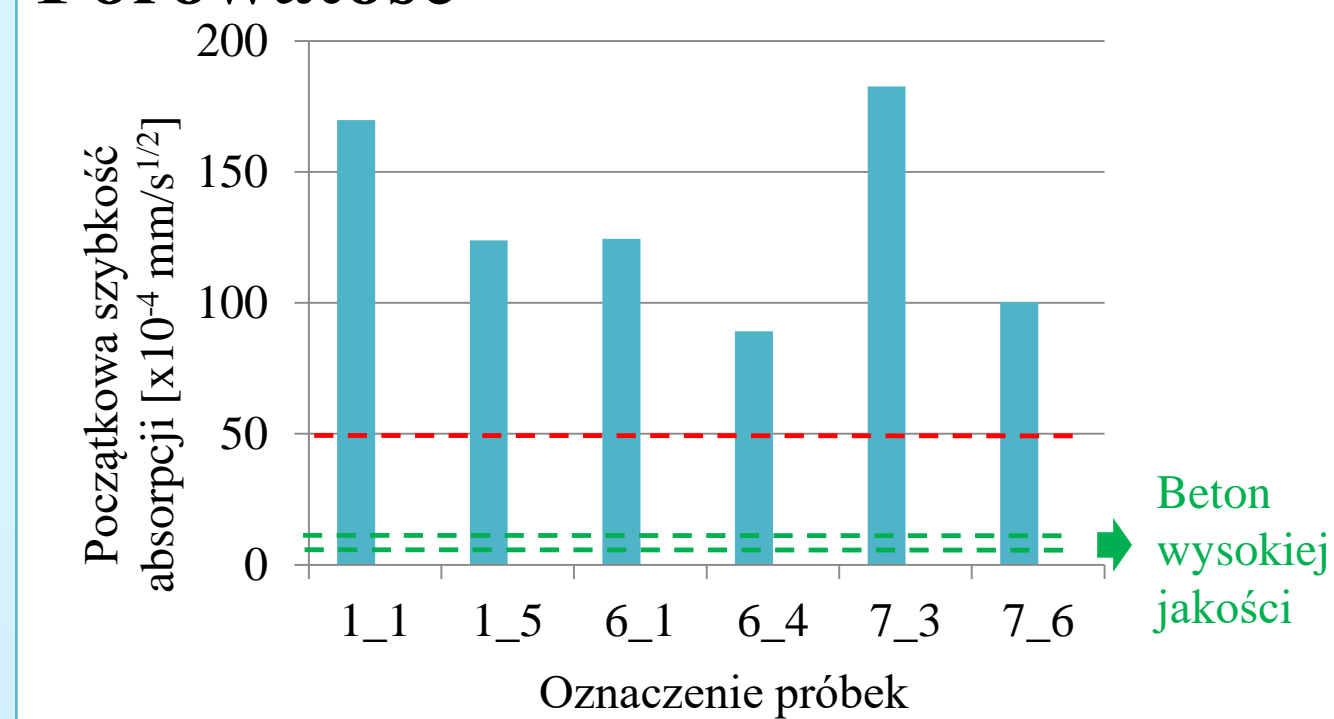


Przekrój betonu w świetle przechodzącym - widoczne ziarna goethytu

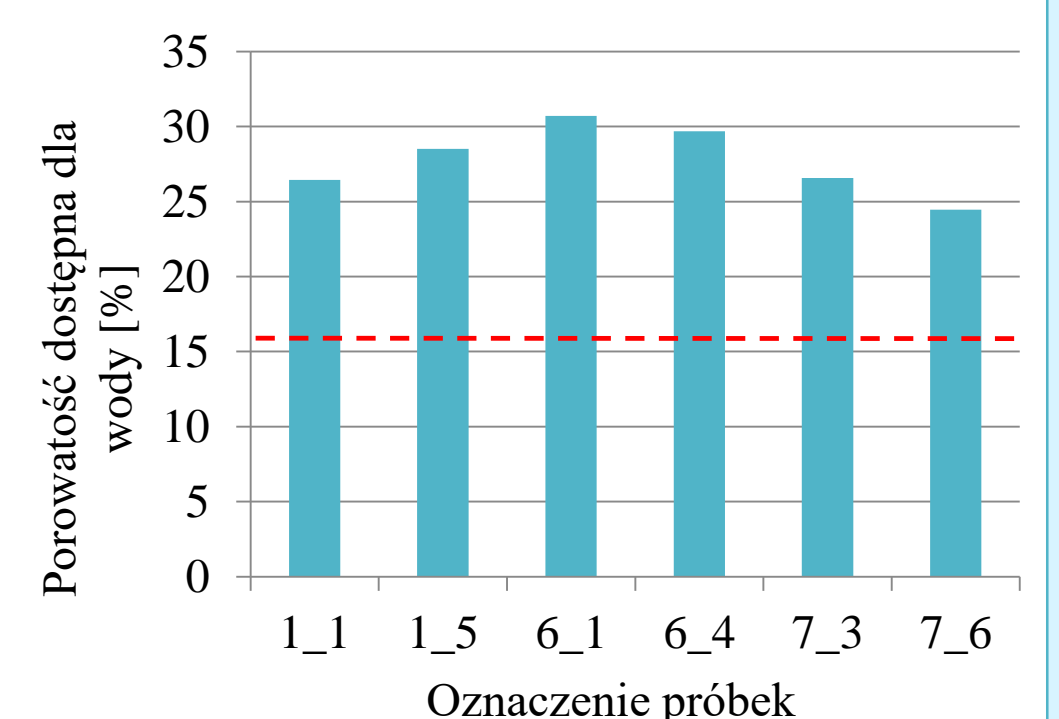


Odwierty o średnicy 100 mm pobrane ze ściany osłony reaktora

Porowatość



Początkowa szybkość absorpcji znacząco przekracza wartość $50 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$, uznawaną za wartość graniczną dla betonu o trwałości dopuszczalnej



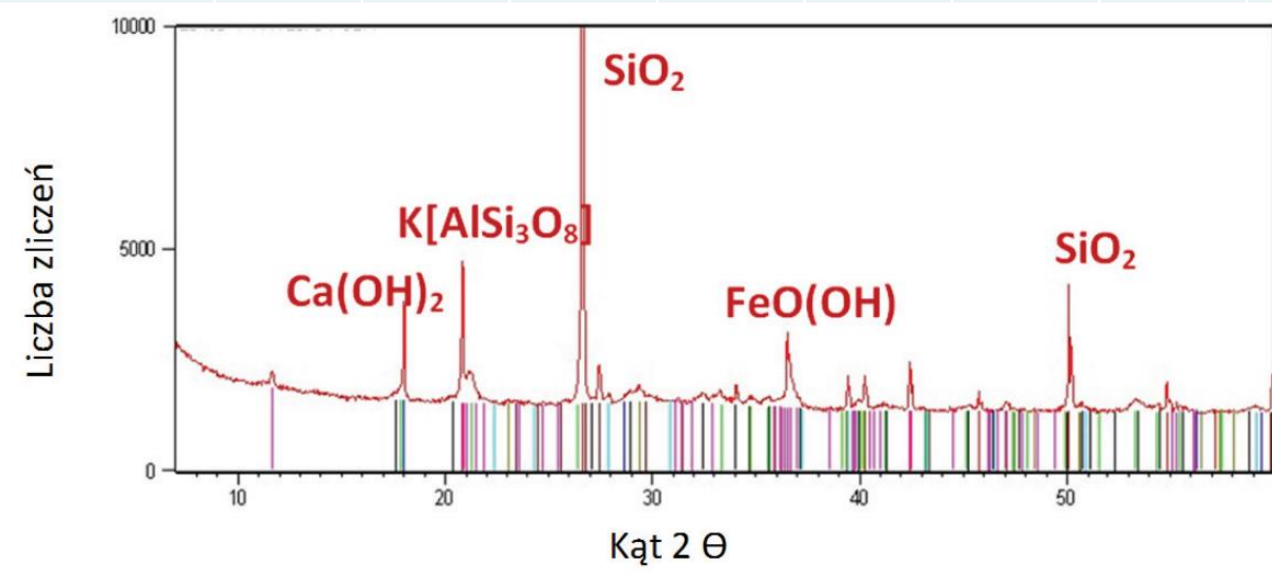
Udział porowatości dostępnej dla wody znacznie przewyższa 16%, uznawane za graniczną wartość w przypadku betonu średniej trwałości

Skład chemiczny i fazowy

Przykład wyników składu chemicznego XRF matrycy z wybranego rdzenia z części zewnętrznej (najdalej od źródła promieniowania) i wewnętrznej (najbliżej)

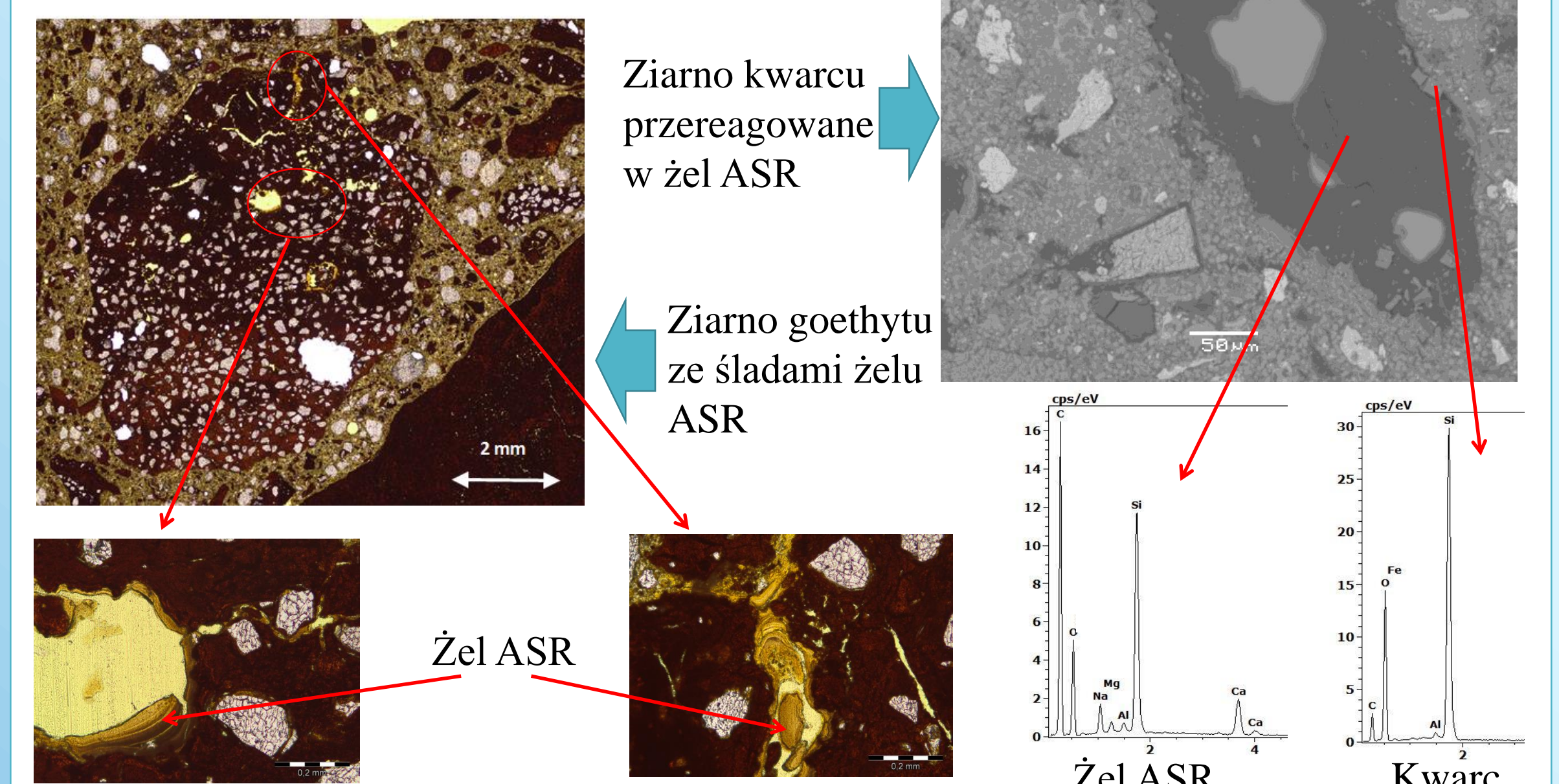
[%]	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
część zewnętrzna	13.22	35.92	3.69	28.73	15.68	0.43	0.51	0.4	0.1	0.92
część wewnętrzna	12.18	36.78	3.5	31.77	13.07	0.38	0.41	0.35	0.09	1.04

Zawartość wody związanej chemicznie od 5,9 do 7,6%



Skład fazowy matrycy (XRD)

ASR w betonie



Wnioski

- Stwierdzono obecność znacznych uszkodzeń betonu w osłonie reaktora pomimo niskiej szacowanej dawki pochłoniętego promieniowania
- Beton charakteryzował się mniejszą gęstością niż projektowana (3700 kg/m^3) i była ona zróżnicowana w zależności od miejsca pobrania próbek: $2500\text{-}3100 \text{ kg/m}^3$ w wyniku sedimentacji
- Wyznaczone właściwości betonu w osłonie reaktora: wytrzymałość na ściskanie 28-31 MPa, wysoka porowatość otwarta $>25\%$ oraz duża szybkość absorpcji wody
- Za pomocą metody XRF zastosowany cement zidentyfikowano jako niskoalkaliczny
- Zawartość wody związanej chemicznie wahała się od 5,9 do 7,6%, a więc zawartość wodoru przekraczała 0,5% (wymagane dla betonu osłabiającego promieniowanie neutronowe).
- Ocena mikrostrukturalna wykazała liczne pęknięcia w osnowie cementowej, w ziarnach kwarcu oraz w ziarnach goethytu
- Znaleziono produkty reakcji alkalia-kruszywo w postaci żelu ASR wewnątrz ziaren kruszywa

Literatura

- [1] M. A. Glinicki, Długotrwała funkcjonalność betonu w konstrukcjach osłonowych elektrowni jądrowych, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 2015
- [2] K. F. Kaplan, Concrete radiation shielding. Longman Scientific c&Technical, p. 457, 1989
- [3] <https://www.ncbj.gov.pl/en/aktualnosci/ewa-and-maria-confirm-competences-polish-scientists>
- [4] Józwiak-Niedźwiedzka D., Dąbrowski M., Brandt A.M., Burakowska A., Baran T., The results of the concrete shield of the EWA nuclear reactor/Wyniki badania betonu z obudowy reaktora jądrowego EWA, CEMENT, WAPNO, BETON, Vol.3, pp.226-238, 2018

Podziękowania

Praca została przygotowana jako rezultat badań finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu Nr V4-Korea/2/2018 pt., „Wpływ składu chemicznego na właściwości betonu poddanego długotrwałym oddziaływaniom radiacyjnym” (NCBiR V4-Korea Joint Research Program), 2018-2021.