



Institute of Fundamental Technological Research
Polish Academy of Sciences

Low - activation concrete

„beton niskoaktywujący się”

Daria Józwiak-Niedźwiedzka

Plan prezentacji

- Wstęp

- ✓ prawo rozpadu promieniotwórczego
- ✓ aktywność promieniotwórcza **A**
- ✓ stężenie promieniotwórcze **C**
- ✓ poziom zwolnienia **CL**

- Stan wiedzy - dane literaturowe

- ✓ Izotopy długożyciowe
- ✓ Wyniki badań dotyczące betonu „nieaktywującego się”
 - Materiały: kruszywo, cement
 - Betony

Wstęp

Prawo rozpadu promieniotwórczego opisuje ile jąder promieniotwórczych danego izotopu powstanie w próbce w zależności od przebytego czasu

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

N – liczba jąder promieniotwórczych, która pozostała w próbce

N_0 – liczba jąder promieniotwórczych, która była początkowo

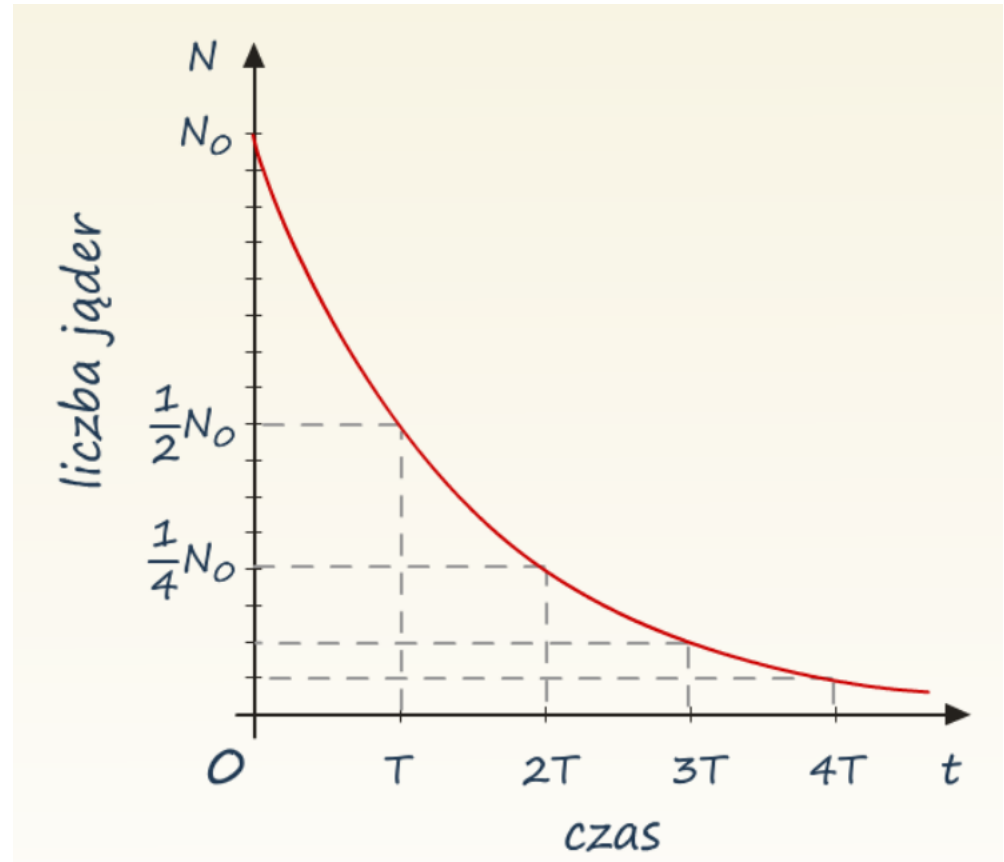
t – czas, który upłynął

T – czas połowicznego rozpadu

Wstęp

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

T – czas połowicznego rozpadu



T_{1/2} to czas, po którym liczba promieniotwórczych jąder w próbce spada do połowy swojej pierwotnej wartości

Wstęp

Aktywność A preparatu promieniotwórczego - szybkość rozpadu promieniotwórczego dN/dt

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$$

dN – liczba jąder, które uległy rozpadowi w czasie dt

zmiana liczby jąder dN przyjmuje wartość ujemną, gdyż liczba jąder w procesie rozpadu ulega zmniejszeniu w czasie dt

Jednostką aktywności jest bekerel [Bq]

1 Bq = 1 rozpad / 1 s

$$A = \frac{|dN|}{dt} = \lambda N$$

Wstęp

stała rozpadu λ , jest miarą prawdopodobieństwa rozpadu na jednostkę czasu

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Stała rozpadu jest związana z czasem życia jądra promieniotwórczego τ i czasem połowicznego rozpadu $T_{1/2}$

$T_{1/2}$ to czas, po którym liczba promieniotwórczych jąder w próbce spada do połowy swojej pierwotnej wartości

Stężenie **C** = aktywność zmierzona **A**/masa **m** [kBq/kg]

Poziomy progowe aktywności oraz stężenia promieniotwórczego izotopów promieniotwórczych

Izotop promieniotwórczy	Aktywność (Bq) P_1	Aktywność (Bq) P_2	Stężenie promieniotwórcze (kBq/kg)
1	2	3	4
H-3	10^9	4×10^{11}	10^6
Be-7	10^7	2×10^{11}	10^3
C-14	10^7	4×10^{11}	10^4
O-15	10^9		10^2
F-18	10^6	10^{10}	10
Na-22	10^6	5×10^9	10
Na-24	10^5	2×10^9	10
Si-31	10^6	6×10^9	10^3
P-32	10^5	5×10^9	10^3
P-33	10^8	4×10^{11}	10^5
S-35	10^8	4×10^{11}	10^5
Cl-36	10^6	10^{11}	10^4
Cl-38	10^5	2×10^9	10
Ar-37	10^8	4×10^{11}	10^6
Ar-41	10^9	3×10^9	10^2
K-40	10^6	9×10^9	10^2
K-42	10^6	2×10^9	10^2
K-43	10^6	7×10^9	10

Wstęp

termin „**poziom zwolnienia**” (**clearance level, CL**) odnosi się do klasyfikacji radioaktywności, dopuszczającej do utylizacji materiały jako odpady nieradioaktywne

Ustalona przez organ prawny wartość stężenia promieniotwórczego, przy którym lub poniżej którego, nadzór prawny nad źródłem promieniowania, którego użytkowanie wymagało zgłoszenia lub zezwolenia, może być zniesiony.

Wstęp

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

Wstęp

Krótko- i długożyciowe izotopy promieniotwórcze



Dostęp do konstrukcji osłonowych po zakończeniu eksploatacji elektrowni jest ograniczony



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

Dane literaturowe

Wiele pierwiastków w betonie może zostać aktywowanych w wyniku oddziaływania neutronów, ale tylko kilka z nich jest długożyciowych.

Najważniejsze z nich to:

Eu-152, Eu-154 Europ

Co-60 Kobalt

Cs-134 Cez

Dane literaturowe

Isotope	Half-life	czas połowicznego rozpadu $T_{1/2}$
^{152}Eu	13.4 y	
^{154}Eu	8.5 y	
^{60}Co	5.27 y	
^{134}Cs	2.065 y	

Dane literaturowe

Wyniki badań dotyczące betonu „nieaktywującego się”

Dane literaturowe – Japonia

About 300 samples of concrete materials in Japan were collected.

Such as 136 aggregates, 97 fine aggregates, 66 cements, and 7 test concrete pieces were collected.

Aggregates	granite 6, gneiss 2, crystalline schist 5, sandstone 23, hard sandstone 5, sand 27, shale 6, breccia 1, quartzite 2, slate 3, quartz porphyry 3, porphyrite 2, andesite 20, porphyry 1, trachyte 1, diabase 2, basalt 7, amphiborite 4, gabbro 4, peridotite 4, serpentinite 1, limestone 7
Cement	normal portland 32, moderate heat 10, fly ash 13, aluminous 1, desulfurization from exhaust gas 2, Portland blast-furnace slag 8

A.Suzuki, T.Iida, J.Moriizumi, T.Kameyama, Y.Sakuma, J.Takada, K.Yamasaki and T.Yoshimoto, Quantative Measurements of Trace Elements with Large Activation Cross Section for Concrete Materials in Japan, 2000

Dane literaturowe - Japonia

All samples were oven-dried at 105°C for 24 h

They were ground into powder of 100 to 200 μm

The samples for activation analysis, weighing about 100mg, were sealed with polyethylene film, and then packed in polyethylene capsules for irradiation

Activation analysis - irradiation analysis was performed in the Pneumatic Tube of irradiation facility of Kyoto Univ. Reactor

Dane literaturowe - Japonia

Each sample was irradiated for 1 h.

thermal neutron, $2.8 \times 10^{13} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$

epithermal neutron, $1.1 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$

fast neutron, $6.0 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$

After 1h irradiation, each sample was measured at several intervals, after 1week, 1 month and 3 months

Dane literaturowe - Japonia

Nineteen nuclides were detected with activation analysis of the samples.

Cobalt-60, Eu-152 and Cs-134 were investigated.

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

Table 4 The concentration of ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu and ¹³⁴Cs forming nuclides in each concrete materials.

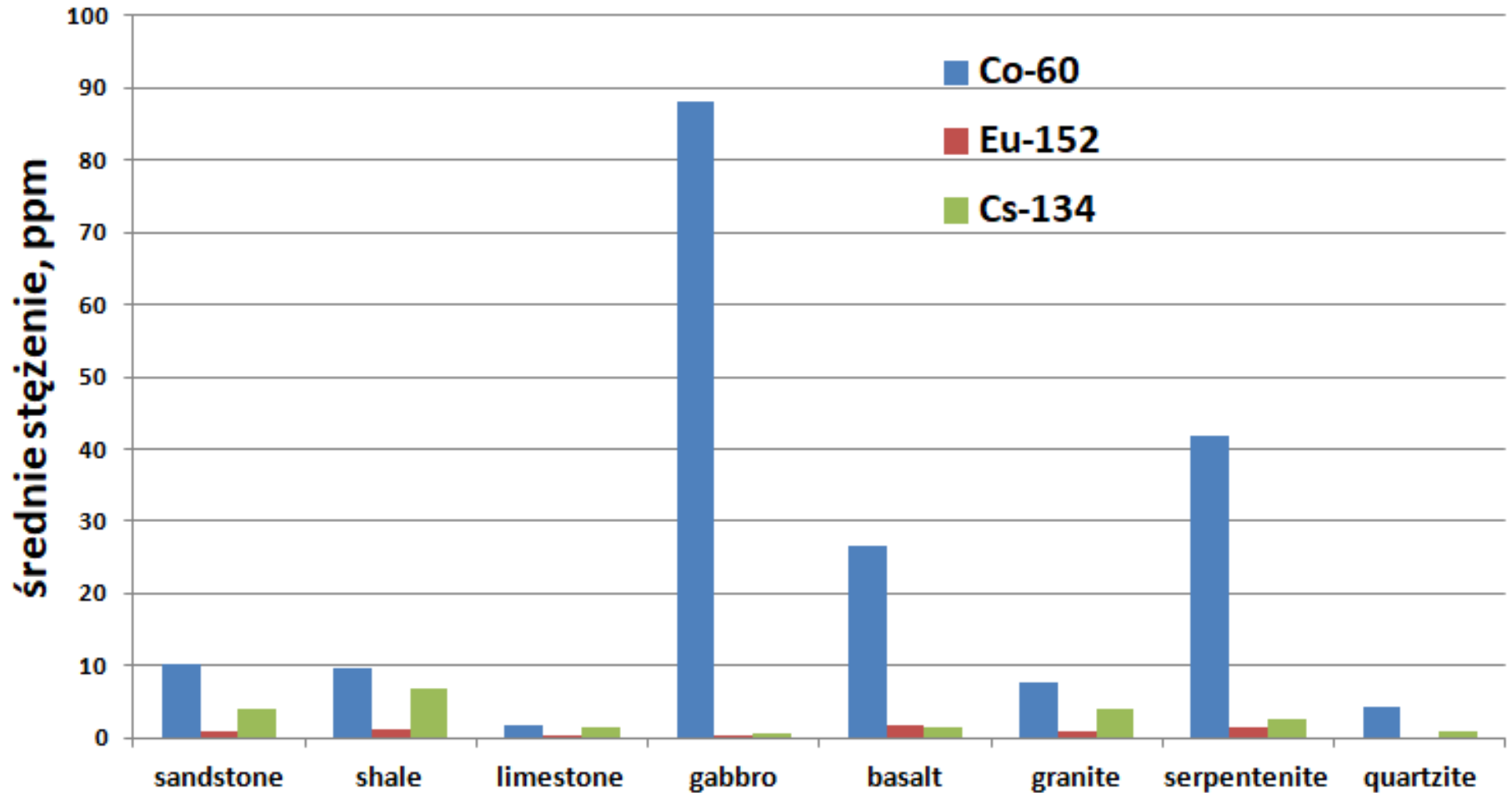
Material	No.of Samples	Co-60			Eu-152			Cs-134		
		[ppm] (range)	S.D.	R	[ppm] (range)	D.	R	[ppm] (range)	D.	R
Granite	6	7.6 (4.2-11.7)	3.1	0.96	0.91 (0.43-1.27)	0.30	0.98	3.9 (2.1-6.9)	1.9	0.94
Gneiss	2	9.7 (9.6-9.8)	0.1	1.0	0.86 (0.74-0.97)	0.17	1.0	5.3 (4.5-6.1)	1.2	1.0
Crystalline schist	5	12.4 (7.1-19.4)	4.9	0.98	1.2 (0.68-1.8)	0.51	0.93	3.3 (1.9-5.0)	1.8	0.93
Hard sandstone	5	14.2 (6.9-9.4)	10.2	0.84	0.75 (0-1.1)	0.46	0.87	4.4 (0-7.5)	3.3	0.97
Sandstone	23	10.2 (2.5-47.7)	7.1	0.79	0.90 (0-2.3)	0.39	0.92	3.9 (0-11.6)	2.2	0.93
Sand	27	6.7 (0.72-19.3)	4.6	0.95	0.73 (0-1.9)	0.49	0.97	2.5 (0-8.7)	1.5	0.90
Shale	6	9.7 (5.2-12.6)	2.8	0.95	1.1 (0.9-1.6)	0.43	0.99	6.7 (2.8-13.5)	4.5	0.92
Breccia	1	19.4			1.2			1.7		
Doromite	1	0.45			0.13			0		
Quartzite	1	4.2			0			0.90		
Slate	3	11.1 (10.5-11.6)	0.8	1.0	1.5 (1.1-1.7)	0.30	0.94	6.5 (6.2-7.5)	0.88	0.96
Quartz porphyry	2	6.5 (6.3-6.7)	0.27	1.0	1.0 (0.9-1.2)	0.16	1.0	7.9 (7.5-8.3)	0.60	1.0
Porphyrite	1	31.5			3.1			0		
Andesite	20	15.4 (0.45-43.2)	11.7	0.92	1.2 (0.13-3.2)	0.52	0.88	4.5 (0-18.3)	4.0	0.90
Porphyry	1	2.5			0.58			1.9		
Trachyte	1(2)	0.66			0			1.6		
Diabase	1	44.6			1.6			0		
Basalt	7	26.6 (0-67.3)	23.1	0.96	1.8 (0.77-3.1)	0.75	0.99	1.6 (0-6.9)	2.2	0.84
Amphibolite	4	15.4 (0-43.1)	15.9	0.93	0.97 (0-1.92)	0.57	0.93	2.0 (0-8.7)	1.2	0.96
Gabbro	4	88.1 (42.8-127)	39.8	0.93	0.28 (0-0.41)	0.13	0.91	0.53 (0-2.1)	0.85	0.79
Peridotite	4	107 (106-113)	4.3	0.94	0.11 (0-0.43)	0.17	0.79	0	0	0
Serpentinite	1	41.7			1.4			2.7		
Limestone	7	1.8 (0-7.2)	2.5	0.81	0.17 (0-0.75)	0.27	0.85	1.4 (0-6.7)	2.3	0.74
Average in aggregate		17.3	19.1	0.78	0.93	0.61	0.86	3.2	2.7	0.93
Portland cement	32	9.4 (5.4-14.2)	3.0	0.92	0.68 (0.39-0.94)	0.21	0.89	5.9 (1.6-15.1)	2.9	0.95
Moderate heat	10	23.9 (6.1-51.5)	16.3	0.95	1.17 (0.49-6.4)	1.2	0.63	9.8 (2.9-13.8)	8.7	0.82
Fly ash	13	16.5 (6.6-31.6)	7.2	0.95	2.4 (0.94-4.6)	0.83	0.94	7.4 (4.1-15.7)	3.6	0.90
Aluminous	1	3.4			1.2			1.4		
Portland blast-furnace slag	8	5.3 (2.7-9.0)	1.9	0.97	1.6 (1.3-2.3)	0.30	0.89	3.9 (1.6-10.8)	2.8	0.87
Desulfurrization from exhaust gas	2	0.4 (0.15-0.60)	0.33	1.0	0.06 (0.05-0.07)	0.01	1.0	0.05 (0-1.0)	0.08	1.0
Average in cement		12.1	8.6	0.89	1.2	0.92	0.85	6.3	4.39	0.87

S.D. : Standard deviation Relative coefficient : deviation of their provability distribution from normal distribution

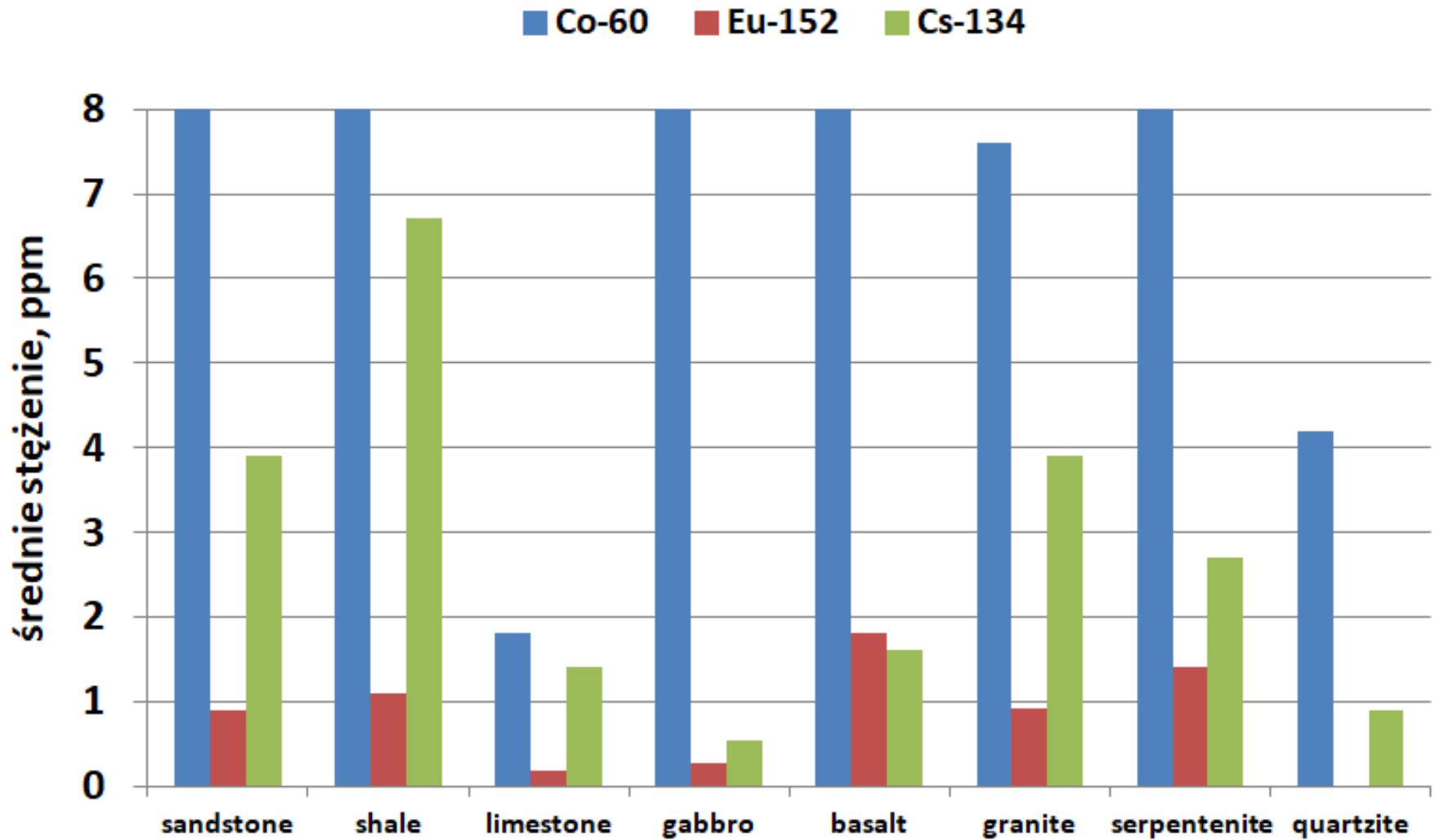
“0” means less than limits of detection.

Dane literaturowe - Japonia

Stężenie **C** = aktywność zmierzona **A**/masa **m** [kBq/kg]



Dane literaturowe - Japonia



Dane literaturowe - Japonia

średnie stężenie Co-60, Eu-152, Cs-134, w betonie (wartość obliczona)

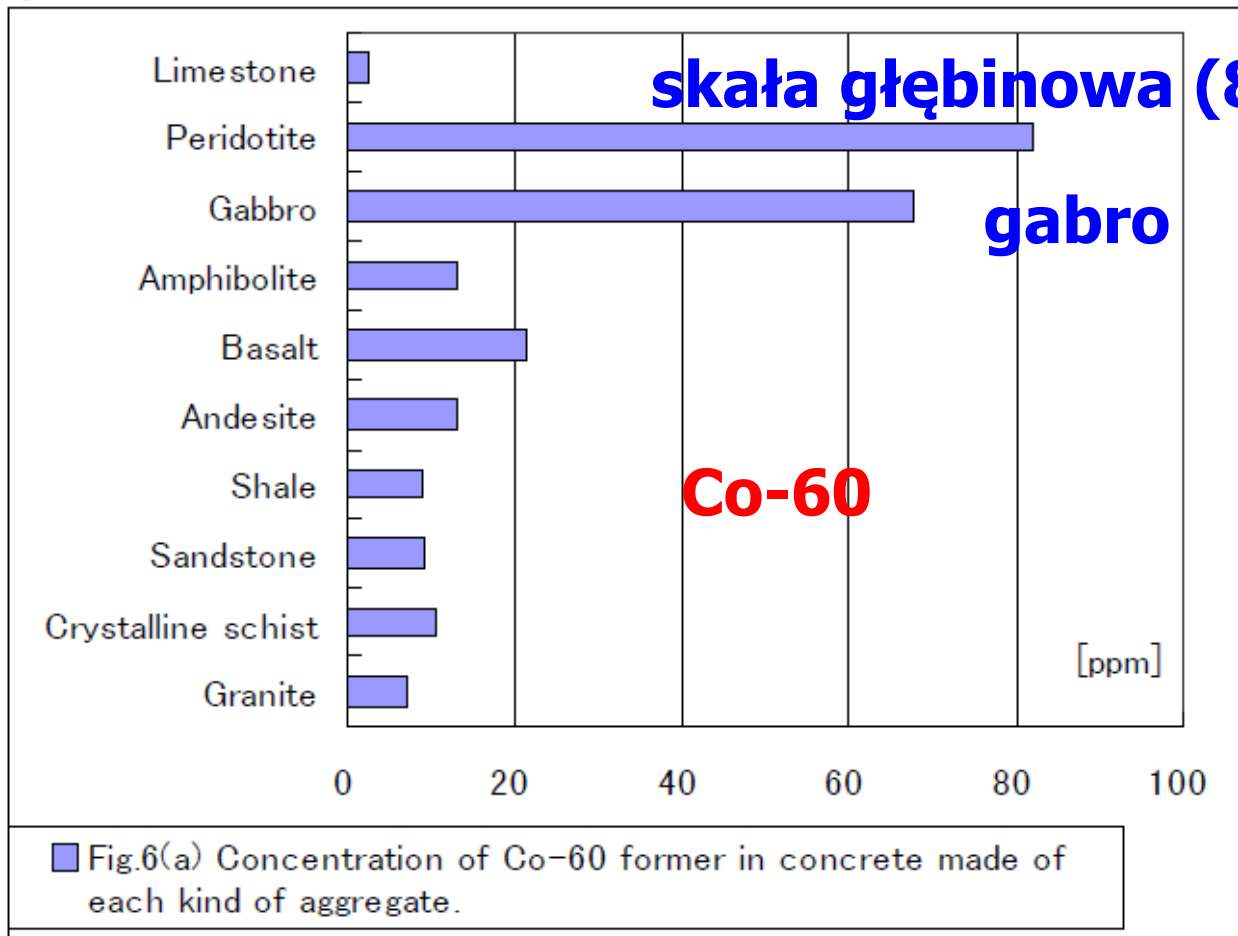
Stężenie radionuklidów określono za pomocą równania:

$$C_{\text{beton}} = (0,12 C_{\text{cement}} + 0,26 C_{\text{kruszywo drobne}} + 0,42 C_{\text{kruszywo grube}}) \cdot 1,1$$

$$C_{\text{beton}} [\text{Bq/kg}]$$

Dane literaturowe - Japonia

średnie stężenie Co-60, Eu-152, Cs-134, w betonie (wartość obliczona)



skała głębinowa (80% oliwin)

gabbro

Co-60

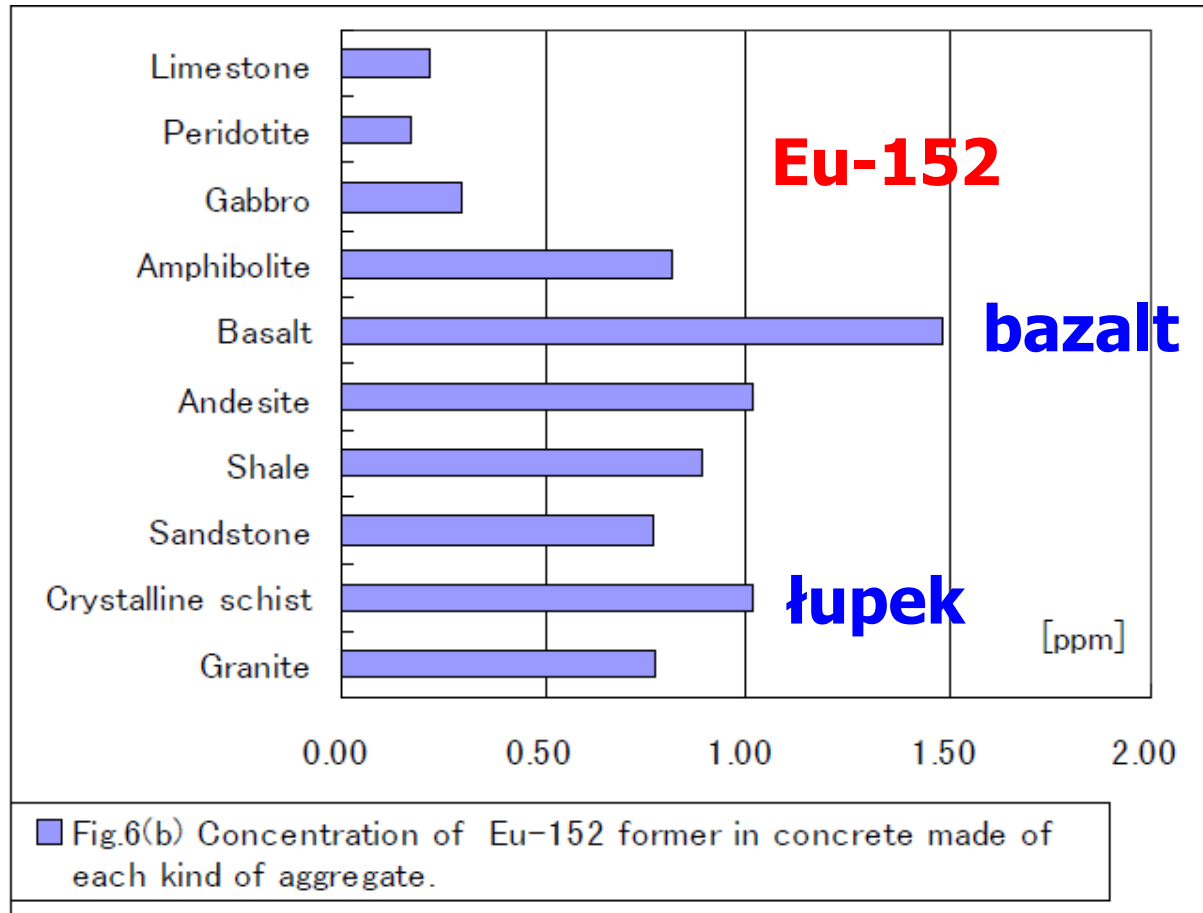
[ppm]

oliwin

(Mg, Fe)₂SiO₄

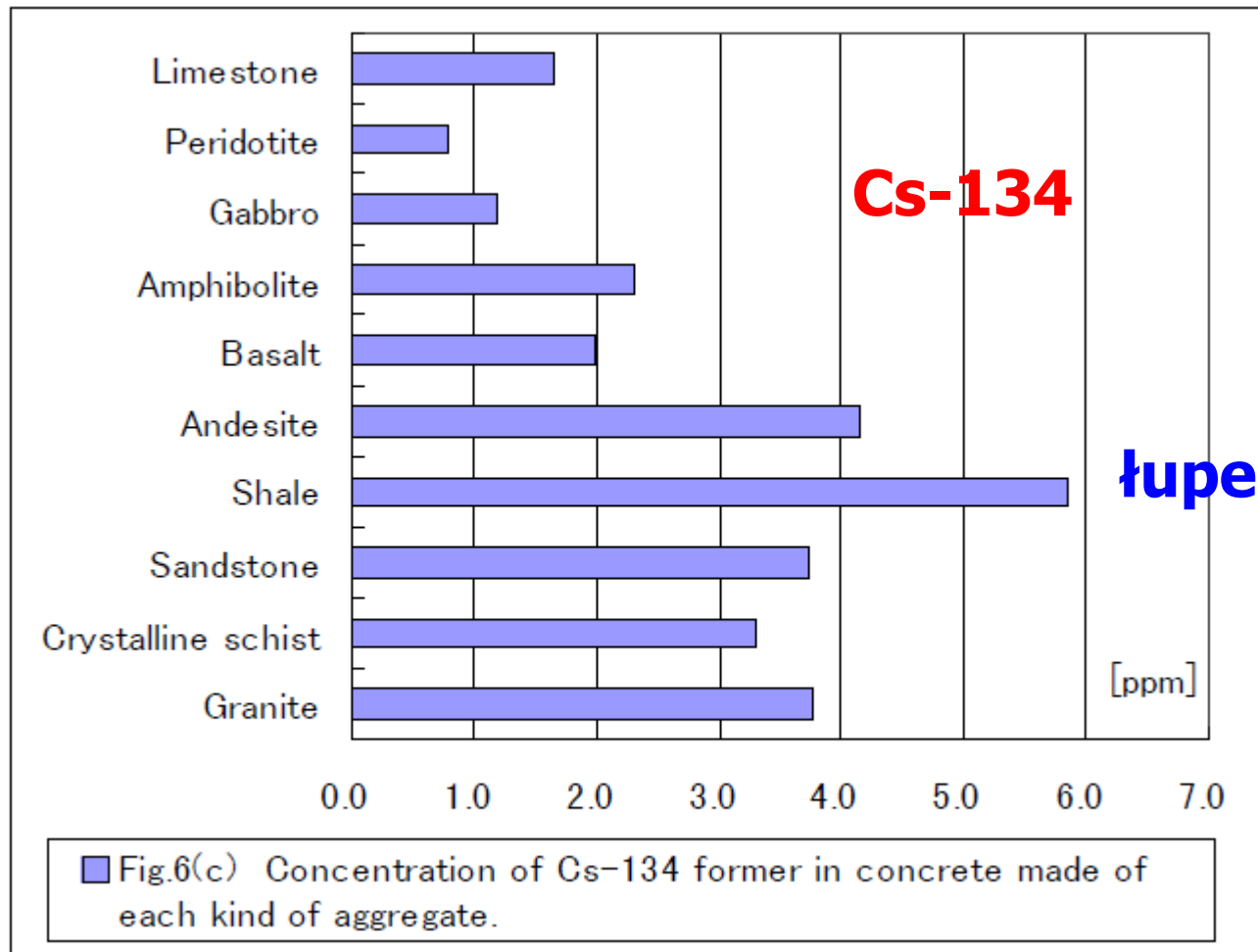
Dane literaturowe - Japonia

średnie stężenie Co-60, Eu-152, Cs-134, w betonie (wartość obliczona)



Dane literaturowe - Japonia

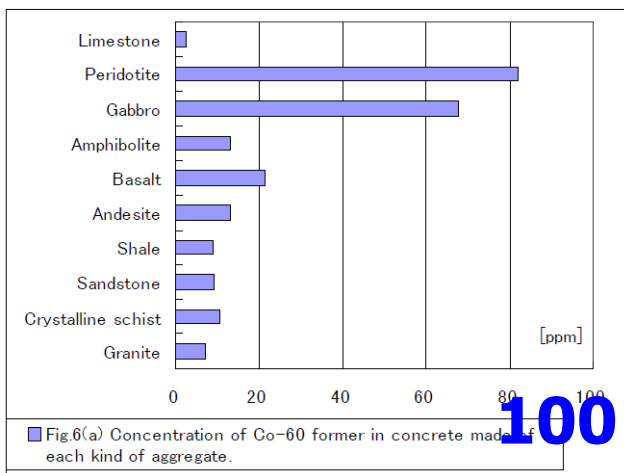
średnie stężenie Co-60, Eu-152, Cs-134, w betonie (wartość obliczona)



Dane literaturowe - Japonia

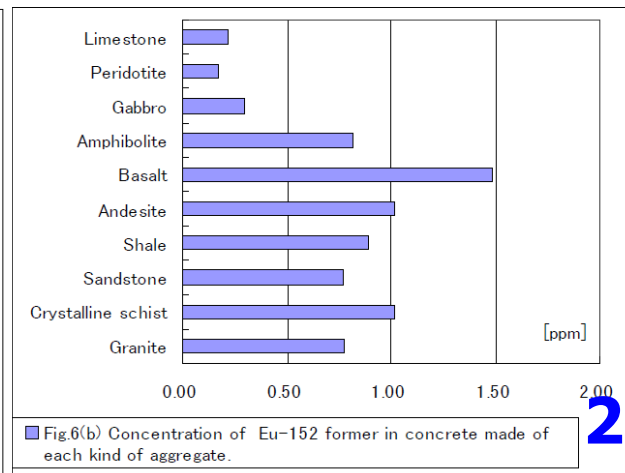
średnie stężenie Co-60, Eu-152, Cs-134, w betonie (wartość obliczona)

Co-60



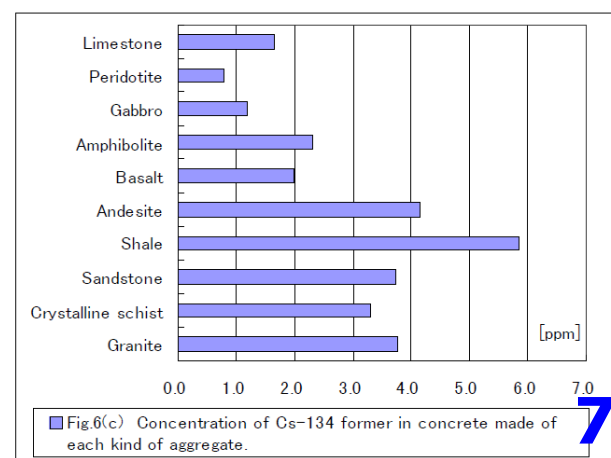
100

Eu-152



2

Cs-134



7

Co-60

$$T_{1/2} = 5,27 \text{ lat}$$

Eu-152

$$T_{1/2} = 13,54 \text{ lat}$$

Cs-134

$$T_{1/2} = 2,06 \text{ lat}$$

Dane literaturowe - Japonia

Skały magmowe (wulkaniczne i głębinowe) miały o wiele wyższą zawartość Co-60, niż skały osadowe i skały węglanowe.

Beton z kruszywem wapiennym uznano za najbardziej odpowiedni beton do elektrowni jądrowej – najmniej aktywujący się

Ilości pierwiastków śladowych w cemencie zależały od miejsca pochodzenia i procesu produkcji

Dane literaturowe – Japonia 2

Nuclear Safety Commission's Special Committee on Standards of Radioactive Waste, "Clearance Level for Solid Materials arising from Nuclear Reactors in Japan," 17 Mar. 1999

„poziom zwolnienia” (clearance level, CL)

CL Co-60 = 0,4 Bq/g

CL Eu-152 = 0,4 Bq/g

CL Cs-134 = 0,5 Bq/g

A.Suzuki, T.Iida, J.Moriizumi, T.Kameyama, Y.Sakuma, J.Takada, K.Yamasaki and T.Yoshimoto, Trace elements with large activation cross section in concrete materials in Japan, 2001

Dane literaturowe – Japonia 2

Such as 208 aggregates, 67 cements, and 7 test concrete pieces were collected.

Aggregates	Granite 6, Gneiss 5, Crystalline schist 5, Diorite 10, Porphylyte 5, Quartz porphyry 6, Andesite 20, Porphyry 3, Trachyte 5, Basalt 7, Diabase 9, Amphiborite 6, Gabbro 7, Peridotite 10, Serpentinite 9, Hard sandstone 5, Sandstone 31, Sand 25, Shale 5, Quartzite 2, Slate 10, Breccia 1, Limestone 15, Dolomite 1
Cements	Portland 34, Moderate heat 10, Fly ash 14, Aluminous 1, Portland blast-furnace slag 8

Material	Density (g·cm ⁻³)	No. of samples	Mean ⁶⁰ Co				Mean ¹⁵² Eu				Mean ¹³⁴ Cs			
			[ppm]	(min-max)	S.D.	(R) ^b	[ppm]	(min-max)	S.D.	(R)	[ppm]	(min-max)	S.D.	(R)
Aggregates														
Acidic rock														
Granite	2.71	6	7.69 (2.91–14.2)	4.35	0.980	0.993 (0.641–1.98)	0.439	0.853	2.89 (2.04–5.44)	1.08	0.830			
Gneiss	2.72	5	15.1 (9.62–27.2)	11.7	0.955	1.16 (0.817–1.32)	2.95	0.917	4.88 (3.16–6.12)	0.34	0.858			
Crystalline schist	2.79	5	17.4 (8.50–26.6)	6.71	0.984	1.02 (0.708–1.20)	0.204	0.930	3.01 (0.865–4.95)	1.79	0.966			
Mean	2.74	16	13.0	7.00	0.966	1.05	0.32	0.937	3.55	1.02	0.979			
Intermediate rock														
Diorite	2.69	10	16.4 (2.26–37.3)	11.7	0.955	3.93 (0.680–11.1)	2.95	0.917	1.24 (0.930–2.23)	0.34	0.858			
Porphyrite	2.61	5	17.4 (11.7–25.8)	5.48	0.972	1.22 (0.752–1.41)	0.229	0.838	2.97 (0.988–5.55)	1.94	0.966			
Quartz porphyry	2.72	6	5.06 (0.550–8.43)	2.72	0.973	1.41 (0.889–11.2)	3.76	0.910	3.41 (0.310–7.98)	3.18	0.925			
Andesite	2.70	20	18.0 (5.21–42.5)	11.2	0.949	0.947 (0.614–2.10)	0.271	0.873	4.82 (0.305–18.3)	3.94	0.886			
Porphyry	2.64	3	21.6 (6.65–33.0)	13.6	0.972	4.93 (0.830–13.0)	6.28	0.873	1.34 (1.04–1.92)	0.46	0.876			
Trachyte	2.68	5	3.73 (0.631–10.7)	4.04	0.892	0.981 (0.467–1.32)	0.359	0.954	4.27 (1.685–7.73)	2.16	0.956			
Mean	2.68	49	14.8	10.8	0.961	1.89	2.1	0.749	3.46	2.89	0.860			
Basic rock														
Basalt	2.74	7	30.4 (11.3–67.3)	19.5	0.941	1.64 (0.843–2.65)	0.604	0.986	1.90 (0.475–6.88)	1.91	0.814			
Diabase	2.82	9	35.2 (14.4–44.2)	9.45	0.929	1.51 (0.010–5.27)	1.45	0.906	1.21 (0.462–2.64)	0.70	0.955			
Amphibolite	3.17	6	74.6 (42.8–107)	29.8	0.862	0.454 (0.010–1.08)	0.46	0.904	0.841 (0.010–3.10)	1.12	0.873			
Gabbro	3.07	7	78.4 (40.7–126)	35.7	0.918	0.387 (0.010–0.742)	0.26	0.980	0.793 (0.010–1.99)	0.78	0.946			
Peridotite	3.05	10	91.6 (16.4–121)	29.8	0.796	0.291 (0.010–1.49)	0.377	0.813	0.769 (0.010–2.60)	0.88	0.904			
Serpentinite	2.90	9	84.9 (5.38–110)	31.3	0.845	1.03 (0.010–2.42)	1.054	0.944	0.627 (0.030–4.05)	0.90	0.689			
Mean	2.95	48	66.8	36.1	0.934	0.889	0.93	0.892	1.00	0.10	0.855			
Sedimentary rock														
Hard sandstone	2.66	5	14.2 (6.79–31.9)	10.3	0.843	0.836 (0.394–1.21)	0.339	0.981	4.82 (1.62–7.51)	2.66	0.986			
Sandstone	2.58	31	8.88 (3.51–33.4)	4.48	0.820	0.931 (0.530–1.26)	0.195	0.992	3.95 (1.01–10.0)	1.95	0.891			
Sand	2.65	25	6.62 (0.721–18.9)	4.57	0.947	0.743 (0.241–1.17)	0.249	0.988	2.70 (0.875–8.74)	1.43	0.890			
Shale	2.65	5	8.80 (5.33–12.3)	3.42	0.933	0.911 (0.814–1.10)	0.197	0.965	6.37 (2.87–13.5)	4.79	0.925			
Quartzite	2.69	2	3.55 (2.99–4.10)	0.825	1.000	0.297 (0.173–0.420)	0.184	1.000	1.93 (1.07–2.79)	1.28	1.000			
Slate	2.69	10	17.3 (6.55–51.4)	10.5	0.814	1.24 (0.010–2.89)	0.676	0.920	5.29 (1.14–9.84)	2.99	0.964			
Breccia	2.66	1	19.2			0.741			1.92					
Mean	2.63	79	9.56	6.51	0.845	0.884	0.34	0.912	3.86	2.38	0.921			
Carbonate rock														
Limestone	2.71	15	0.269 (0.048–0.976)	0.209	0.861	0.067 (0.015–0.168)	0.042	0.952	0.145 (0.010–0.987)	0.15	0.746			
Dolomite	2.62	1	0.468			0.135			0.234					
Mean	2.70	16	0.281	0.213	0.889	0.071	0.044	0.962	0.151	0.20	0.767			
Average		208	23.5	25.6	0.823	1.07	1.12	0.702	2.79	2.51	0.911			
Cements														
Portland cement		34	9.03 (0.861–19.5)	3.03	0.919	0.707 (0.264–1.64)	0.214	0.904	4.67 (0.377–15.7)	3.68	0.911			
Moderate heat		10	21.4 (6.12–52.3)	15.4	0.920	0.564 (0.401–0.951)	0.125	0.840	9.83 (2.93–37.7)	8.72	0.818			
Fly ash		14	16.5 (6.63–31.6)	7.22	0.953	2.38 (0.935–4.63)	0.836	0.945	7.44 (4.10–15.7)	3.55	0.896			
Aluminous		1	3.55			1.50			0.01					
Portland blast-furnace slag		8	5.32 (2.68–9.01)	1.89	0.971	1.62 (1.41–2.30)	0.267	0.854	3.91 (1.60–10.8)	2.79	0.872			
Average		67	11.9	8.6	0.890	1.15	0.92	0.850	5.86	4.39	0.870			

Dane literaturowe – Japonia 2

Co-60

Eu-152

Cs-134

Material	Density (g·cm ⁻³)	No. of samples	Mean ⁶⁰ Co			Mean ¹⁵² Eu				Mean ¹³⁴ Cs				
			[ppm]	(min-max)	S.D. ^{a)} (R) ^{b)}	[ppm]	(min-max)	S.D.	(R)	[ppm]	(min-max)	S.D.	(R)	
Aggregates														
Acidic rock														
Granite	2.71	6	7.69	(2.91–14.2)	4.35	0.980	0.993	(0.641–1.98)	0.439	0.853	2.89	(2.04–5.44)	1.08	0.830
Gneiss	2.72	5	15.1	(9.62–27.2)	11.7	0.955	1.16	(0.817–1.32)	2.95	0.917	4.88	(3.16–6.12)	0.34	0.858
Crystalline schist	2.79	5	17.4	(8.50–26.6)	6.71	0.984	1.02	(0.708–1.20)	0.204	0.930	3.01	(0.865–4.95)	1.79	0.966
Mean	2.74	16	13.0		7.00	0.966	1.05		0.32	0.937	3.55		1.02	0.979
Intermediate rock														
Diorite	2.69	10	16.4	(2.26–37.3)	11.7	0.955	3.93	(0.680–11.1)	2.95	0.917	1.24	(0.930–2.23)	0.34	0.858
Porphyrite	2.61	5	17.4	(11.7–25.8)	5.48	0.972	1.22	(0.752–1.41)	0.229	0.838	2.97	(0.988–5.55)	1.94	0.966
Quartz porphyry	2.72	6	5.06	(0.550–8.43)	2.72	0.973	1.41	(0.889–11.2)	3.76	0.910	3.41	(0.310–7.98)	3.18	0.925
Andesite	2.70	20	18.0	(5.21–42.5)	11.2	0.949	0.947	(0.614–2.10)	0.271	0.873	4.82	(0.305–18.3)	3.94	0.886
Porphyry	2.64	3	21.6	(6.65–33.0)	13.6	0.972	4.93	(0.830–13.0)	6.28	0.873	1.34	(1.04–1.92)	0.46	0.876
Trachyte	2.68	5	3.73	(0.631–10.7)	4.04	0.892	0.981	(0.467–1.32)	0.359	0.954	4.27	(1.685–7.73)	2.16	0.956
Mean	2.68	49	14.8		10.8	0.961	1.89		2.1	0.749	3.46		2.89	0.860
Basic rock														
Basalt	2.74	7	30.4	(11.3–67.3)	19.5	0.941	1.64	(0.843–2.65)	0.604	0.986	1.90	(0.475–6.88)	1.91	0.814
Diabase	2.82	9	35.2	(14.4–44.2)	9.45	0.929	1.51	(0.010–5.27)	1.45	0.906	1.21	(0.462–2.64)	0.70	0.955
Amphibolite	3.17	6	74.6	(42.8–107)	29.8	0.862	0.454	(0.010–1.08)	0.46	0.904	0.841	(0.010–3.10)	1.12	0.873
Gabbro	3.07	7	78.4	(40.7–126)	35.7	0.918	0.387	(0.010–0.742)	0.26	0.980	0.793	(0.010–1.99)	0.78	0.946
Peridotite	3.05	10	91.6	(16.4–121)	29.8	0.796	0.291	(0.010–1.49)	0.377	0.813	0.769	(0.010–2.60)	0.88	0.904
Serpentinite	2.90	9	84.9	(5.38–110)	31.3	0.845	1.03	(0.010–2.42)	1.054	0.944	0.627	(0.030–4.05)	0.90	0.689
Mean	2.95	48	66.8		36.1	0.934	0.889		0.93	0.892	1.00		0.10	0.855

Dane literaturowe – Japonia 2

Co-60

Eu-152

Cs-134

Sedimentary rock													
Hard sandstone	2.66	5	14.2 (6.79–31.9)	10.3	0.843	0.836 (0.394–1.21)	0.339	0.981	4.82 (1.62–7.51)	2.66	0.986		
Sandstone	2.58	31	8.88 (3.51–33.4)	4.48	0.820	0.931 (0.530–1.26)	0.195	0.992	3.95 (1.01–10.0)	1.95	0.891		
Sand	2.65	25	6.62 (0.721–18.9)	4.57	0.947	0.743 (0.241–1.17)	0.249	0.988	2.70 (0.875–8.74)	1.43	0.890		
Shale	2.65	5	8.80 (5.33–12.3)	3.42	0.933	0.911 (0.814–1.10)	0.197	0.965	6.37 (2.87–13.5)	4.79	0.925		
Quartzite	2.69	2	3.55 (2.99–4.10)	0.825	1.000	0.297 (0.173–0.420)	0.184	1.000	1.93 (1.07–2.79)	1.28	1.000		
Slate	2.69	10	17.3 (6.55–51.4)	10.5	0.814	1.24 (0.010–2.89)	0.676	0.920	5.29 (1.14–9.84)	2.99	0.964		
Breccia	2.66	1	19.2			0.741			1.92				
Mean	2.63	79	9.56	6.51	0.845	0.884	0.34	0.912	3.86	2.38	0.921		
Carbonate rock													
Limestone	2.71	15	0.269 (0.048–0.976)	0.209	0.861	0.067 (0.015–0.168)	0.042	0.952	0.145 (0.010–0.987)	0.15	0.746		
Dolomite	2.62	1	0.468			0.135			0.234				
Mean	2.70	16	0.281	0.213	0.889	0.071	0.044	0.962	0.151	0.20	0.767		
Basic rock													
Basalt	2.74	7	30.4 (11.3–67.3)	19.5	0.941	1.64 (0.843–2.65)	0.604	0.986	1.90 (0.475–6.88)	1.91	0.814		
Diabase	2.82	9	35.2 (14.4–44.2)	9.45	0.929	1.51 (0.010–5.27)	1.45	0.906	1.21 (0.462–2.64)	0.70	0.955		
Amphibolite	3.17	6	74.6 (42.8–107)	29.8	0.862	0.454 (0.010–1.08)	0.46	0.904	0.841 (0.010–3.10)	1.12	0.873		
Gabbro	3.07	7	78.4 (40.7–126)	35.7	0.918	0.387 (0.010–0.742)	0.26	0.980	0.793 (0.010–1.99)	0.78	0.946		
Peridotite	3.05	10	91.6 (16.4–121)	29.8	0.796	0.291 (0.010–1.49)	0.377	0.813	0.769 (0.010–2.60)	0.88	0.904		
Serpentinite	2.90	9	84.9 (5.38–110)	31.3	0.845	1.03 (0.010–2.42)	1.054	0.944	0.627 (0.030–4.05)	0.90	0.689		
Mean	2.95	48	66.8	36.1	0.934	0.889	0.93	0.892	1.00	0.10	0.855		

Dane literaturowe – Japonia 2

Co-60

Eu-152

Cs-134

Cements

Portland cement	34	9.03 (0.861–19.5)	3.03	0.919	0.707 (0.264–1.64)	0.214	0.904	4.67 (0.377–15.7)	3.68	0.911
Moderate heat	10	21.4 (6.12–52.3)	15.4	0.920	0.564 (0.401–0.951)	0.125	0.840	9.83 (2.93–37.7)	8.72	0.818
Fly ash	14	16.5 (6.63–31.6)	7.22	0.953	2.38 (0.935–4.63)	0.836	0.945	7.44 (4.10–15.7)	3.55	0.896
Aluminous	1	3.55			1.50			0.01		
Portland blast-furnace slag	8	5.32 (2.68–9.01)	1.89	0.971	1.62 (1.41–2.30)	0.267	0.854	3.91 (1.60–10.8)	2.79	0.872
Average	67	11.9	8.6	0.890	1.15	0.92	0.850	5.86	4.39	0.870

Dane literaturowe – Japonia 2

$$C_{\text{beton}} = (0,12 C_{\text{cement}} + 0,26 C_{\text{kruszywo drobne}} + 0,42 C_{\text{kruszywo grube}}) \cdot 1,1$$

$$M = \frac{3C_e + 7C_a D}{3 + 7D} \quad [\text{Bq/g}]$$

M – stężenie radionuklidów w betonie

C_e – stężenie w cemencie

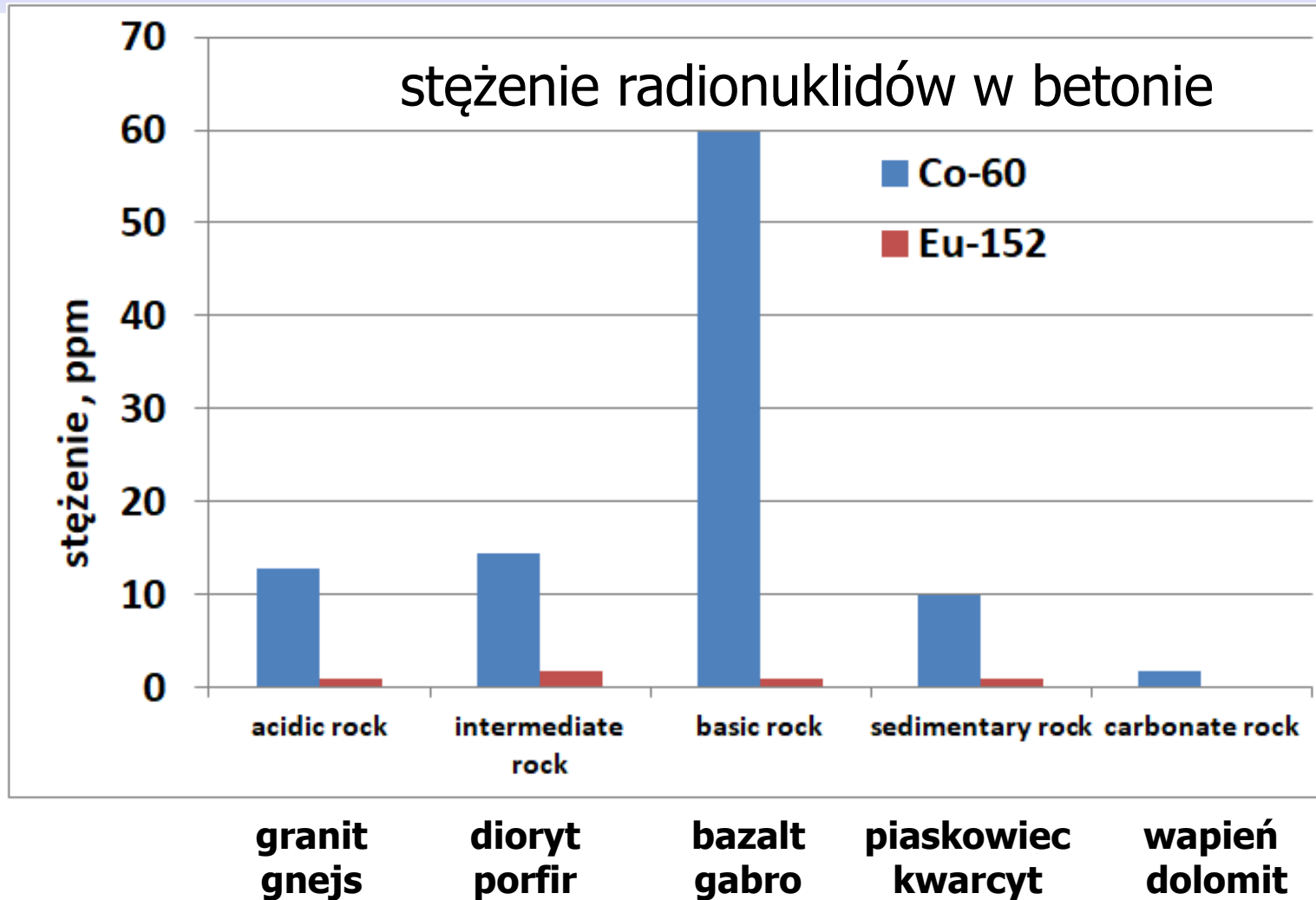
C_a – stężenie w kruszywie

D – gęstość kruszywa [g/cm^3]

cement portlandzki

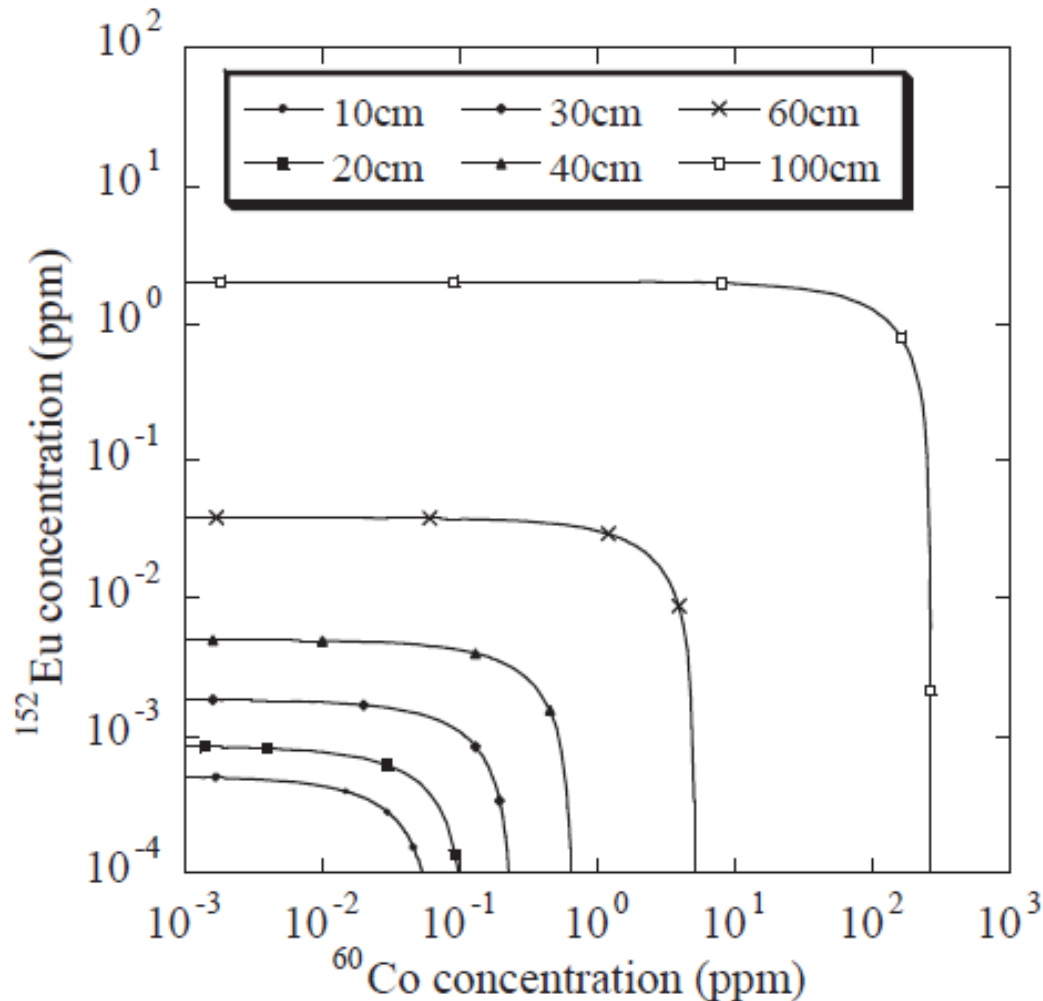
w/c=0,53

Dane literaturowe – Japonia 2



Dane literaturowe – Japonia 2

Fig. 5 The concentrations of ^{60}Co and ^{152}Eu in the biological shielding concrete satisfying the clearance level at each depth



**„poziom zwolnienia”
(clearance level, CL)**

Dane literaturowe – Japonia 2

Zastosowanie kruszywa ze skał węglanowych zmniejsza stężenia Co-60 i Eu-152 w betonie osłonowym o 1/25 -1/100 odnośnie do średniej wartości zwykłego betonu

Starannie selekcjonując rodzaj cementu, można obniżyć stężenia do około 1/50 średniej wartości stężenia cementu

Połączenie najniższych stężeń Co-60 i Eu-152 w betonie to zastosowanie wapienia jako kruszywa i białego cementu portlandzkiego

Dane literaturowe – Japonia 2

The carbonate rock concrete was excellent as biological shielding concrete, because the neutron shielding effect is a little larger than that of ordinary concrete. However, there is a problem that Ca-41 production is very large on carbonate rock concrete.

Though the serpentinite concrete was the most excellent with respect to neutron shielding effect, it had very high concentrations of Co-60. Therefore, in the viewpoint of reducing the radioactive waste, serpentinite concrete was not suitable for biological shield.

By the way, ^{60}Co , ^{152}Eu and ^{134}Cs formed in aggregates were decreased by weathering, however, these aggregates were not suitable for concrete because of their lower strength.

The fly ash cement was not suitable for the biological shielding concrete, because fly ash is easy to activate, and the natural radionuclides concentration in fly ash are also very high.

Other important residual radionuclides are ^{63}Ni and ^{55}Fe by activating the reinforcement. The evaluation of these nuclides is made to be future problem.

Dane literaturowe – Japonia 3

To classify the radioactive waste, clearance level (**CL**) of each radioactive nuclide (**C_i** [Bq/g]) was established by IAEA.

To classify radioactive/non-radioactive materials, $\Sigma(\mathbf{D}_i/\mathbf{C}_i)$ is calculated, where

“**D_i**” indicates concentration of each residual radioisotope

“**i**” indicates each radioisotope.

When the $\Sigma(D_i/C_i)$ of waste is less than 1, the waste can be treated as non-radioactive waste.

np. $D_{\text{Co-60}}$ stężenie Co-60 po $2 \times 10^5 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 40 lat pracy, 6 lat studzenia
 $C_{\text{Co-60}}$ poziom zwolnienia CL Co-60 = 0,1

International Atomic Energy Agency, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance Safety Guide No.RS-G-1.7, 2004

Ken-Ichi Kimura, Akira Hasegawa, Katsumi Hayashi, Mikio Uematsu, Tomohiro Ogata, Takao Tanosaki, Ryoetsu Yoshino, Mituru Sato, Minoru Saito and Masaharu Kinno, Development of Low-Activation Design Method for Reduction of Radioactive Waste below Clearance Level, 2008

Dane literaturowe – Japonia 3

- (1) To develop a database on the content of target elements, which transform radioactive nuclides, in raw materials of reinforced concrete
- (2) To develop low activation cements and reinforcing steel bars for structural components

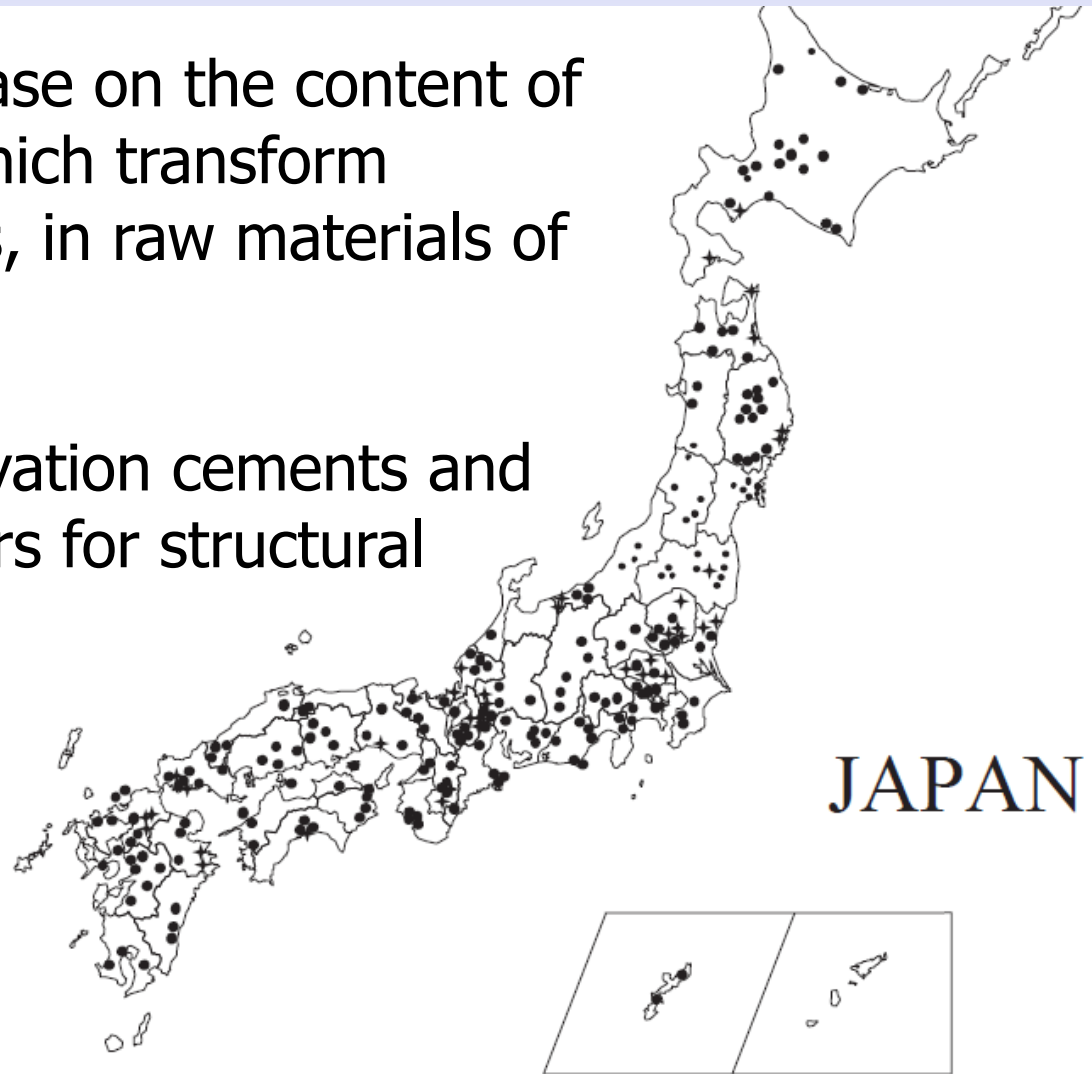


Fig. 1 Sampling sites
Solid circles indicate sampling sites of aggregates.
Solid crosses indicate sampling sites of cements.

Dane literaturowe – Japonia 3

Eu-152, Eu-154, Co-60

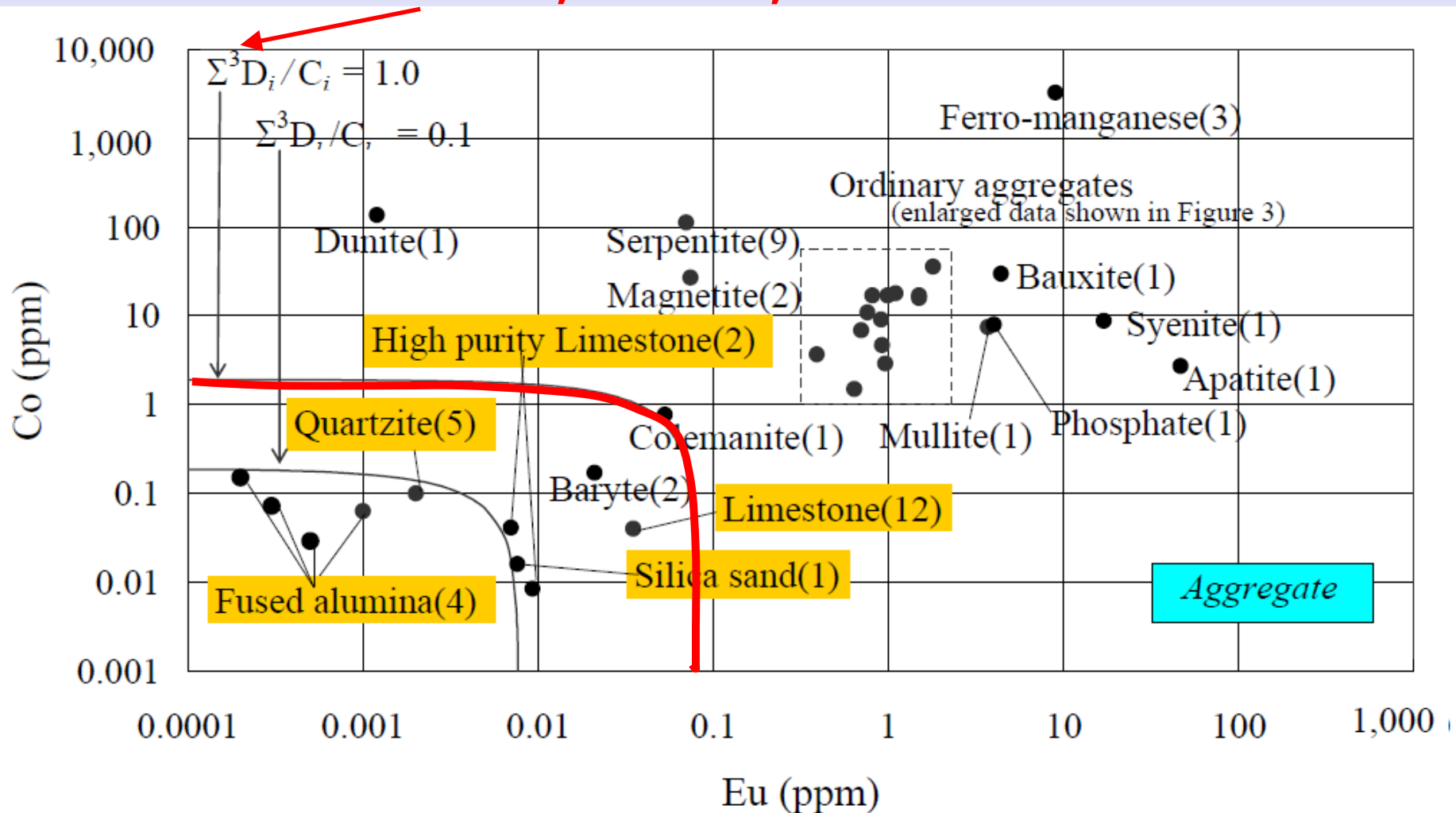


Figure 3 Distribution of quantities for Eu and Co in aggregates with enlargement of ordinary aggregates (Numbers in parentheses indicate the number of specimens)

Dane literaturowe – Japonia 3

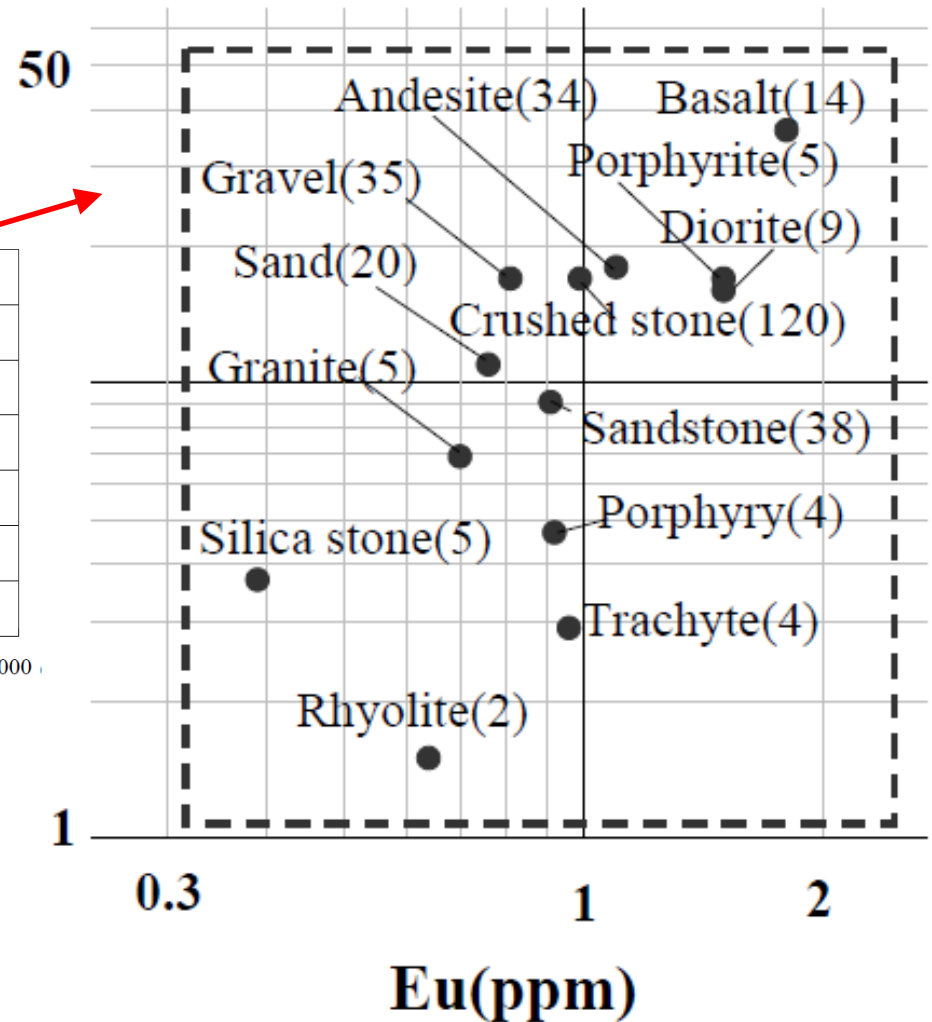
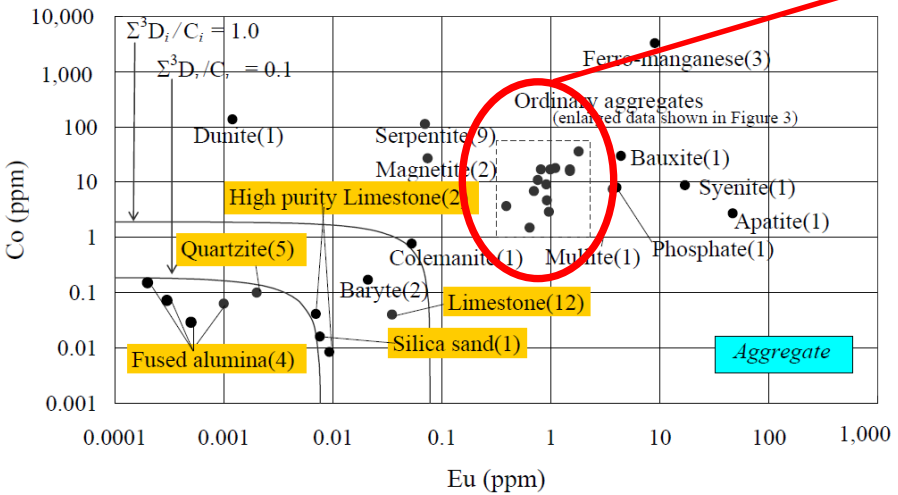


Figure 4 Enlargement of the distribution for Ordinary aggregates from Figure 2 (Numbers in parentheses indicate the number of specimens)

Dane literaturowe – Japonia 3

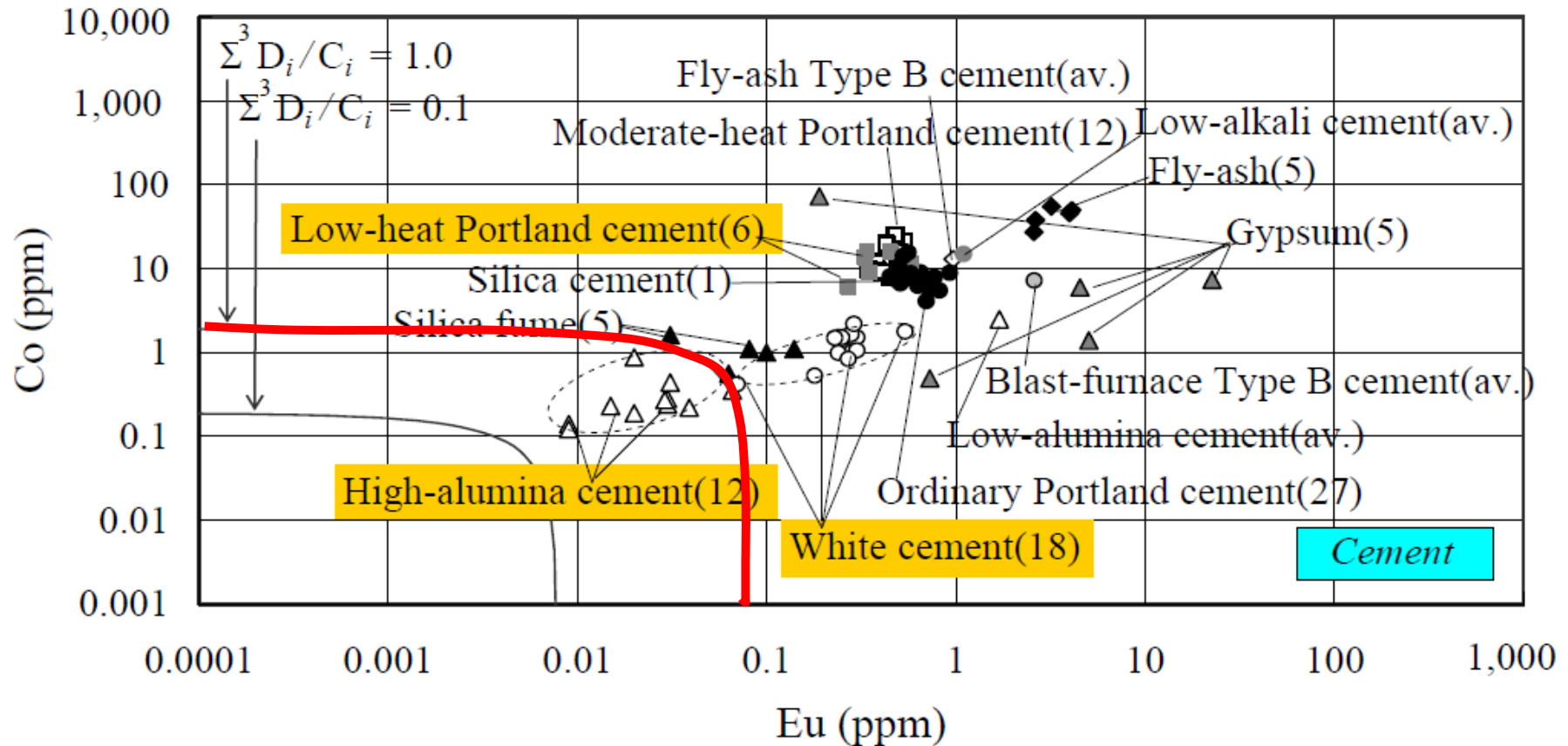
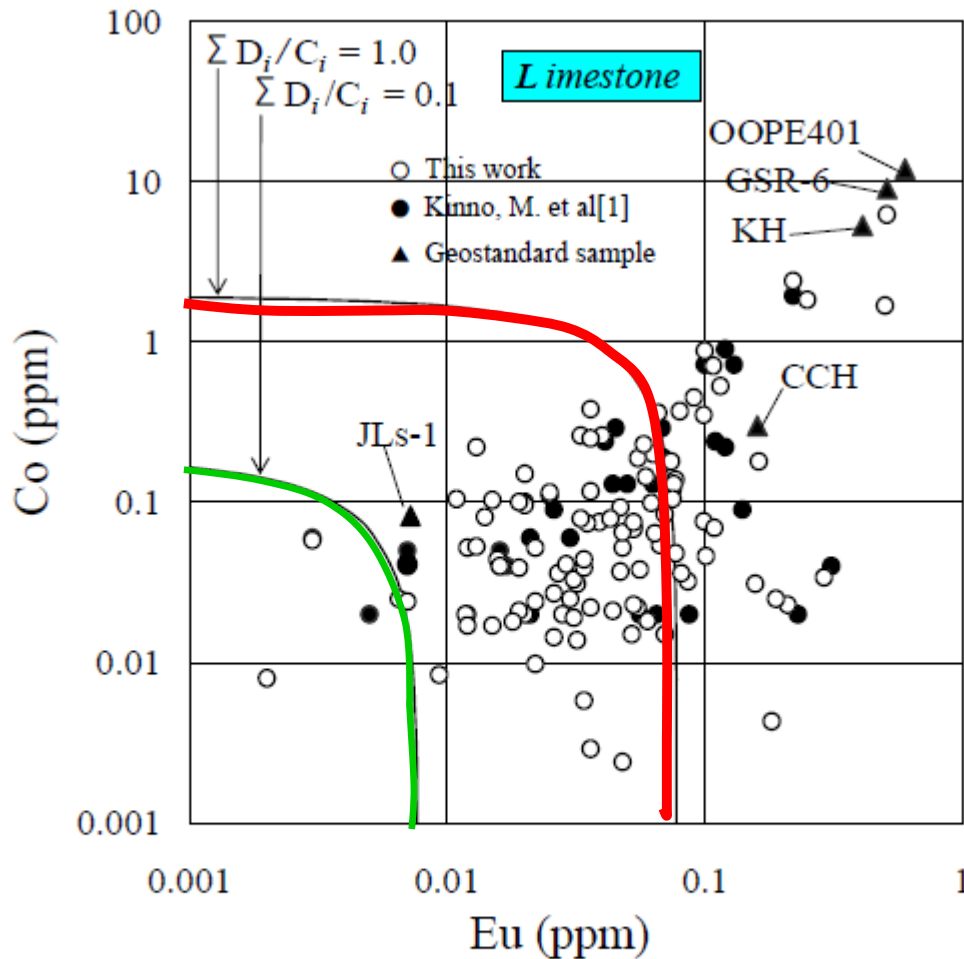


Figure 5 Distribution of quantities for Eu and Co in cement
(Numbers in parentheses indicate the number of specimens)

Dane literaturowe – Japonia 3



material could be disposed of as non-radioactive waste following decommissioning

a reference boundary line for the low activation manufacturing design

Figure 6 Distribution quantities of Eu and Co in 140 limestone aggregates

Dane literaturowe – Japonia 3

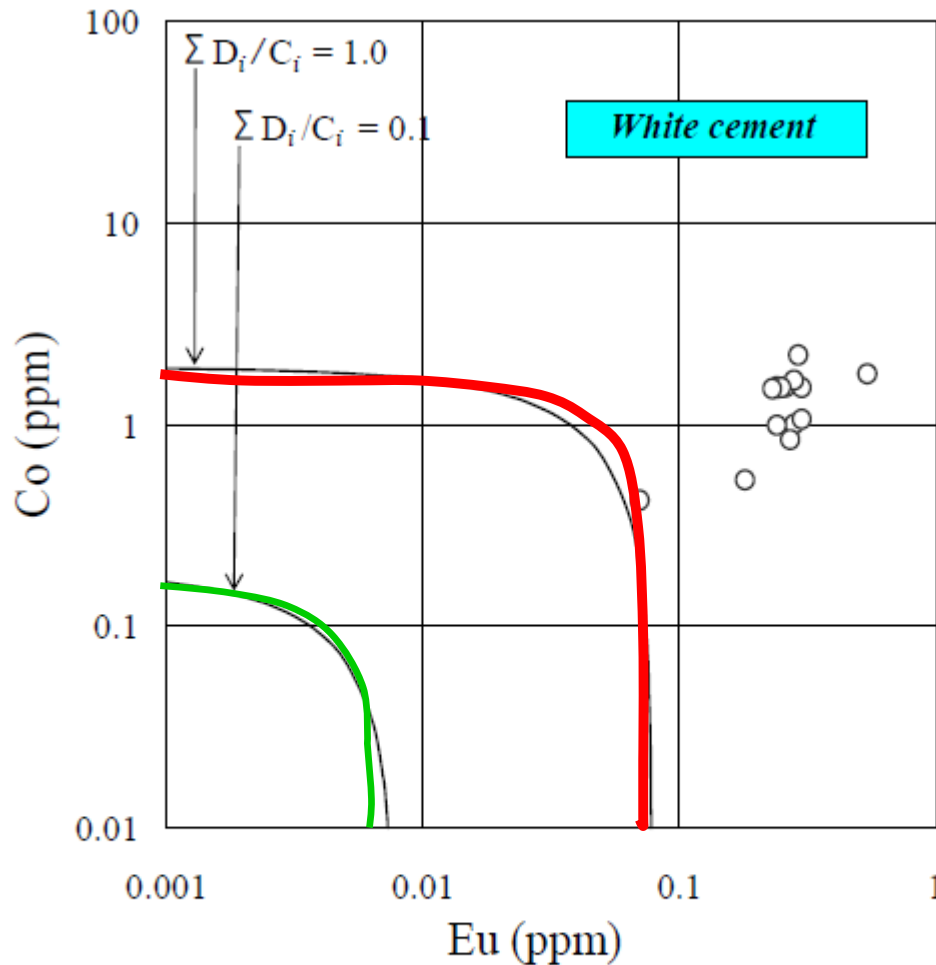
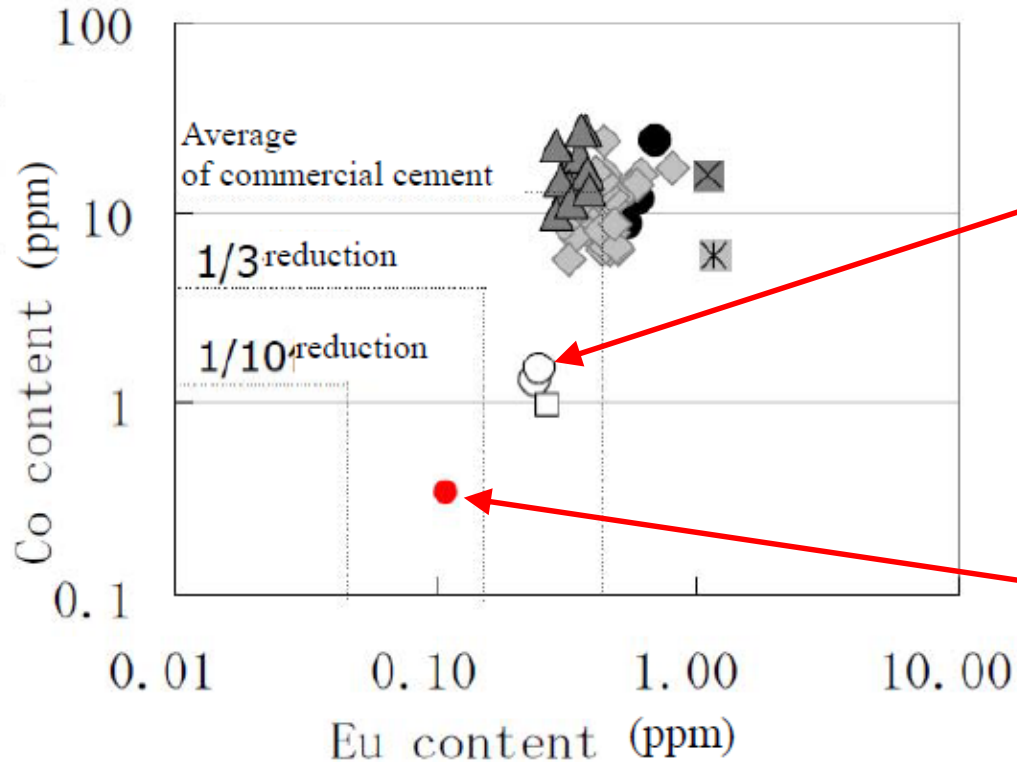


Figure 7 Distribution quantities of Eu and Co in white cements in the world

Dane literaturowe – Japonia 3



obtained by pure raw materials by wide survey (such as limestone, gypsum, coal, and so on). So these cements could be defined purify low heat cement (PLC).

this could be treated to be based on white cement in the meaning of small quantities of iron containment (C₄AF) and improvement of this cement is grain size (measured as specific surface area)

Figure 10 Containment of the Eu and Co for the new cement comparing to commercial ones

Dane literaturowe – Japonia 3

Type of concrete	Typical consisting material		$\Sigma D/C$ ratio
	Cement	Aggregate	
Andesite Concrete	Ordinary Portland cement	Andesite	1
1/10 Low-activation concrete	Low-heated Portland cement	Limestone	1/10
1/20 Low-activation concrete	Low-heated Portland cement	Limestone + silica fume	1/20
1/30 Low-activation concrete	White cement	Limestone	1/30
1/50 Low-activation concrete	White cement	Limestone + silica fume	1/50
1/100 Low-activation concrete	High alumina cement	Limestone/Quartz	1/100
1/300 Low-activation concrete	High alumina cement	Fused alumina	1/300
1/1,000 Low-activation concrete	White cement	Limestone + boron	1/1,000
1/10,000 Low-activation concrete	High alumina cement	Fused alumina + boron	1/10,000

(1) $\Sigma D_i/C_i \sim D_i$: concentration of radionuclide i , C_i : clearance level of radionuclide i , cited from IAEA-RS-G-1.7, assuming the thermal neutron $2 \times 10^5 n_{th} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$, 40 yr of operation, and 6 yr of cooling.

Dane literaturowe – Japonia 3

Data base of low-activation raw materials have been carrying out based on wide variety of survey for aggregates, cement, and raw materials for cement.

Upon above survey and execution experiments, six types of low-activation concrete (reduction rates are 1/10 - 1/300 to the ordinary concrete) are proposed.

New low-activation type low heat cement are carried out and confirmed within JIS standard, which would have 1/3 radioactivity compare to the ordinary Portland cement.

Podsumowanie

Dominujące długowieczne radioizotopy indukowane w betonie:

Eu-152, Co-60, Eu-154

$$CL_{\text{Eu-152}} = 0,3 \text{ Bq/g}, T_{1/2} = 13,54 \text{ lat}$$

$$CL_{\text{Co-60}} = 0,3 \text{ Bq/g}, T_{1/2} = 5,271 \text{ lat}$$

$$CL_{\text{Eu-154}} = 0,3 \text{ Bq/g}, T_{1/2} = 8,593 \text{ lat}$$

„poziom zwolnienia” (clearance level, CL)

$T_{1/2}$ – czas połowicznego rozpadu

Podsumowanie

Skały magmowe (wulkaniczne i głębinowe) charakteryzują się wyższą zawartością Co-60, niż skały osadowe i skały węglanowe

Beton z kruszywem wapiennym oraz białym cementem uznano za najbardziej odpowiedni beton do elektrowni jądrowej – najmniej aktywujący się

Dziękuję za uwagę

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