

Badanie czynników wpływających na zmiany właściwości detektorów CR39



Centralne Laboratorium
Ochrony Radiologicznej

Maciej Norenberg, Katarzyna Wołoszczuk, Alicja Jakubowska
Warszawa, 01 kwietnia 2021 r.

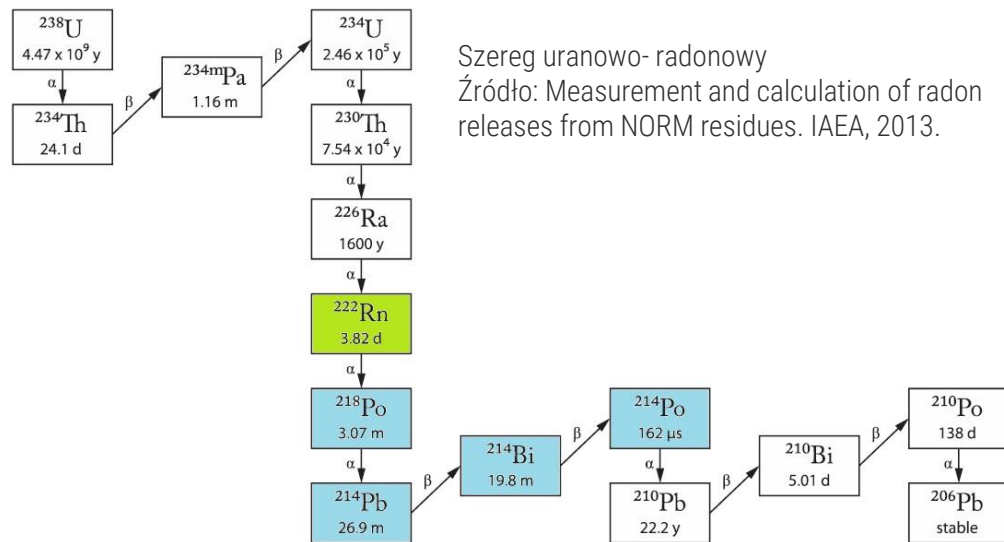
Cel badań

Celem badań jest wyznaczenie czynników wpływających na pomiar stężenia aktywności radonu przy użyciu detektorów śladowych CR39 poprzez realizację następujących pomiarów:

- **Liniowość – ekspozycja detektorów w różnych malejących stężeniach aktywności radonu przy jednakowym czasie ekspozycji, wyznaczenie współczynników kalibracji;**
- Wpływ czasu ekspozycji – wykonanie ekspozycji o wartościach odpowiadających wartościom z liniowości przy różnych czasach ekspozycji, porównanie wyników;
- Wykonanie ekspozycji o wartościach odpowiadających wartościom uzyskanym w liniowości w stałych stężeniach aktywności radonu – porównanie wyników;
- Fading – odczyt ekspozycyjnych detektorów po 1, 3 oraz 6 miesiącach, porównanie wyników;
- Ekspozycje o podobnych wartościach z wysoką oraz niską frakcją wolną (aerozole wodne), porównanie wyników;
- Wpływ temperatury – wykonanie ekspozycji o podobnych wartościach w różnych temperaturach, porównanie wyników.

Radon – podstawowe informacje

- Jedyny naturalnie występujący gaz promieniotwórczy. Pochodzi z rozpadu radu Ra-226 będącego częścią skorupy ziemskiej;
- gaz szlachetny;
- okres połowicznego rozpadu 3,824 dnia;
- dobrze rozpuszcza się w wodzie;
- bezwonny, bezbarwny, niepalny;
- 8 razy gęstszy od powietrza;
- w naturze występują trzy naturalne izotopy radonu: ^{222}Rn , ^{220}Rn (toron) oraz ^{219}Rn (aktynon);
- znanych jest ok. 30 sztucznych izotopów radonu.



Szereg uranowo- radonowy
Źródło: Measurement and calculation of radon releases from NORM residues. IAEA, 2013.

Metoda pomiarowa – detektory śladowe CR39

- Radonowe detektory śladowe składają się z komory dyfuzyjnej, do której dyfunduje powietrze z otoczenia. Na dnie pojemnika umieszczona jest folia CR39 (poliwęglan allilo diglikolowy PADC).
- Cząstki α przenikając przez CR39 uszkadzają na swojej drodze wiązania chemiczne, tworząc niewidoczny tor utajony.
- W wyniku wytrawienia chemicznego tor utajony staje się widoczny pod mikroskopem.
- Radon i powstałe w komorze dyfuzyjnej pochodne emitują cząstki α , które padając na folię tworzą ślady w kształcie kółek i stożków.
- Gęstość śladów, zliczana pod mikroskopem odpowiada liczbie cząstek α , które je wytworzyły i jest proporcjonalna do stężenia radonu w badanym powietrzu oraz czasu ekspozycji.
- Zakres pomiarowy obejmuje wartości od $20 \text{ kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ do $10\,000 \text{ kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$



Detektor śladowy CR39.

Metoda pomiarowa – komora radonowa



- Ekspozycje detektorów wykonano w kalibracyjnej komorze radonowej w CLOR.
- Objętość komory: ok. 12 m³
- Zakres temperatur: od -30°C do +60°C
- Zakres wilgotności: od 10% do 90%
- Do wytwarzania pożądanego stężenia radonu używa się dwu atestowanych źródeł radowych kanadyjskiej firmy Pylon, które umożliwiają wytworzenie stężeń radonu w zakresie do 50 kBq/m³.

Metoda pomiarowa – przyrząd referencyjny

Do pomiarów stężenia aktywności radonu podczas ekspozycji wykorzystano monitor AlphaGuard DF 2000.

Detektor	komora jonizacyjna 0,6 l
Zakres pomiarowy	2 – 2,000,000 Bq/m ³ ,
Czułość pomiarowa	5 cpm na 100 Bq/m ³ ,
Pamięć urządzenia	Do 60,000 punktów pomiarowych, tj. ok 400 dni pomiaru w cyklu 10 min lub 2,500 dni w cyklu 60 min
Tryb pracy	Tryb dyfuzyjny- cykle 10 min lub 60 min, Tryb przepływowy- cycle 1 min lub 10 min
Regulacja przepływu	wbudowana pompka- 0,05 - 0,5 l/min, 1 l/min, 2 l/min,
Dodatkowe czujniki	temperatury, wilgotności, ciśnienia

- Powietrze wnika dyfuzyjnie przez filtr, odcinający aerozole, do komory jonizacyjnej, w której zawarty w nim radon rozpada się tworząc pochodne.
- Promieniowanie α emitowane przez radon i pochodne jonizują powietrze generując w polu elektrycznym komory prąd, którego natężenie jest proporcjonalne do liczby cząstek α , a przez to do stężenia radonu.
- Użycie naszego monitora AlphaGuard DF 2000 zapewnia spójność wyników pomiarów z wzorcami utrzymywanymi w Bundesamt für Strahlenschutz, Niemcy.



AlphaGuard DF 2000

Metoda pomiarowa - trawienie

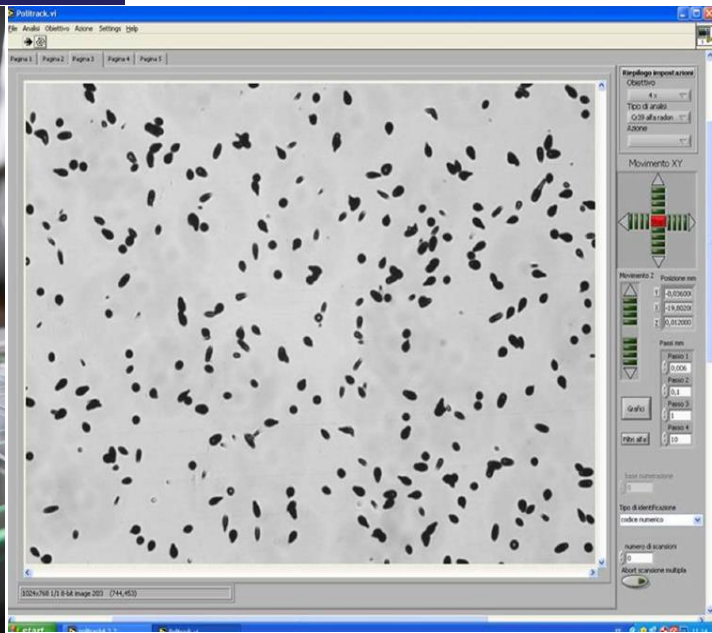
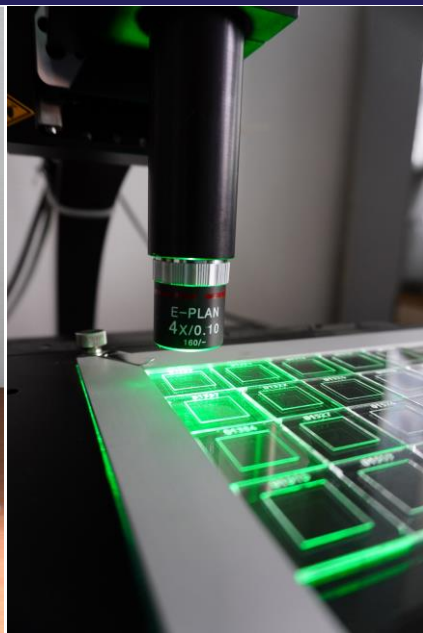
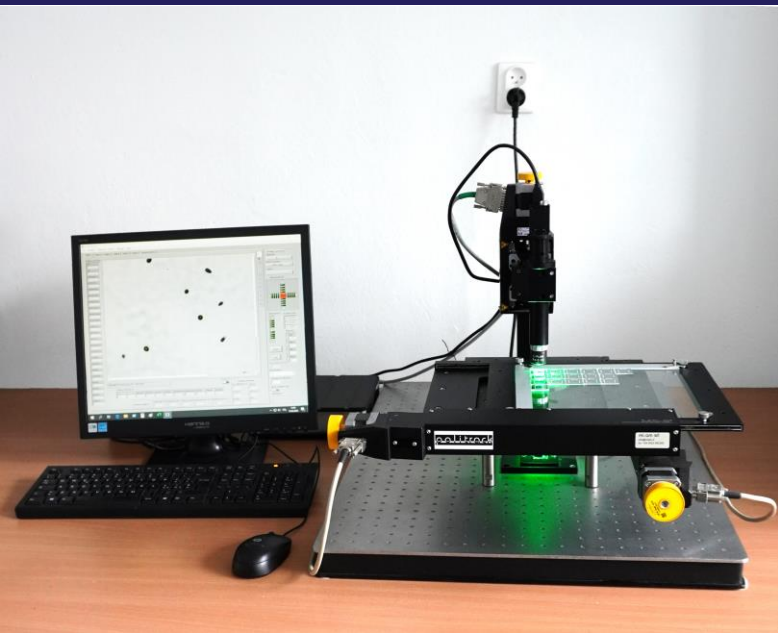
- Wytrawianie detektorów przeprowadza się w stalowej wannie wyposażonej w termostat, w stężonej zasadzie sodowej.
- Temperatura trawienia: 90° C
- Czas trawienia: 150 minut



Wanna z termostatem do trawienia detektorów

Metoda pomiarowa – automatyczny system odczytu Politrack

Eksponowane detektory odczytano przy użyciu automatycznego systemu odczytu Politrack produkcji Mi.am srl.



Zestaw Politrack.

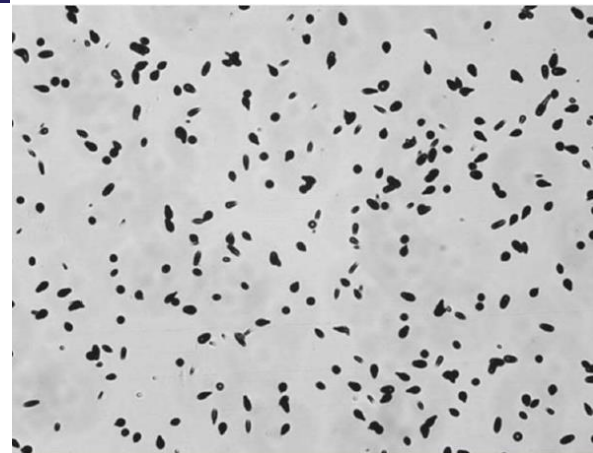
Metoda pomiarowa – automatyczny system odczytu Politrack

- W celu odczytu wartości ekspozycji układ do odczytu folii CR39 musi być uprzednio wykalibrowany w kalibracyjnej komorze radonowej w znanym stężeniu radonu.
- W wyniku kalibracji otrzymuje się współczynnik kalibracji w_k , który przyporządkowuje zmierzoną gęstość śladów N [śl.·cm⁻²] scałkowanemu po czasie stężeniu radonu Exp_{Rn} [kBq·h·m⁻³].

$$w_k = \frac{Exp_{Rn}}{N} \quad \left[\frac{kBq \cdot h \cdot m^{-3}}{\text{śl.} \cdot cm^{-2}} \right]$$

$$C_{Rn} = \frac{(X - X_0) \cdot w_k}{t} \quad [Bq/m^3]$$

X- gęstość śladów



Powiększone zdjęcie fragmentu wytrawionego detektora

Przegląd literatury

- W ramach przeglądu literatury przeczytano kilkanaście opublikowanych artykułów o tematyce związanej z niniejszymi badaniami.
- Niewielka ilość dostępnych publikacji dotyczących czynników wpływających na pomiar przy użyciu detektorów śladowych CR39.
- Wyniki opublikowane w znalezionych artykułach dotyczące zależności ilości zarejestrowanych śladów od wartości ekspozycji odpowiadają wynikom uzyskanym podczas niniejszych badań.
- Rozkład ilości śladów wśród detektorów eksponowanych jednocześnie uzyskany w trakcie badań jest analogiczny do wyników przedstawianych w literaturze.

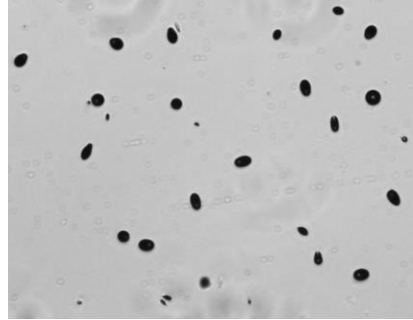
Realizacja pomiarów - liniowość

- W ramach wyznaczania liniowości detektorów śladowych CR39 przeprowadzono 5 ekspozycji, w różnych stężeniach aktywności radonu.
- Czas każdej ekspozycji był jednakowy i wynosił 100 godzin.
- Wykorzystano po 10 detektorów na każdą ekspozycję.
- Wszystkie detektory użyte do badań pochodziły z tej samej serii.
- Wszystkie detektory wytrawiono w tych samych warunkach, tuż po zakończeniu ekspozycji.
- Tło wyznaczono trawiąc i odczytując 5 nieeksponowanych detektorów pochodzących z tej samej serii.
- W celu poprawienia dokładności pomiarów każdy detektor został odczytany pięciokrotnie.

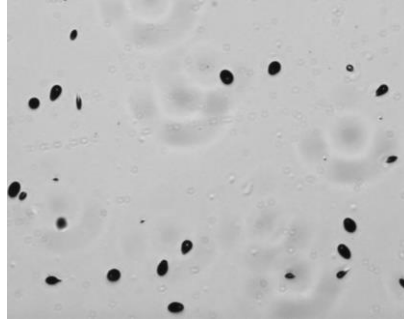
Wyniki pomiarów

Numer ekspozycji	Ekspozycja [kBq·h·m ⁻³]	Niepewność ekspozycji [kBq·h·m ⁻³]	Średnia gęstość śladów [cm ⁻²]	Niepewność rozszerzona gęstości śladów [cm ⁻²]	Współczynnik kalibracji $\left[\frac{\text{kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}}{\text{śl}\cdot\text{cm}^{-2}}\right]$	Niepewność współczynnika $\left[\frac{\text{kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}}{\text{śl}\cdot\text{cm}^{-2}}\right]$
1	2614	118	5016	417	0,521	0,049
2	2005	95	3877	355	0,517	0,053
3	1281	66	2661	317	0,481	0,062
4	959	51	1965	251	0,488	0,068
5	510	28	1006	188	0,51	0,10

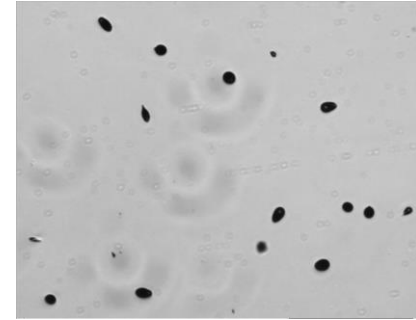
Wyniki pomiarów



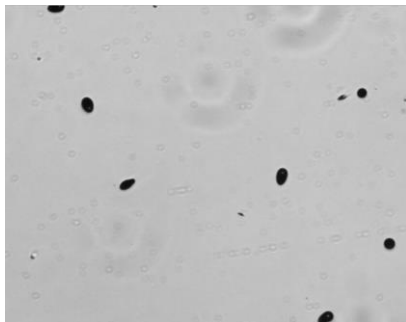
I Ekspozycja – $2614 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$



II Ekspozycja – $2005 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$



III Ekspozycja – $1281 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$



IV Ekspozycja – $959 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$

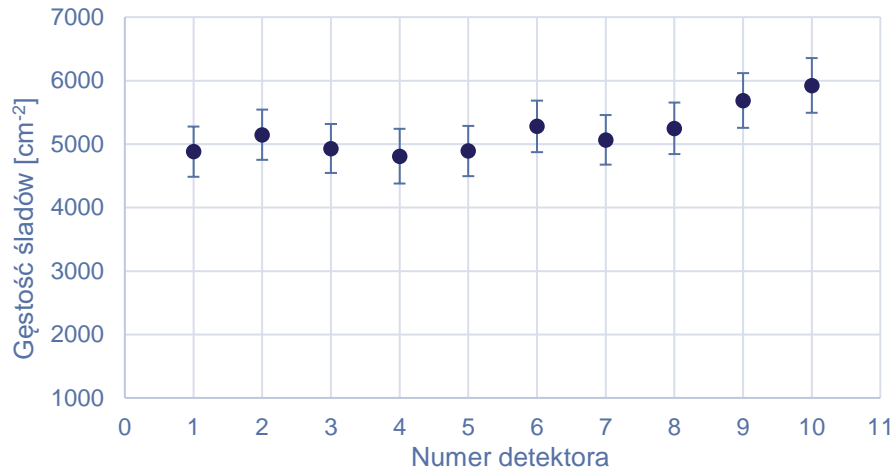


V Ekspozycja – $510 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$

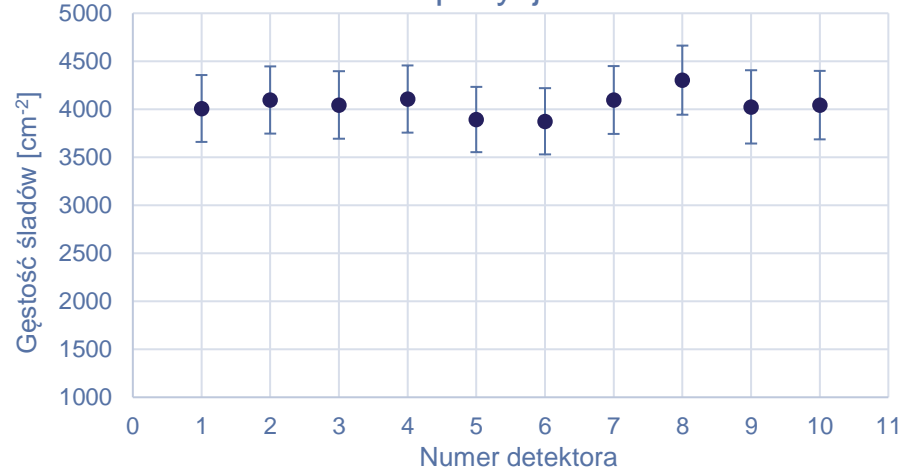
Wyniki pomiarów

Rozkład gęstości śladów na detektorach eksponowanych jednocześnie

Ekspozycja I



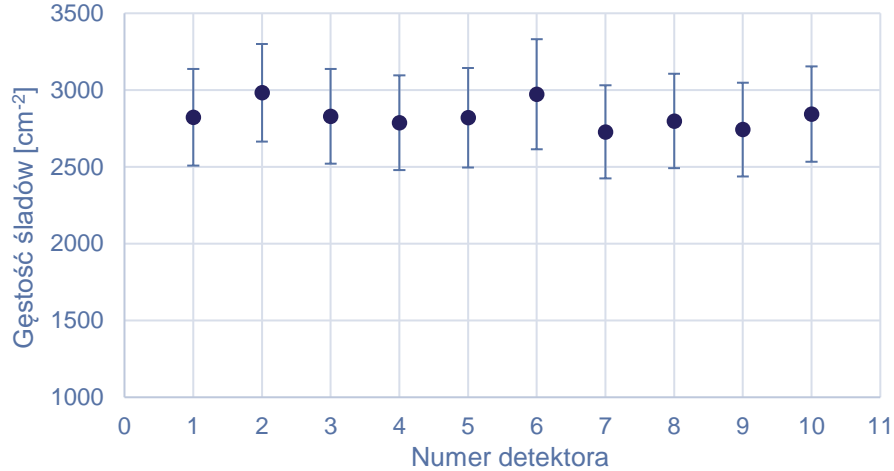
Ekspozycja II



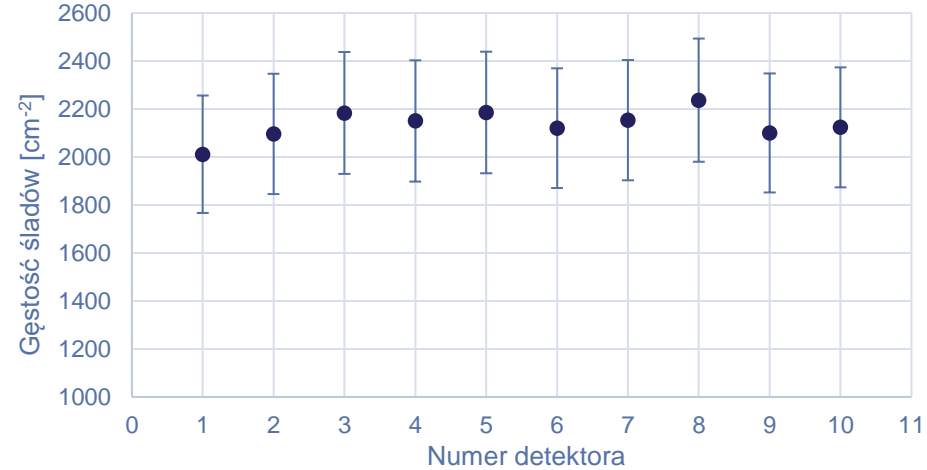
Wyniki pomiarów

Rozkład gęstości śladów na detektorach eksponowanych jednocześnie – c.d.

Ekspozycja III

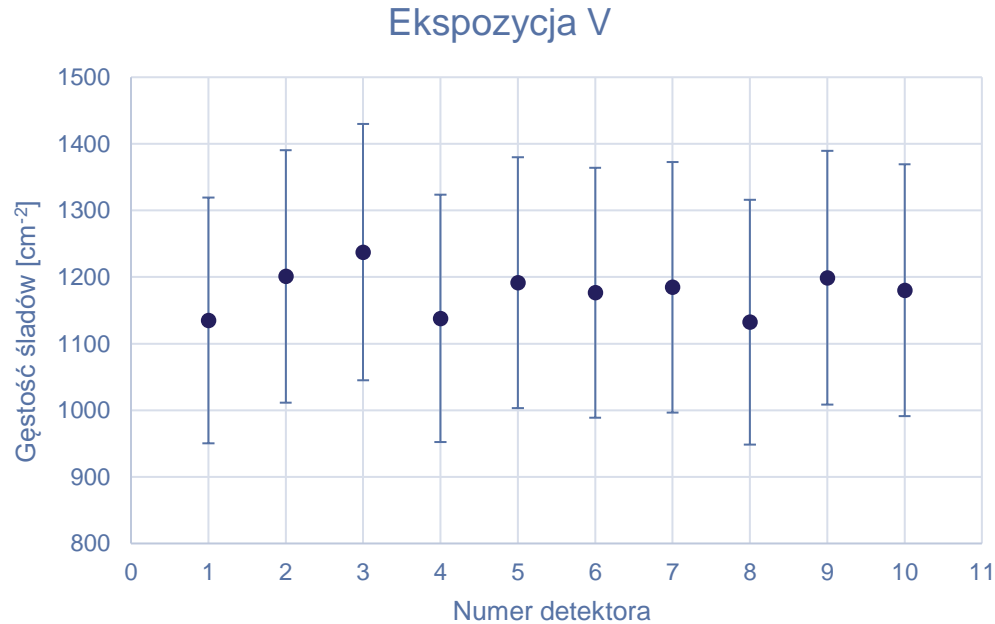


Ekspozycja IV



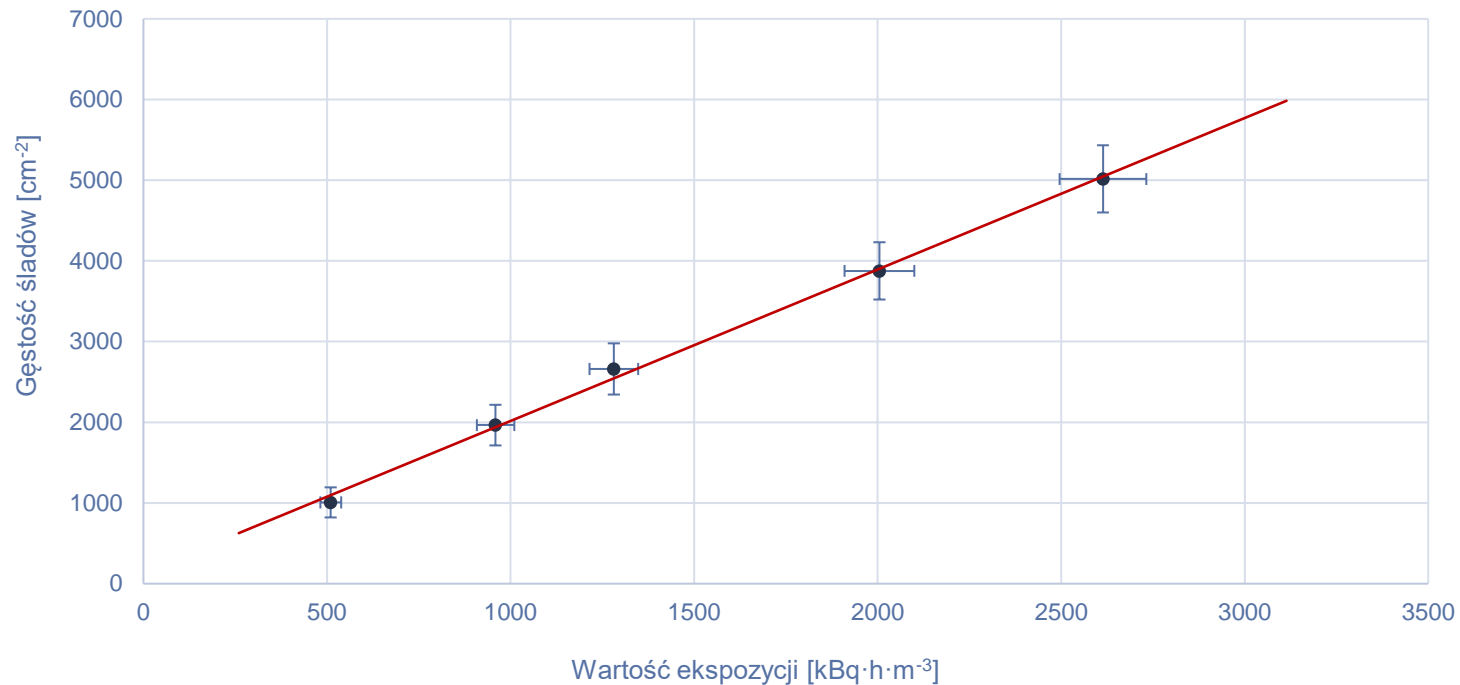
Wyniki pomiarów

Rozkład gęstości śladów na detektorach eksponowanych jednocześnie – c.d.



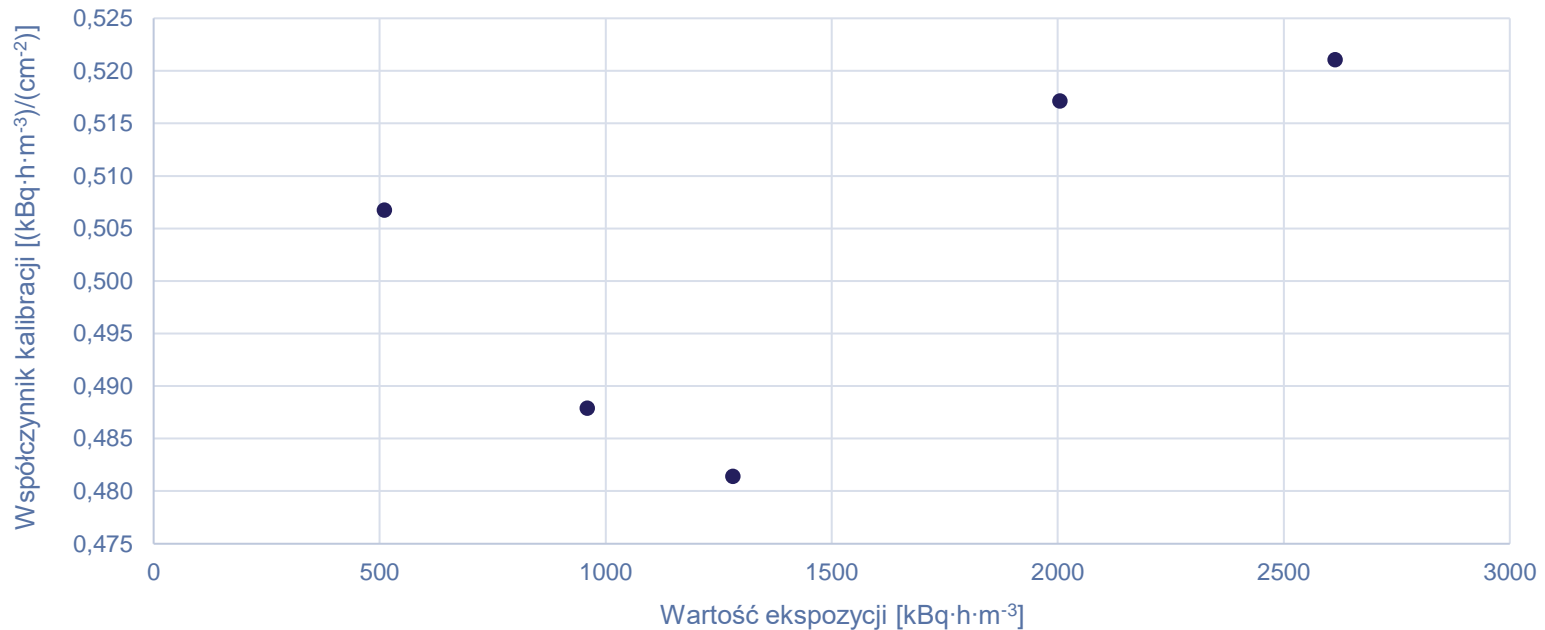
Wyniki pomiarów

Zależność gęstości śladów od wartości ekspozycji



Wyniki pomiarów

Zależność współczynnika kalibracji od wartości ekspozycji



Wnioski

- Zrealizowano najważniejszy punkt badań stanowiący podstawę do dalszych eksperymentów.
- Dotychczasowe, podstawowe zależności ilości śladów są zgodne z wynikami w publikacjach, co świadczy o prawidłowym przebiegu badań.
- Potwierdzono konieczność stosowania różnych współczynników kalibracyjnych, w zależności od wartości ekspozycji.

Dziękuję za uwagę

m.norenberg@clor.waw.pl



Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania