



**Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk**

Długożyciowe izotopy promieniotwórcze w składnikach kompozytów cementowych

Daria Józwiak-Niedźwiedzka

Pracownia Pól Odkształceń

VISEGRAD GROUP (V4) - KOREA JOINT RESEARCH PROGRAM

ON CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

The Effect of Chemical Composition of Concrete on Its Long-term Performance in Irradiated Environment

- Republic of Korea, Yonsei University
- Czech Republic, Czech Technical University
- Hungary, Centre for Energy Research
- Poland, IPPT PAN
- Slovak Republic, Slovak Academy of Sciences

Plan prezentacji

1. Wstęp: motywacja

2. Cel badań

3. Materiały

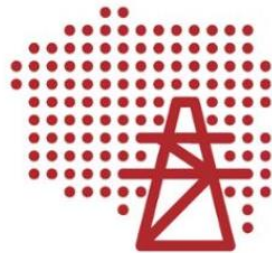
4. Metody badań

5. Wyniki badań

6. Wnioski

Wstęp: motywacja

Ministerstwo Aktywów Państwowych, 23.12.2019



**POLITYKA
ENERGETYCZNA
POLSKI
DO 2040 R.**

Kierunki Polityki energetycznej Polski do 2040

...

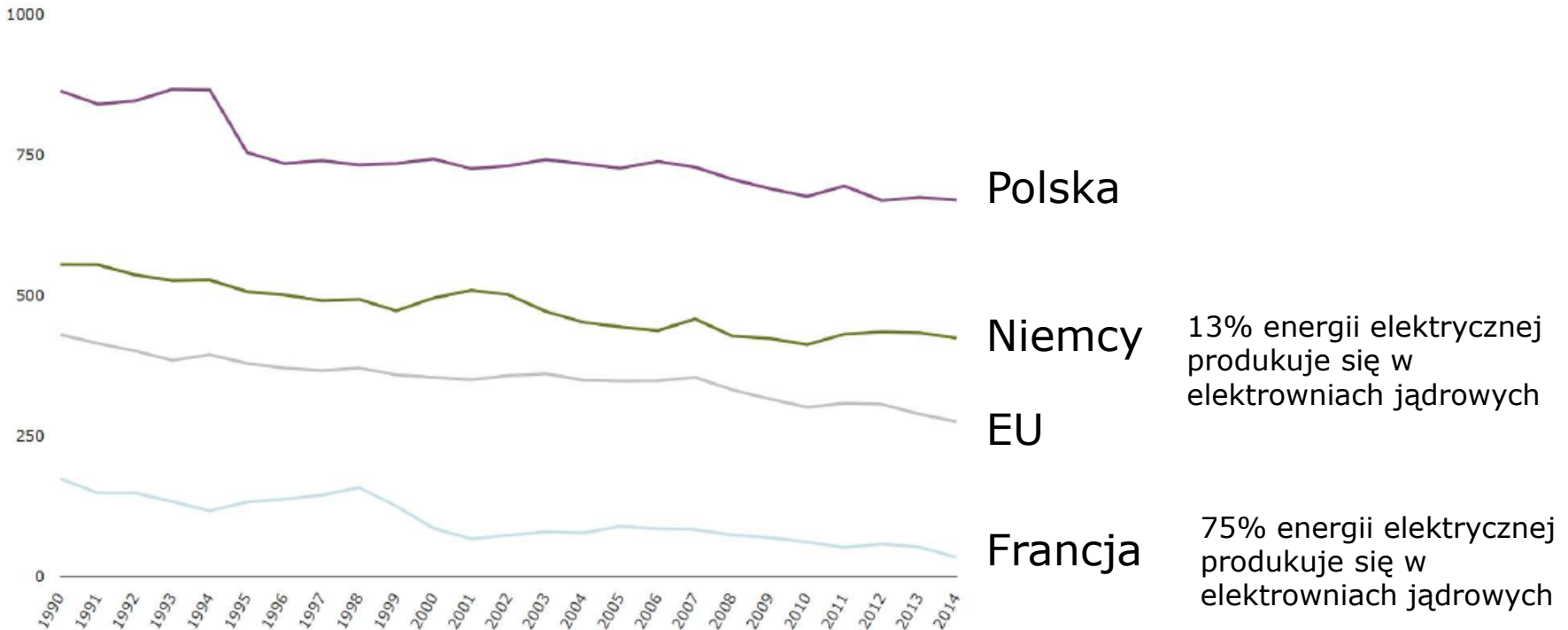
5. Wdrożenie energetyki jądrowej

...

- stabilność wytwarzania energii przy zerowej emisji zanieczyszczeń powietrza
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii po racjonalnym koszcie – wysokie nakłady inwestycyjne są rekompensowane niskim kosztem zmiennym wytwarzania w długiej, kilkudziesięcioletniej perspektywie

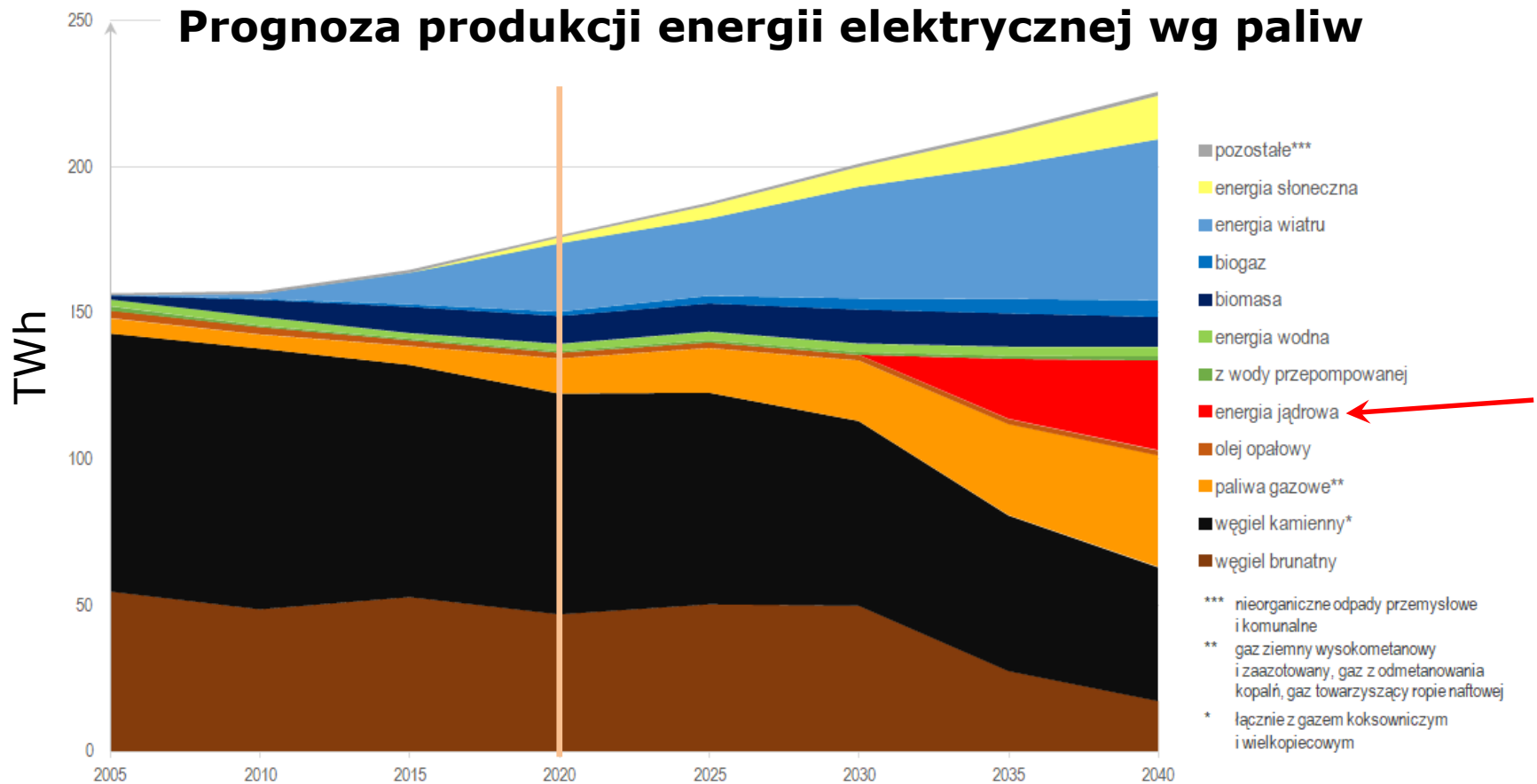
Wstęp: motywacja

Średnia europejska intensywność emisji CO₂ z energii elektrycznej



Przemysław Żydak , Polish Nuclear Power Program, 2019

Wstęp: motywacja

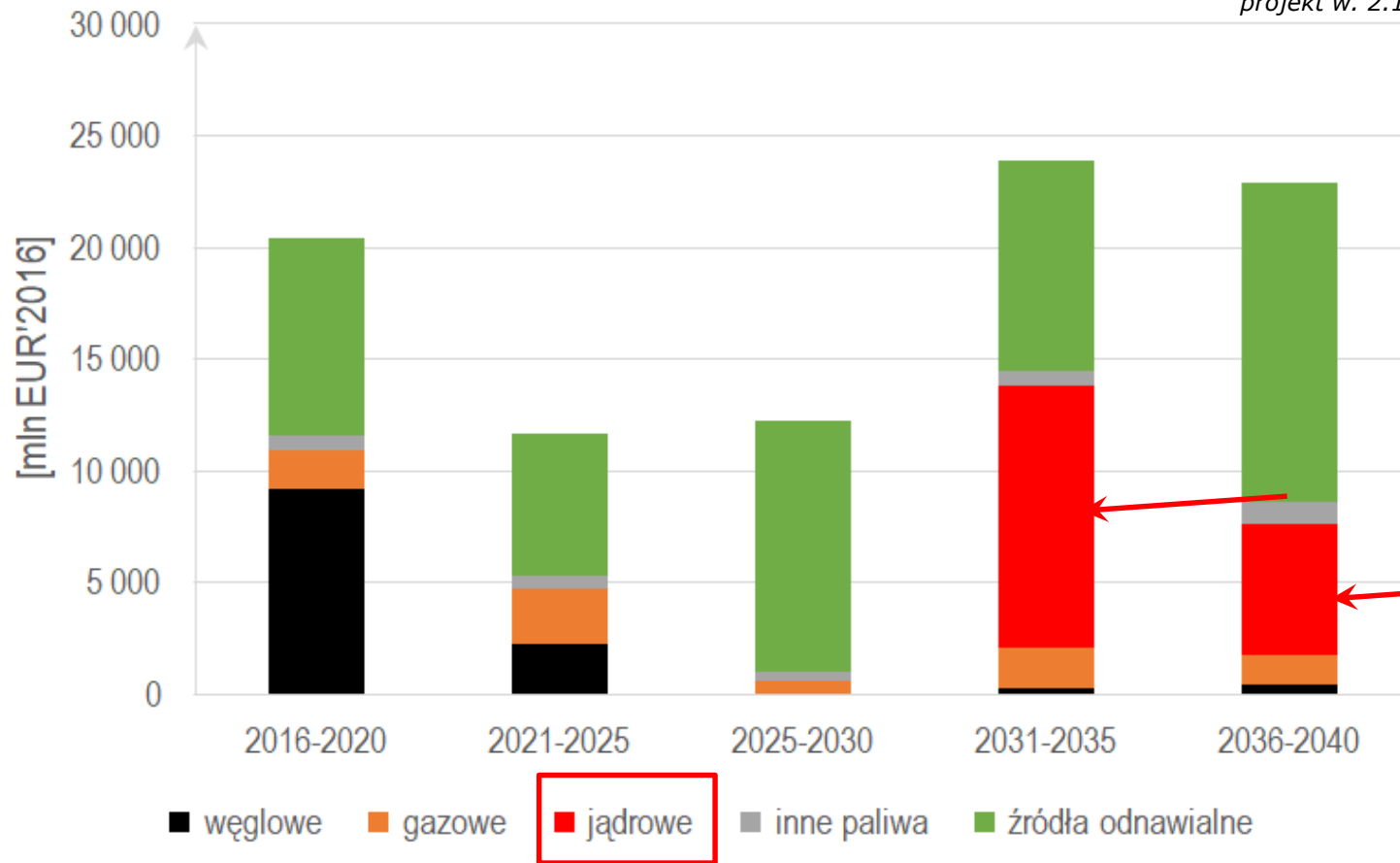


Rysunek 9. Prognoza produkcji energii elektrycznej brutto wg paliw [TWh]

Polityka Energetyczna Polski do 2040,
projekt w. 2.1 – 08.11.2019

Wstęp: motywacja

Polityka Energetyczna Polski do 2040,
projekt w. 2.1 – 08.11.2019



Rysunek 12. Prognozowane nakłady inwestycyjne w sektorze wytwórczym w latach 2016-2040 [mln EUR'2016]

Wstęp: motywacja

- Uruchomienie pierwszego bloku (o mocy ok. 1-1,5 GW) pierwszej elektrowni jądrowej przewidziano na 2033 r.
- W kolejnych latach planowane jest uruchomienie następnych pięciu takich bloków w odstępach 2-3 lat.
- W międzyczasie: uruchomienie nowego składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych do 2030 r.



Wstęp: motywacja

Budynek reaktora w większości zbudowany jest z betonu, jak również budynki pomocnicze

- Zewnętrzna ściana żelbetowa (grubość ok. 1,8 m)
- Wewnętrzna ściana z betonu sprężonego (grubość ok. 1,3 m)
- Wewnętrzna ściana osłonowa (bariera biologiczna, grubość min.1,5 m)

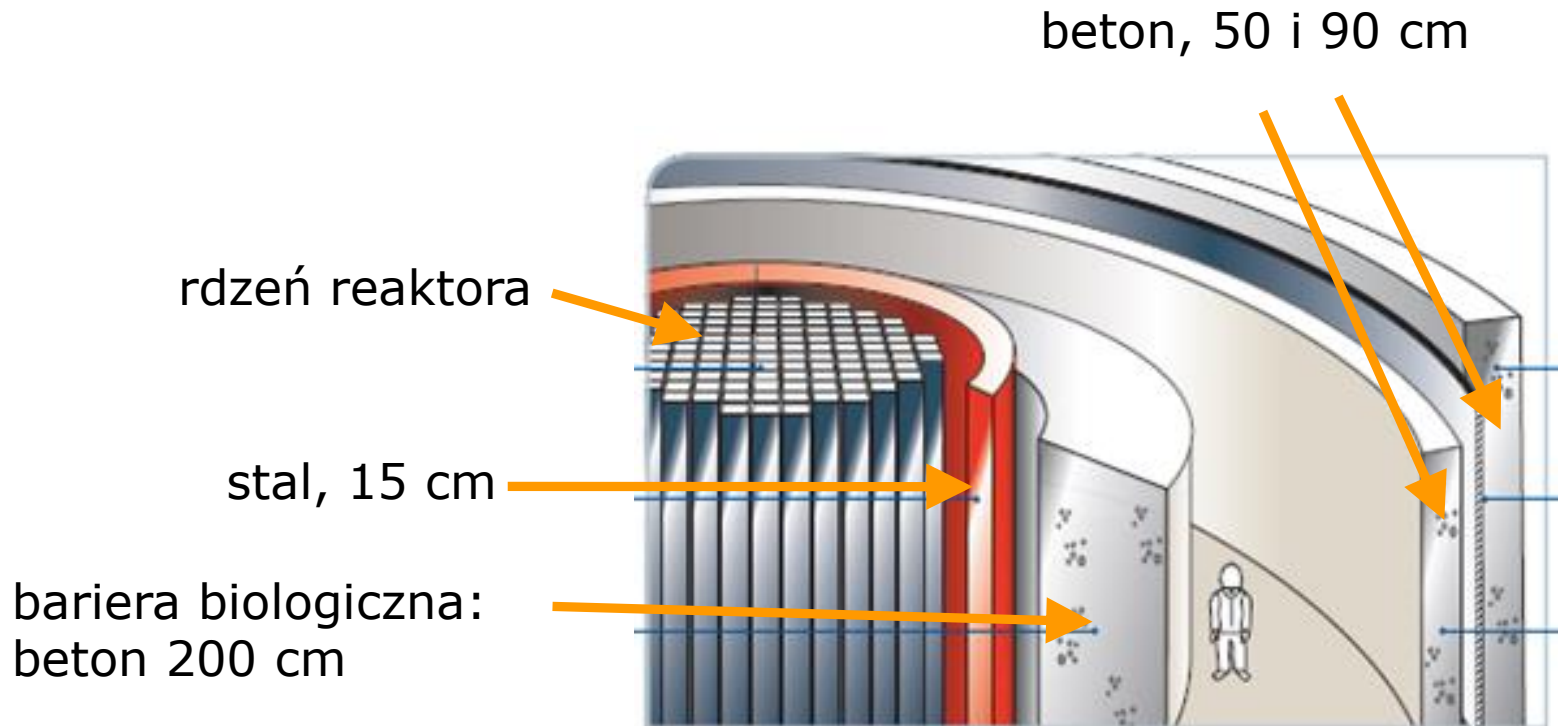


<https://www.theengineer.co.uk/power-struggle-developing-the-uks-nuclear-manufacturing-capacity/>

IAEA, 2018 Construction of the High Temperature Reactor – Pebble-Bed Module (HTR-PM) at Shidaowan in China's Shandong province is complete.

Wstęp: motywacja

Niezależnie od wyboru rodzaju reaktora oraz firmy dostarczającej ten reaktor, większość elementów obudowy reaktora oraz budynków przylegających będzie zbudowana z betonu



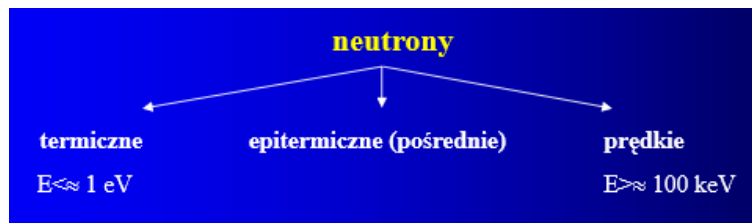
Beton osłonowy

Aktywacja neutronowa

proces, w którym promieniowanie neutronowe indukuje radioaktywność w materiałach

Beton osłonowy

Rozpraszanie i absorpcja neutronów w betonowej osłonie reaktora wywołuje skutki w postaci aktywacji krótko- i długożyciowych izotopów promieniotwórczych

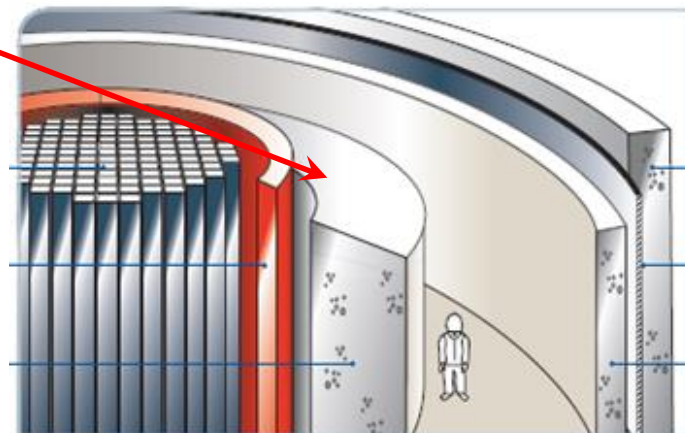


neutrony prędkie

spowolnienie

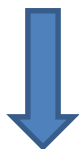
termiczne

spowolnienie/absorpcja/wychwycenie

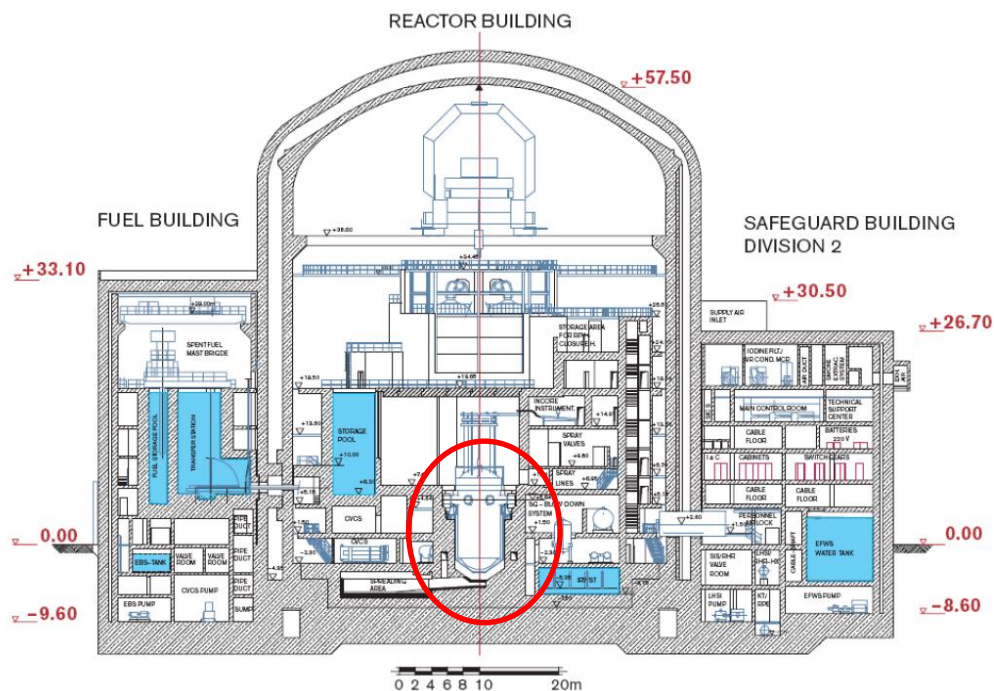


Beton osłonowy

Krótko- i długożyciowe izotopy promieniotwórcze w betonie osłonowym



W celu zminimalizowania konsekwencji radiologicznych aktywacji betonu, w warstwach znajdujących się najbliżej reaktora sugeruje się użycie specjalnych betonów „nieaktywujących się”
low-activation concrete



Cel badań

Cel badań

Określenie radioaktywności składników (cementu i kruszywa) w celu oszacowania ich zdolności do aktywacji w osłonie betonowej

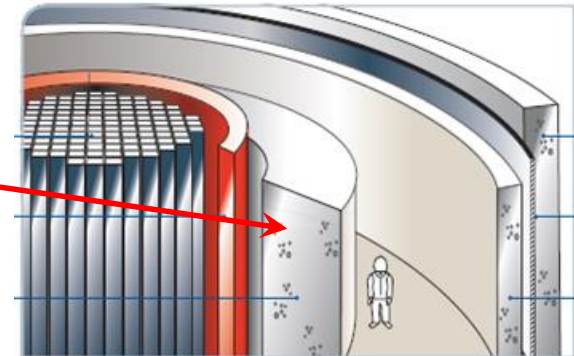


Ocena zdolności aktywacji betonu osłonowego



Zmniejszenie potencjalnej aktywności betonu osłonowego z uwagi na dopuszczalny poziom przy likwidacji elektrowni jądrowej.

low-activation / non-activation concrete



Materiały

Materiały

- Cement: 4
- Kruszywo:
 - Kruszywo drobne 0-2 mm: 7
 - Kruszywo grube 2-32 mm: 7

Materiały

- Cement: 4

Składnik	C1	C2	C3	C4 Cement biały
	CEM I 42,5R	CEM I 52,5R	CEM I 42,5R	CEM I 52,5R
SiO ₂	19.03	19.42	19.43	24.40
Al ₂ O ₃	4.84	5.45	4.84	2.11
Fe ₂ O ₃	3.22	2.94	3.18	0.30
CaO	63.64	64.1	61.81	68.40
MgO	1.15	1.75	2.56	0.66
SO ₃	2.97	3.5	3.93	2.09
Na ₂ O	0.21	0.24	0.41	0.17
K ₂ O	0.53	0.97	1.08	0.09
Na ₂ O _{eq}	0.56	0.88	1.12	0.23

Materiały

- Kruszywo:
 - Kruszywo drobne:
 - piasek kwarcowy rzeczny, 2
 - piasek kwarcowy kopalny, 4
 - piasek wapienny, 1
 - Kruszywo grube: 7

Pochodzenie		Kruszywo	Gęstość, g/cm ³
Skala magmowa	plutoniczna	granit	2.63
	wulkaniczna	melafir	2.70
Skala osadowa	okruchowa	szaroglaz	2.70
	organogeniczna	krzemień	2.65
		wapień	2.71
	ewaporyty	baryt	4.20
Skala metamorficzna		kwarcyt	2.62

Metody badań

Metody badań

Neutronowa analiza aktywacyjna (NAA)

technika polegająca na wywołaniu sztucznej promieniotwórczości oznaczanych składników poprzez napromieniowanie próbki strumieniem neutronów, a następnie ich oznaczeniu przez pomiar charakterystycznego promieniowania jądrowego emitowanego przez radionuklidy.

Podstawą oznaczenia są pomiary porównawcze względem wzorca, który był napromieniowany jednocześnie z analizowaną próbką.

Metody badań

Budapest Research Reactor

Nuclear Analysis and Radiography
Department
Centre for Energy Research



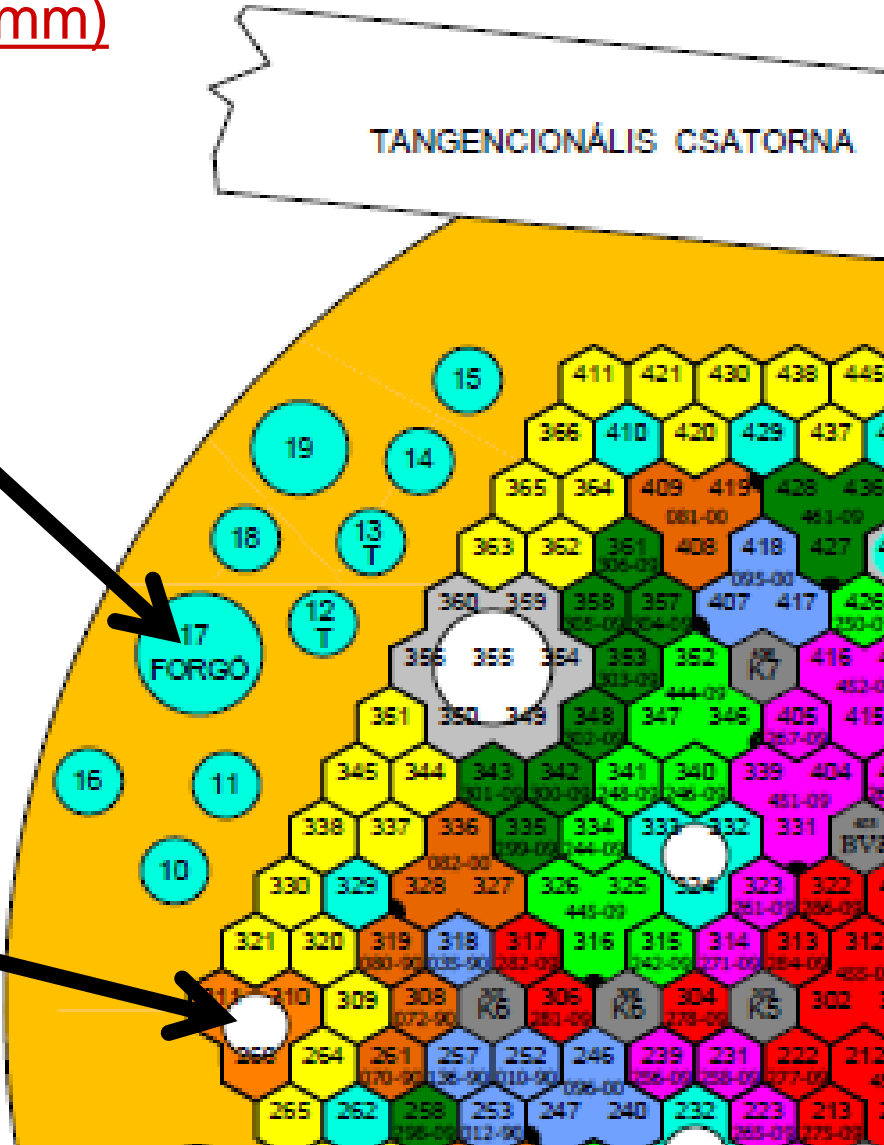
Irradiation sites for NAA at BRR

BRR No. 17 rotating channel, ($\varnothing=54$ mm)

$$\Phi_{th}=1.86 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$$

$$f = \Phi_{th} / \Phi_{epi} = 47.1$$

TANGENCIONALIS CSATORNA

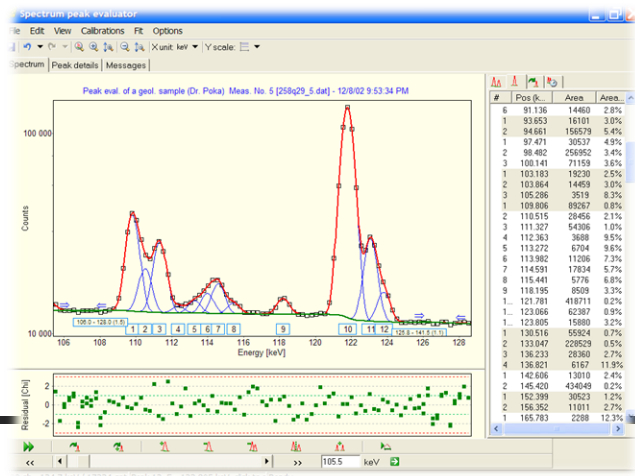
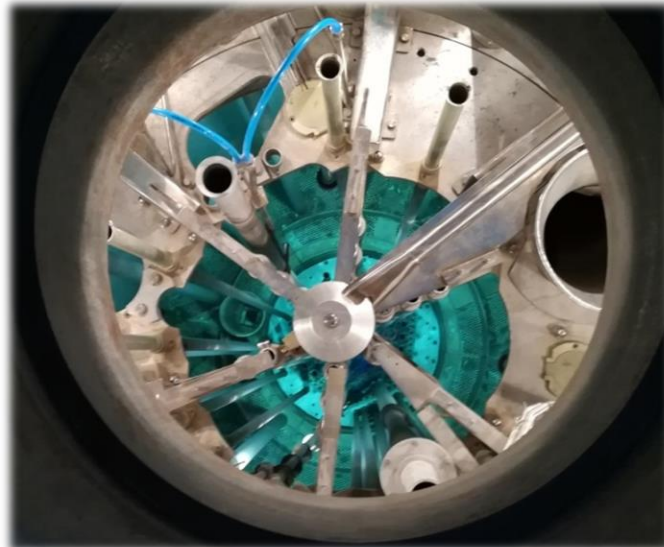


Pneumatic rabbit system

NAA

Trace elements (~20):

- 14 long-lived radionuclides



Metody badań

IPPT PAN

- Specimens were oven-dried at 105°C for 24 h and they were ground into powder of 75µm sieve.

BBR

- 100-150 mg powdered samples were ampouled in high-purity quartz.
- The quartz ampoules were wrapped in aluminum foil and encapsulated in an aluminum container.
- The 3 hours irradiation were performed in a rotating, well-thermalized channel of the Budapest Research Reactor (BNC).
- Together with the samples, flux-monitor foils of Au, Zr, Fe or Ni were co-irradiated, which are essential to the concentration calculations.
- The thermal equivalent neutron flux in the rotating irradiation channel (N°17) was $1.86 \times 10^{13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Wyniki badań

Wyniki badań

Za pomocą analizy aktywacyjnej wykryto dziewiętnaście nuklidów.

Do dalszej analizy wybrano:

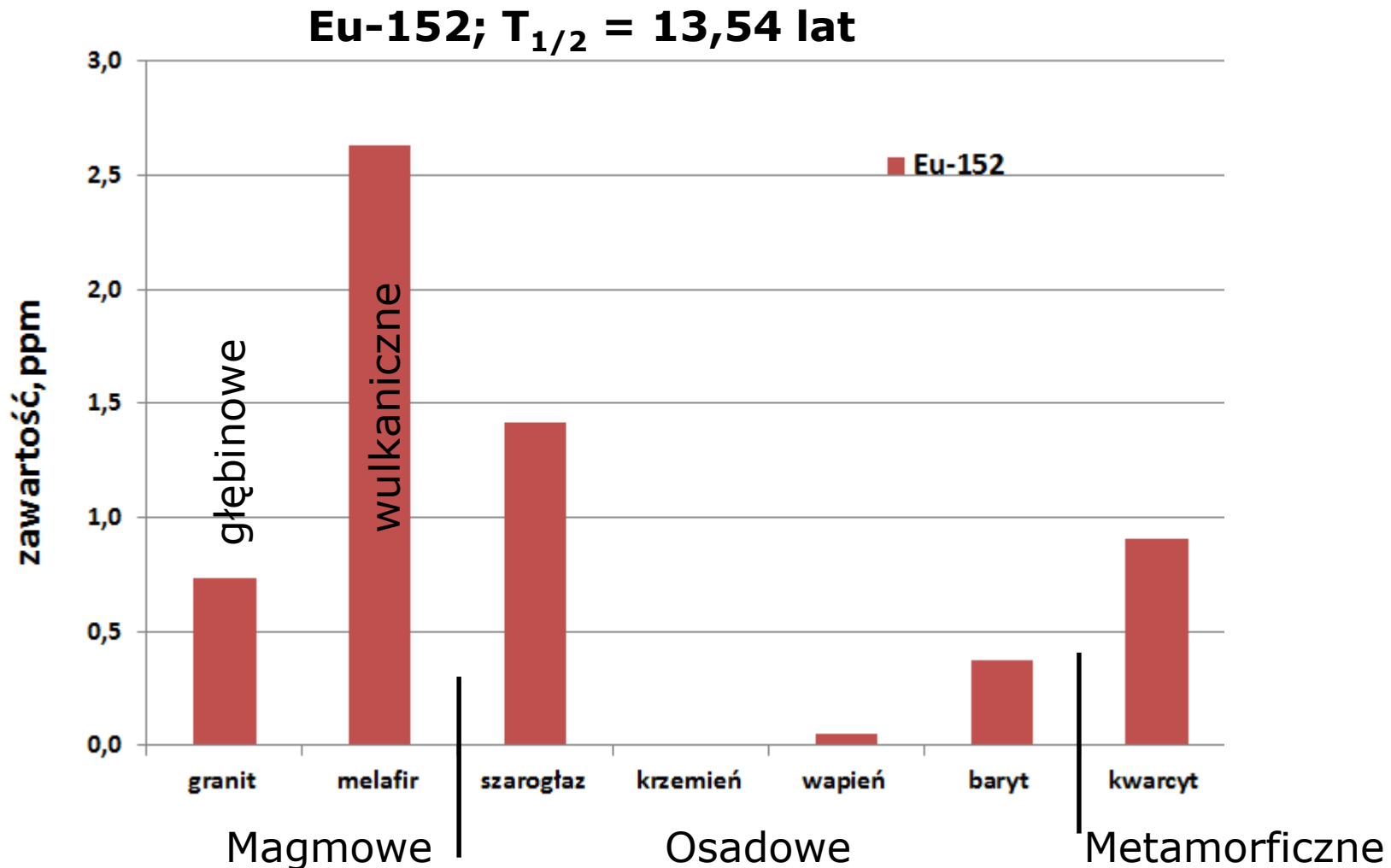
- Europ-152
- Kobalt-60
- Cez-134

jako długożyciowe izotopy promieniotwórcze

Czas połowicznego rozpadu - czas, po którym liczba promieniotwórczych jąder w próbce spada do połowy swojej pierwotnej wartości

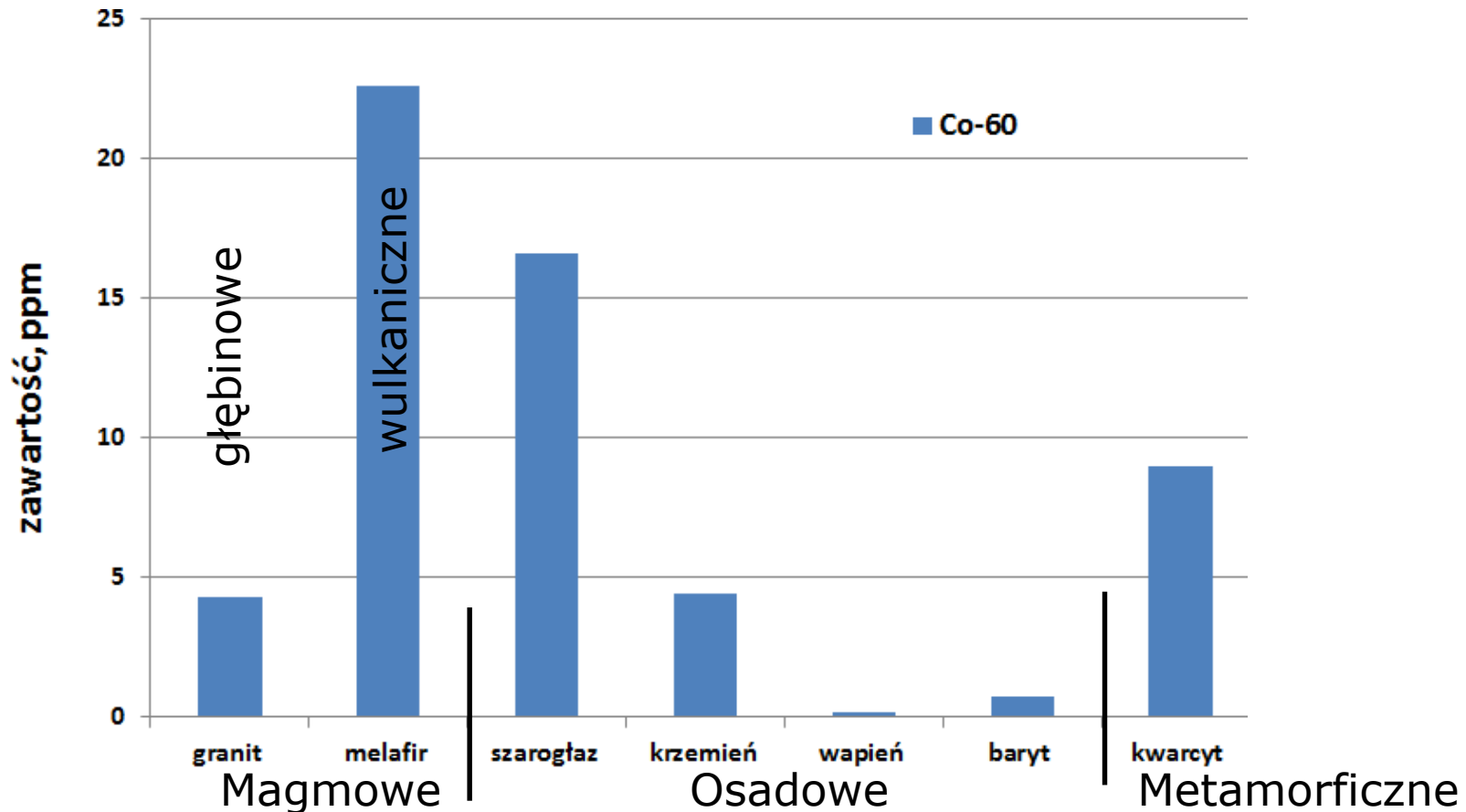
nuclide	Half life (y)
Na-24	0.002
Ca-47	0.012
Sc-46	0.229
Cr-51	0.076
Mn-54	0.856
Fe-59	0.122
Co-60	5.270
Se-75	0.328
Rb-86	0.051
Sb-122	0.007
Cs-134	2.062
Ba-131	0.036
La-140	0.005
Sm-153	0.005
Eu-152	13.300
Tb-160	0.197
Yb-175	0.066
Lu-177	0.018
Hf-181	0.116

Wyniki badań – kruszywo grube



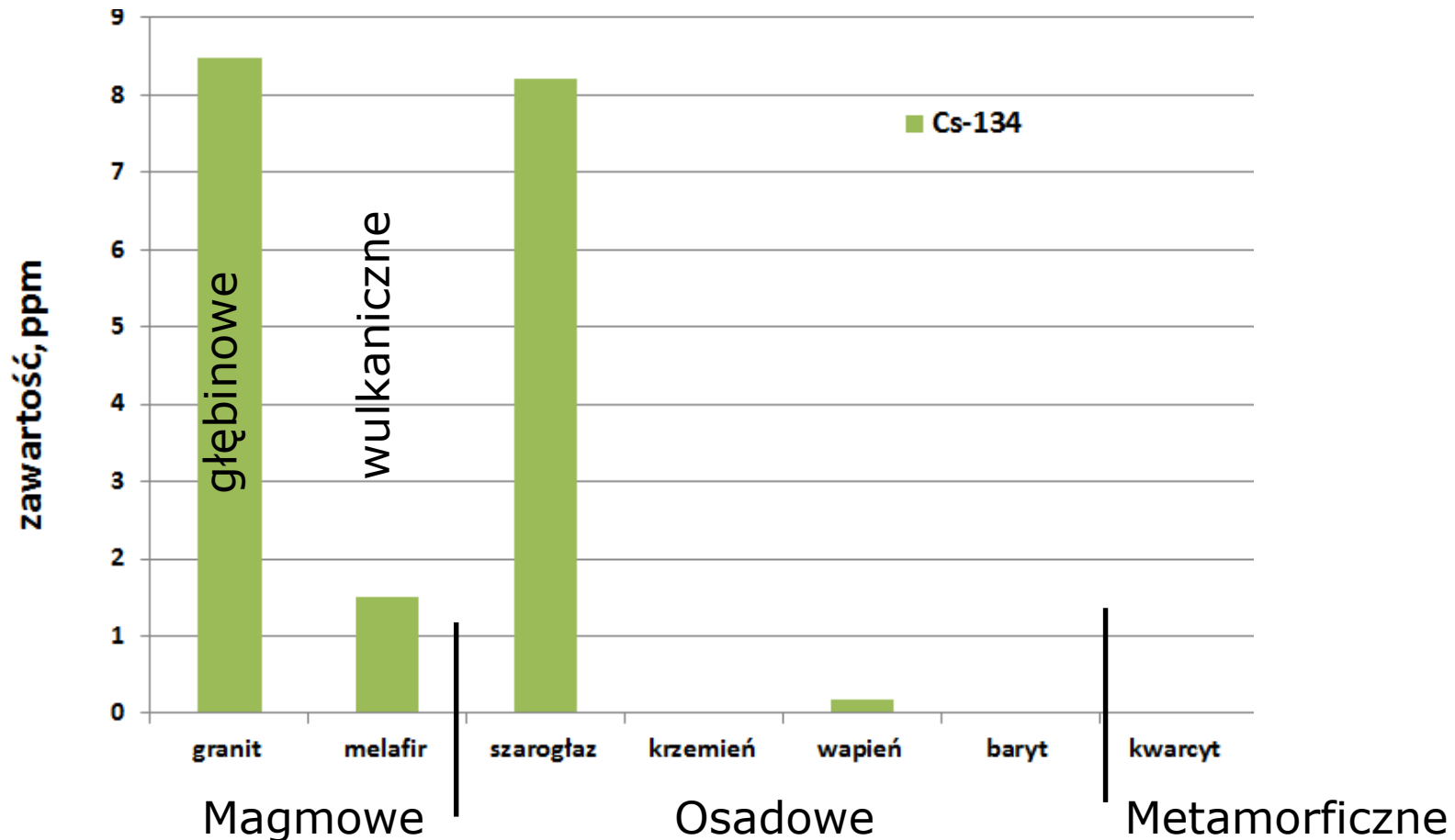
Wyniki badań – kruszywo grube

Co-60; $T_{1/2} = 5,27$ lat

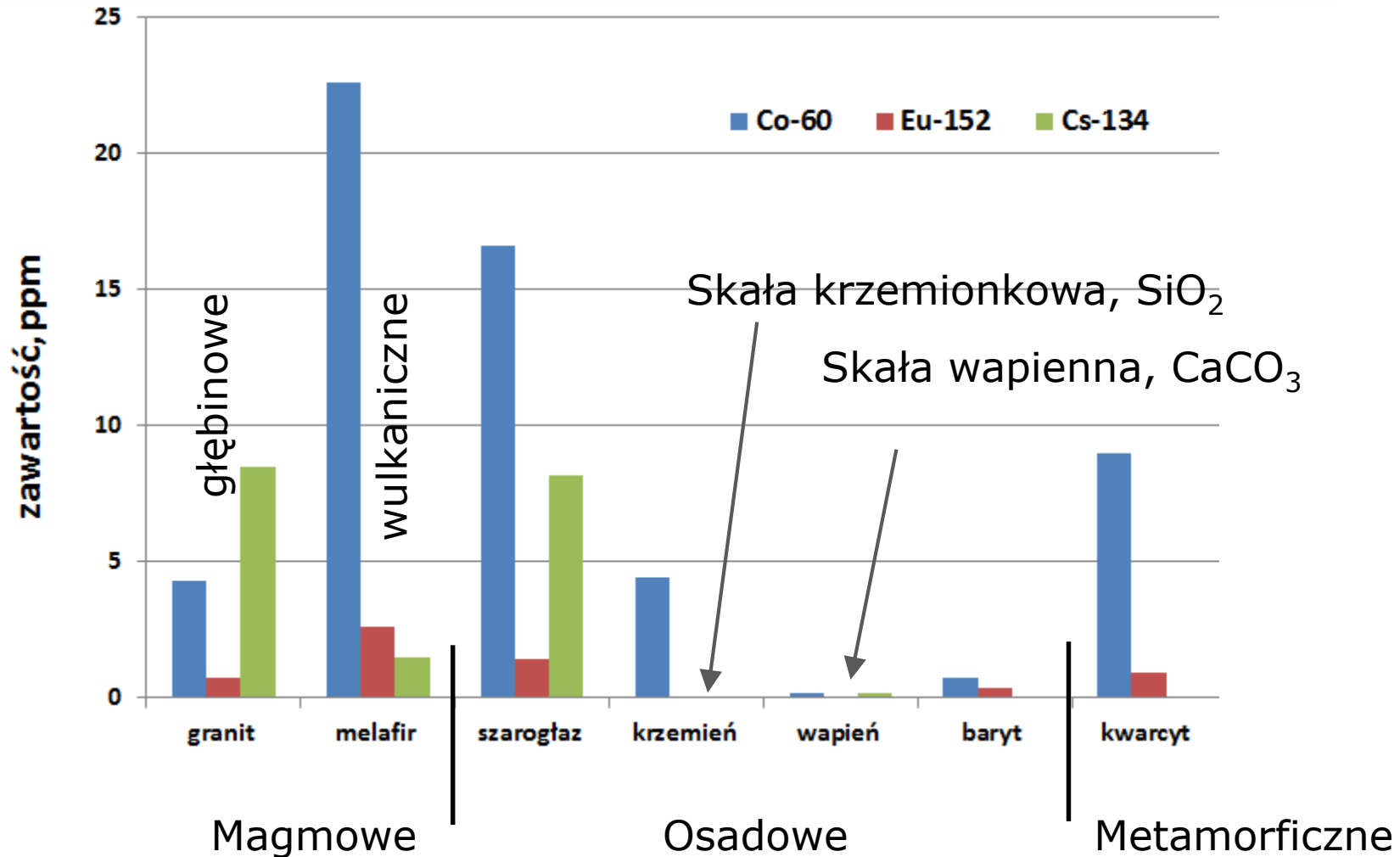


Wyniki badań – kruszywo grube

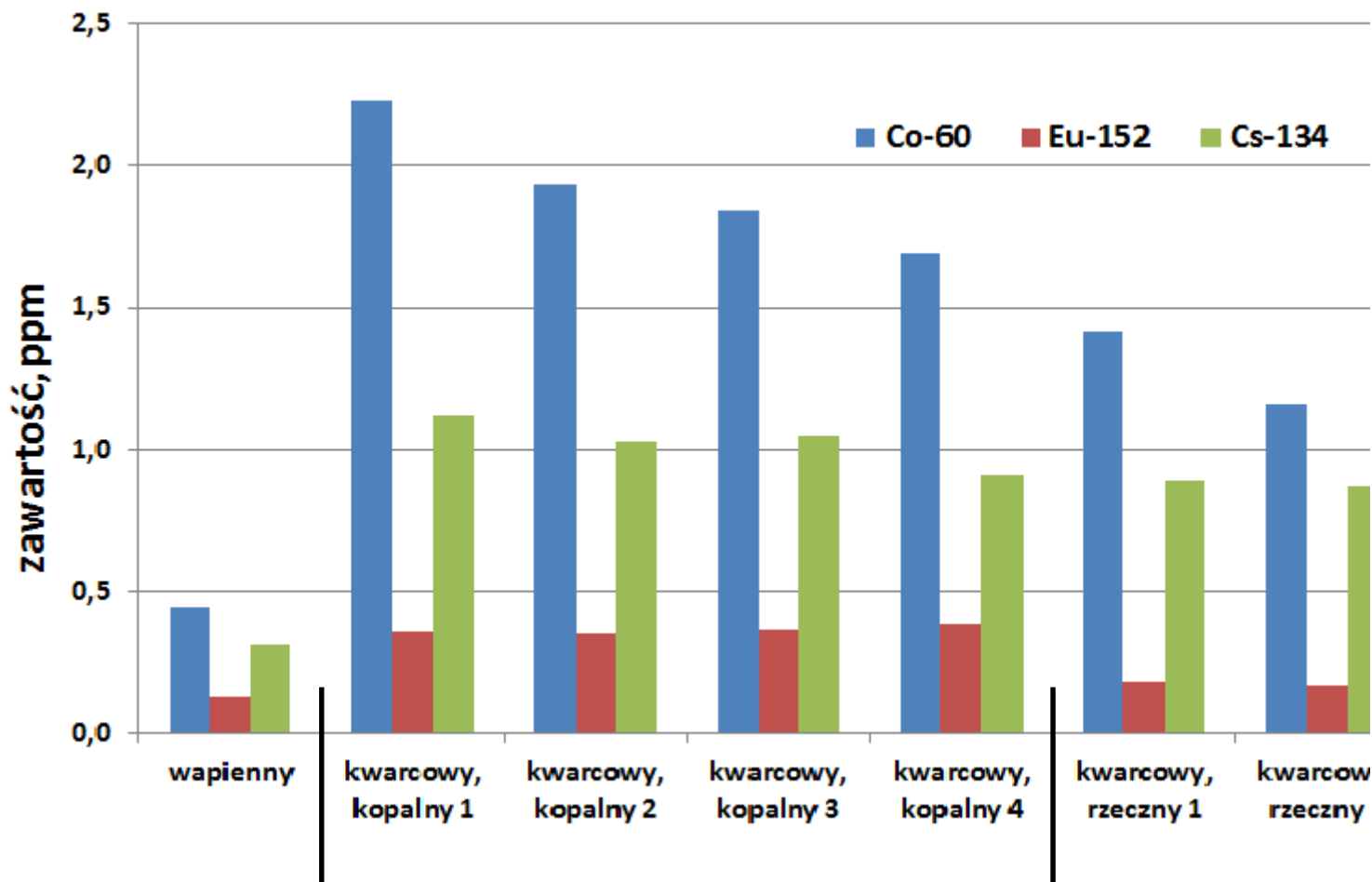
Cs-134; $T_{1/2} = 2,06$ lat



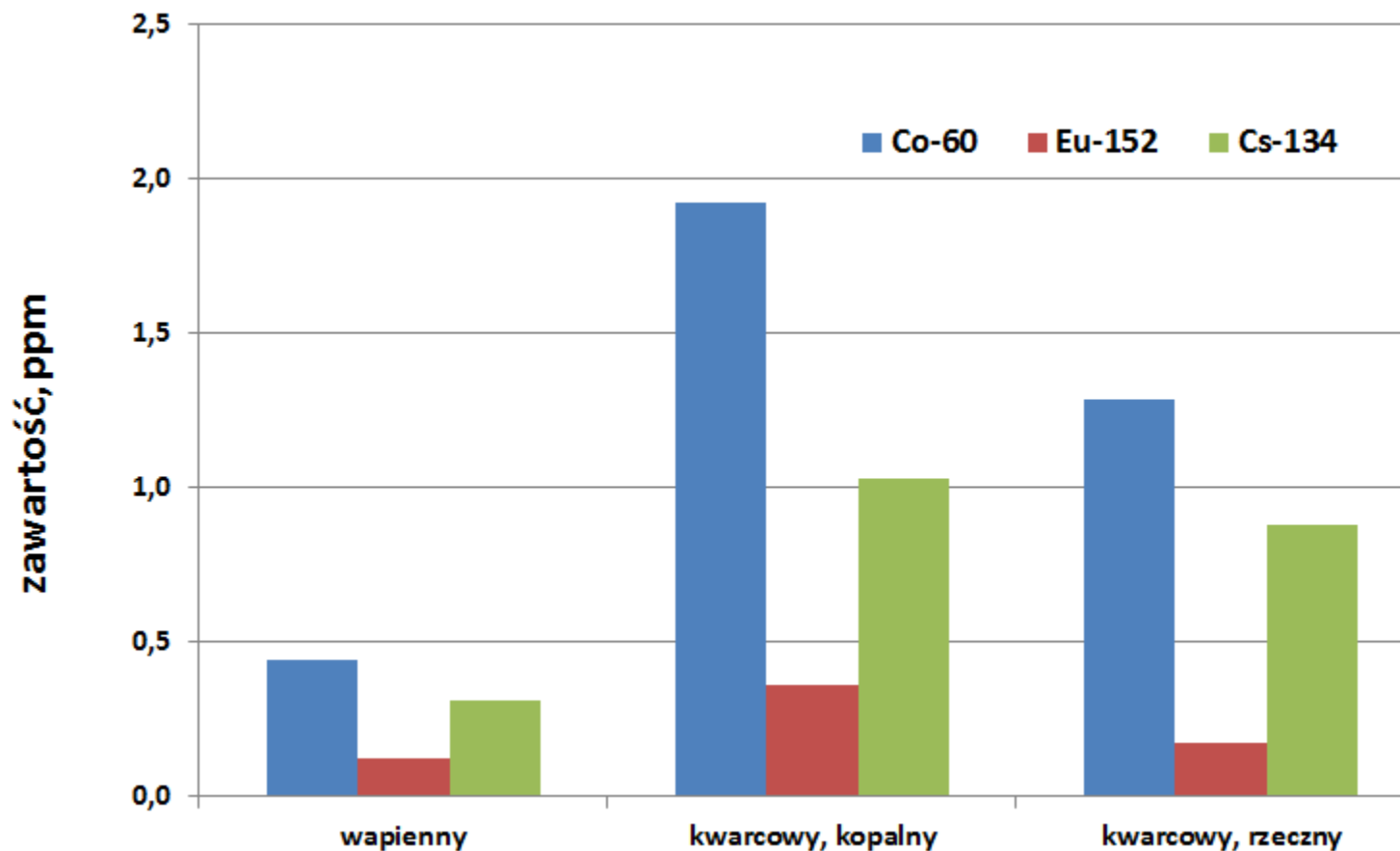
Wyniki badań – kruszywo grube



Wyniki badań – kruszywo drobne



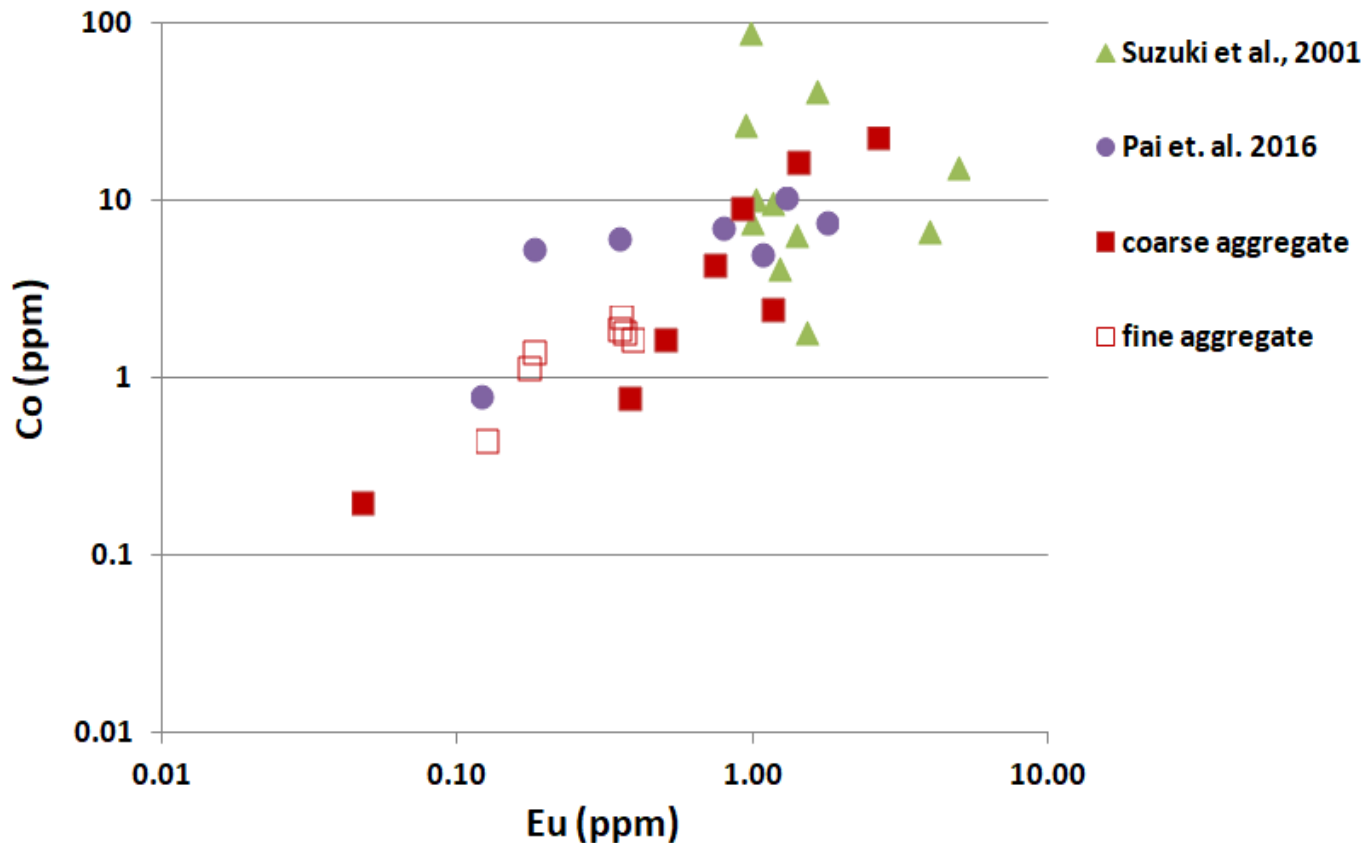
Wyniki badań – kruszywo drobne



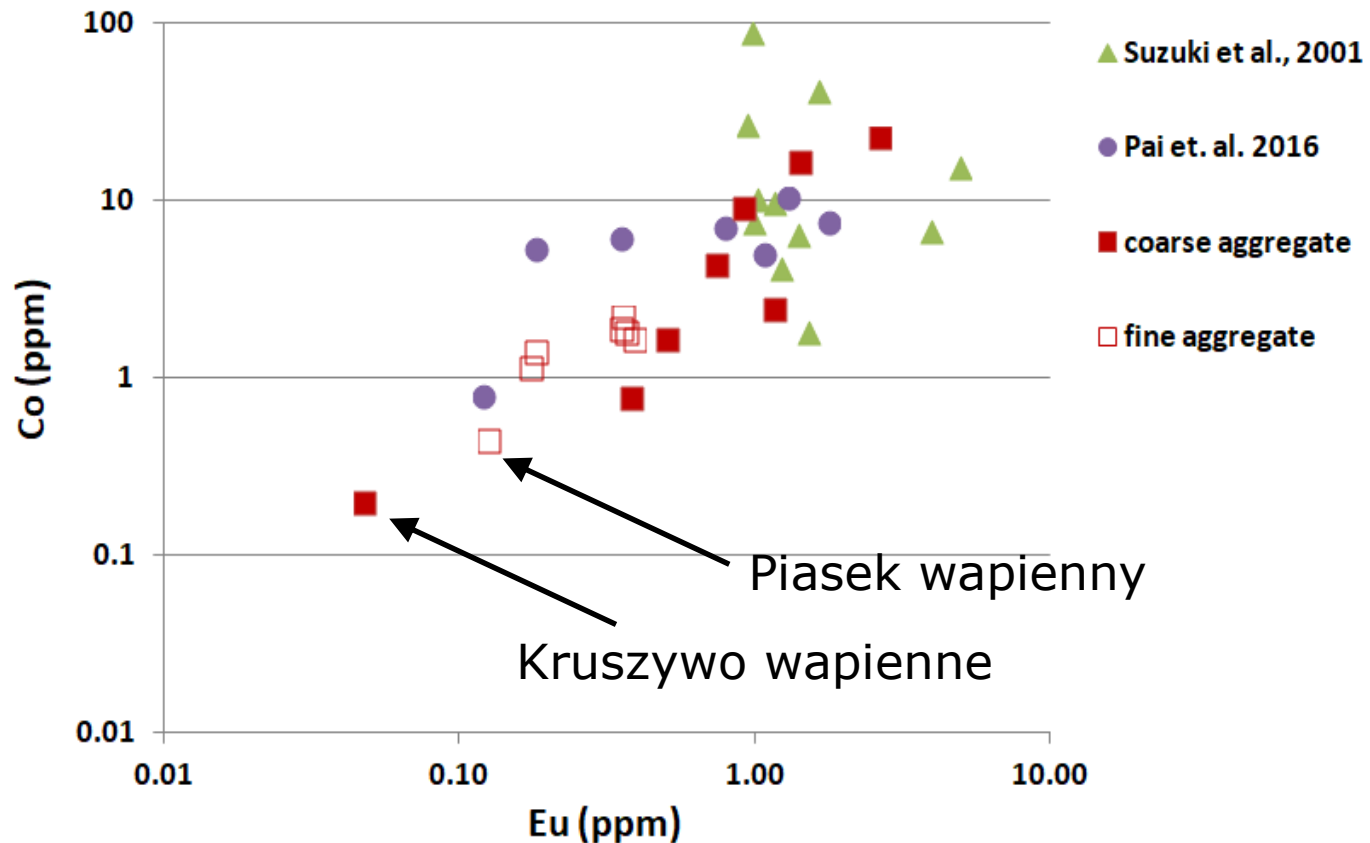
Wyniki badań – kruszywo

Eu-152; $T_{1/2} = 13,54$ lat

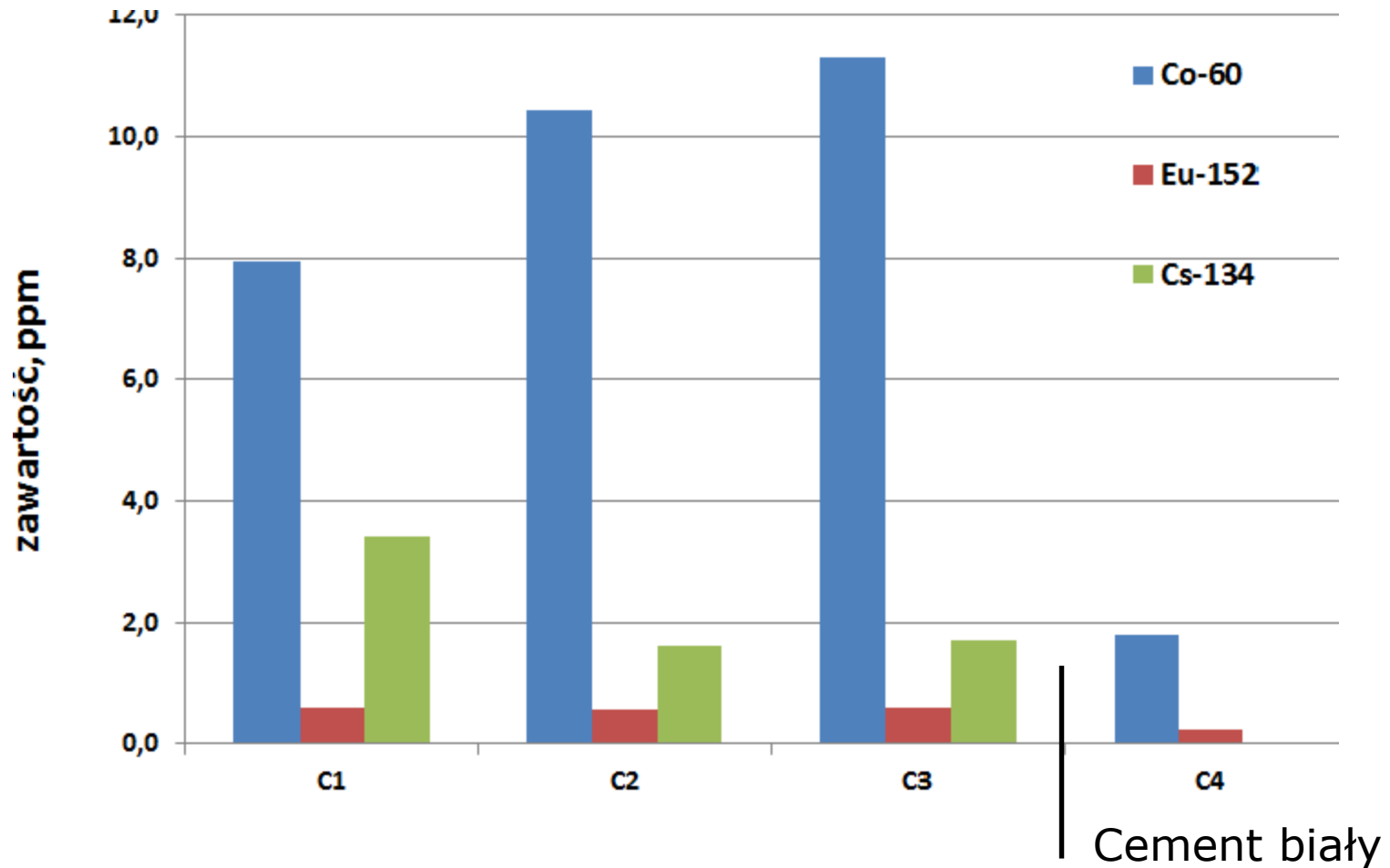
Co-60; $T_{1/2} = 5,27$ lat



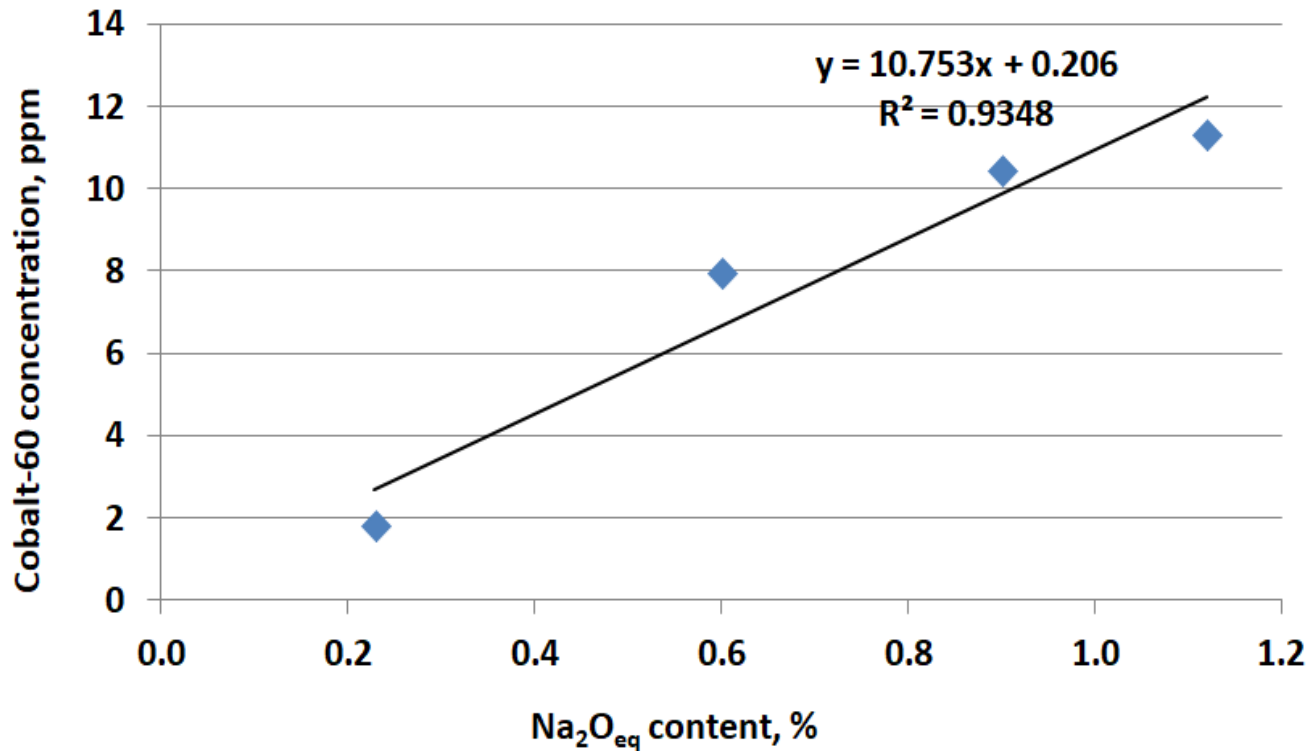
Wyniki badań – kruszywo



Wyniki badań - cement



Wyniki badań - cement



Wnioski

Wnioski -1

- 1. Określono dominujące długożyciowe izotopy promieniotwórcze w składnikach kompozytów betonowych:**
 - **Europ-152**
 - **Kobalt-60**
 - **Cez-134**
- 2. Zawartość ^{60}Co , ^{152}Eu i ^{134}Cs w drobnym kruszywie była niższa niż w kruszywie grubym.**

Średnia zawartość ^{60}Co i ^{152}Eu wynosiła 1,71 ppm i 0,30 ppm w drobnym kruszywie oraz 8,73 ppm i 1,05 ppm w kruszywie grubym.
- 3. Wyraźnie widoczny był wpływ pochodzenia piasku krzemionkowego na zawartość długożyciowych izotopów promieniotwórczych.**

Niższa zawartość Kobaltu i Europu występowała w piaskach rzecznych w porównaniu z drobnym kruszywem kopalnym.

Wnioski -2

4. Najniższe zawartości ^{60}Co , ^{152}Eu i ^{134}Cs osiągnięto dla wapienia, zarówno drobnego, jak i gruboziarnistego kruszywa.

Niską zawartość ^{60}Co , ^{152}Eu i ^{134}Cs stwierdzono również w kruszywie barytowym.

5. Najniższą zawartość długożyciowych izotopów promieniotwórczych stwierdzono w cemencie białym, o najniższej zawartości żelaza.

6. Zawartość Europu-152 i Cezu-134 w cementach portlandzkich była zbliżona, ale zawartość Kobaltu-60 różniła się znacznie w zależności od zawartości $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$.

Im niższa zawartość alkaliów w cemencie, tym niższe stężenie Kobaltu-60.

Wnioski -3

Niższą zawartość długożyciowych izotopów promieniotwórczych Co-60, Eu-152 i Cs-134 w kompozytach cementowych można osiągnąć poprzez odpowiedni dobór składników.

Do dalszych badań wybrano **kruszywo wapienne, grube i drobne, oraz cement biały** jako składniki kompozytów cementowych o najniższej aktywacji.

Dziękuję za uwagę

Praca została przygotowana jako rezultat badań finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu Nr V4-Korea/2/2018