

# PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE W ŚRODOWISKU



Paweł KRAJEWSKI  
[krajewski@clor.waw.pl](mailto:krajewski@clor.waw.pl)

**CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ**



- OCHRONA RADIOLOGICZNA, BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE ?
- EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013 roku
- ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W NASZYM OTOCZENIU
- UDZIAŁ RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W ŚREDNIEJ ROCZNEJ DAWCE EFEKTYWNEJ STATYSTYCZNEGO MIESZKAŃCA POLSKI
- RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA
- NOWE KONCEPCJE (*PRZEPISY*) OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

System ochrony radiologicznej:  
zapobieganie lub ograniczanie szkodliwych  
skutków działania promieniowania jonizującego na  
człowieka i środowisko  
*(Kultura bezpieczeństwa przy użytkowaniu źródeł  
promieniotwórczych)*

## Użytkowanie źródeł promieniotwórczych

- energetyka jądrowa
- przemysł
- medycyna
- technika
- badania naukowe



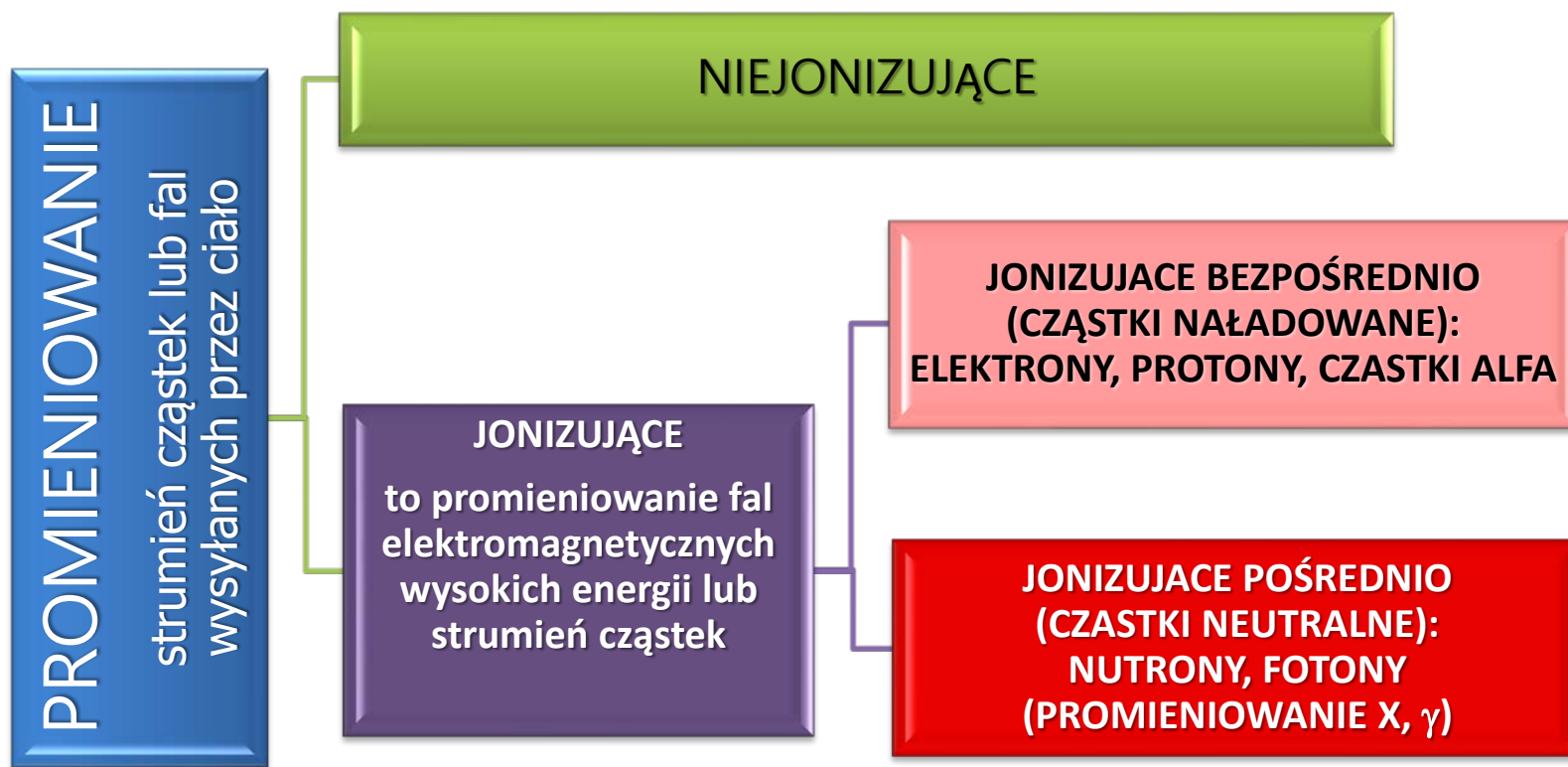
## System bezpieczeństwa jądrowego:

zapobieganie lub ograniczanie zagrożenia człowieka lub środowiska od materiałów jądrowych (rozszczepialnych)

- eksploatacja EJ
- zarządzanie paliwem jądrowym
- zarządzanie odpadami promieniotwórczymi
  - Krajowe składowisko Odpadów Promieniotwórczych







# PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

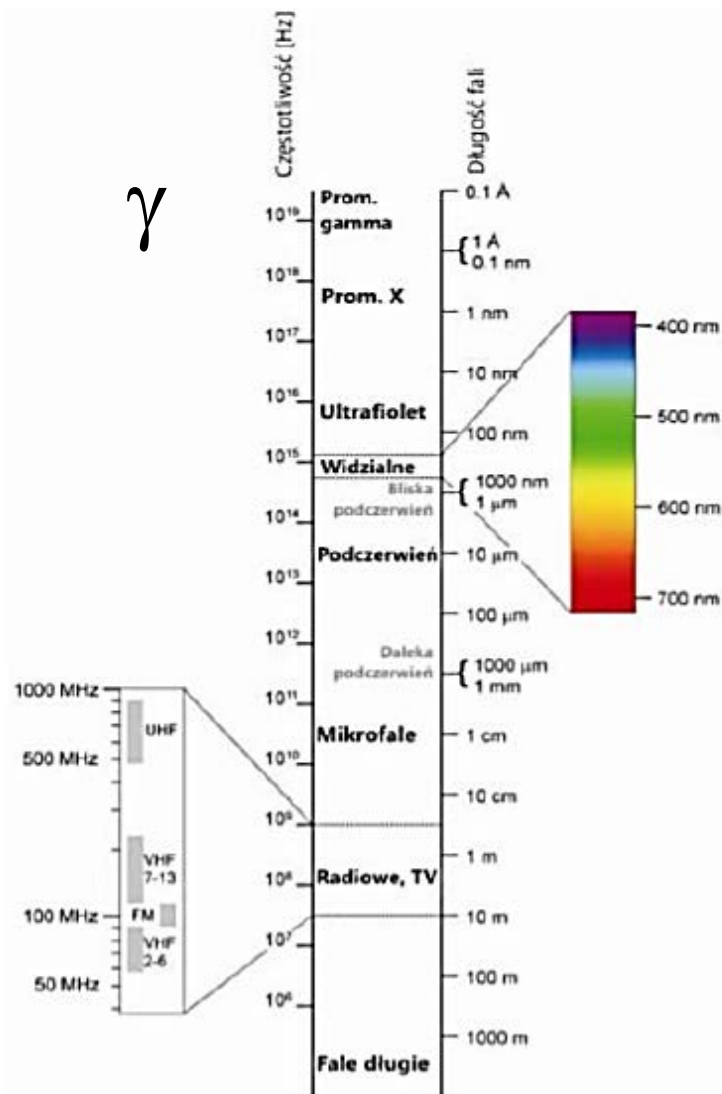
$\alpha$  2p2n

$\beta^-$  elektron

$\beta^+$  pozyton

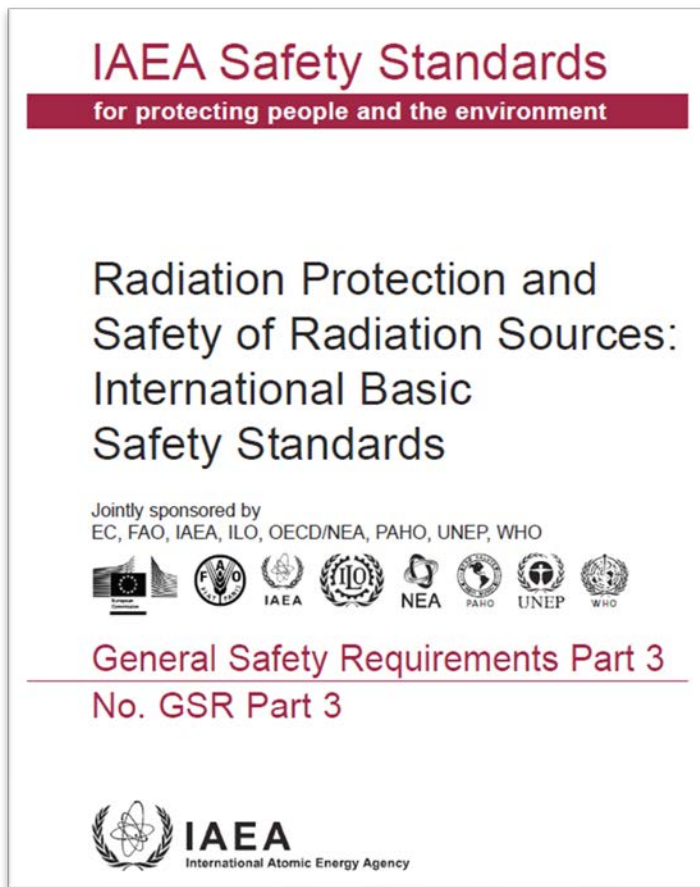
n neutron

$\gamma$



# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013

[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf)



Standard Bezpieczeństwa Międzynarodowej  
Agencji Energii Atomowej

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GSR Part 3  
2014 r.

# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013

DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM

z dnia 5 grudnia 2013 r.

ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:PL:PDF>

Ze względu na skomplikowany i techniczny charakter Dyrektywy BSS, Rada UE podjęła decyzję o wydłużeniu okresu jej transpozycji do porządku prawnego Państw Członkowskich do 4 lat. Oznacza to, że pełna transpozycja dyrektywy BSS do prawa krajowego musi nastąpić najpóźniej do **6 lutego 2018 r.**

**W Polsce weszła w życie 23 września 2019 r. bez ustaw wykonawczych !**

# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013

<http://dziennikustaw.gov.pl/du/2019/1792/D2019000179201.pdf>

Dziennik Ustaw

– 16 –

Poz. 1792

Załącznik do obwieszczenia Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej  
Polskiej z dnia 11 września 2019 r. (poz. 1792)

## USTAWA

z dnia 29 listopada 2000 r.

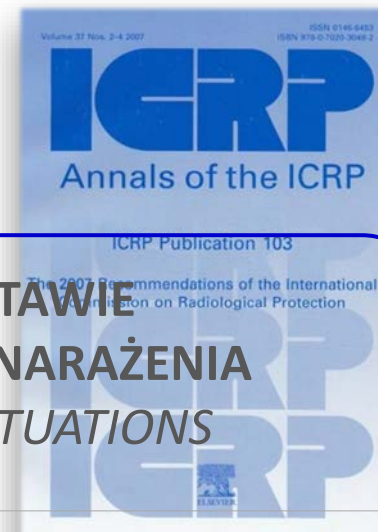
### Prawo atomowe<sup>1)</sup>

„<sup>1)</sup> Niniejsza ustawa w zakresie swojej regulacji wdraża:

- 1) dyrektywę Rady 2009/71/Euratom z dnia 25 czerwca 2009 r. ustanawiającą wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądowego obiektów jądowych (Dz. Urz. UE L 172 z 02.07.2009, str. 18, Dz. Urz. UE L 260 z 03.10.2009, str. 40 i Dz. Urz. UE L 219 z 25.07.2014, str. 42);
- 2) dyrektywę Rady 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiającą podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylającą dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom (Dz. Urz. UE L 13 z 17.01.2014, str. 1 i Dz. Urz. UE L 72 z 17.03.2016, str. 69);
- 3) dyrektywę Rady 2014/87/Euratom z dnia 8 lipca 2014 r. zmieniającą dyrektywę 2009/71/Euratom ustanawiającą wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądowego obiektów jądowych (Dz. Urz. UE L 219 z 25.07.2014, str. 42).

z dnia 5 grudnia 2013 r.

w oparciu o nowe zalecenia ICRP z 2007 Pub.103:  
System Ochrony Radiologicznej



**W OPARCIU O POSTĘPOWANIE**  
*PROCESS-BASED  
PROTECTION APPROACH*

- **practices**  
*stosowanie*
- **interventions**  
*działania interwencyjne*

**NA PODSTAWIE**  
**WARUNKÓW NARAŻENIA**  
*EXPOSURE SITUATIONS*

- **planowane warunki narażenia**  
*planned exposure situations*
- **wyjątkowe warunki narażenia**  
*emergency exposure situations*
- **existing exposure situations**  
*istniejące warunki narażenia*



# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013

## W OPARCIU O POSTĘPOWANIE (przed 2013 r) *PROCESS-BASED PROTECTION APPROACH*

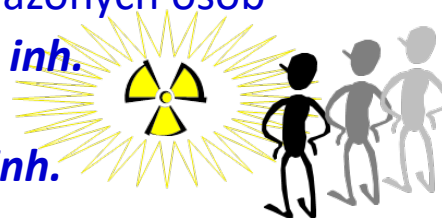
### ■ stosowanie, wykorzystanie praktyczne (*practices*)

dodanie (zwiększenie ) potencjalnego narażenia przez wprowadzenie nowych źródeł, dróg narażenia i/lub zwiększenie liczby narażonych osób



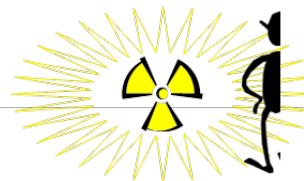
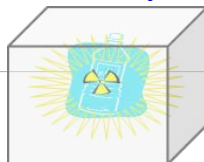
*wewnętrzne inh.*

*zewnętrzne inh.*



### ■ działania interwencyjne (*interventions*)

zmniejszenie potencjalnego narażenia przez usunięcie źródeł, dróg narażenia i/lub zmniejszenie liczby narażonych osób



z dnia 5 grudnia 2013 r.

(16)

Ochrona przed naturalnymi źródłami promieniowania powinna zostać w pełni włączona do ogólnych wymogów, zamiast być przedmiotem osobnego tytułu. W szczególności sektory przetwarzające naturalnie występujący materiał promieniotwórczy powinny być zarządzane w tych samych ramach regulacyjnych, co inne działalności.

z dnia 5 grudnia 2013 r.

(22)

Z najnowszych danych epidemiologicznych pochodzących z badań budynków mieszkalnych wynika, że występuje statystycznie istotny wzrost ryzyka zachorowania na nowotwór płuc w wyniku przedłużonego narażenia na radon wewnątrz pomieszczeń na poziomie rzędu **100** Bq m<sup>-3</sup>.

(24)

W przypadku gdy ze względu na panujące warunki państwo członkowskie ustanawia poziom referencyjny dla stężeń radonu w pomieszczeniach ze stanowiskiem pracy wyższy niż **300** Bq m<sup>-3</sup>, państwo to powinno przedłożyć te informacje Komisji.

z dnia 5 grudnia 2013 r.

(26)

**Narażeniem załóg statków powietrznych i kosmicznych** na promieniowanie kosmiczne należy zarządzać jak sytuacją **narażenia planowanego**. Eksploatacja statku kosmicznego powinna być objęta zakresem niniejszej dyrektywy i jeżeli zostaną przekroczone dawki graniczne, należy nią zarządzać jak narażeniem dozwolonym w szczególnych okolicznościach.

(27)

**Skażenie środowiska może stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzkiego.** Wspólnotowe prawo wtórne do tej pory uważało takie skażenie jedynie za drogę narażenia dla osób z ogółu ludności bezpośrednio dotkniętych promieniotwórczym uwolnieniem do środowiska. Ze względu na to, że stan środowiska może mieć długofalowe skutki dla zdrowia ludzi, konieczna jest **polityka ochrony środowiska przed szkodliwymi skutkami promieniowania jonizującego**. Do celów długofalowej ochrony zdrowia ludzi należy uwzględnić kryteria środowiskowe oparte na uznanych międzynarodowo danych naukowych (takich jak publikowane przez KE, ICRP, Komitet Naukowy Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego, Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA)).

z dnia 5 grudnia 2013 r.

- **Planowane sytuacje narażenia** *planned exposure situations* dotyczą planowanych prac ze źródłami znajdującymi się pod kontrolą. *Ten rodzaj warunków narażenia we wcześniejszych zaleceniach ICRP był określany jako działalność (practices)*
  - > narzędzie służące do optymalizacji **OGRANICZNIK DAWKI** (DOSE CONSTRAINTS)
  
- **Wyjątkowe sytuacje narażenia** *emergency exposure situations* - dotyczą sytuacji nieprzewidzianych, które mogą zajść podczas prowadzenie planowanej działalności lub działań prowadzonych w złych zamiarach (akty terrorystyczne), wymagające natychmiastowej uwagi. *Ten rodzaj warunków narażenia we wcześniejszych zaleceniach ICRP był określany jako interwencje (interventions).*
  - > narzędzie służące do optymalizacji **POZIOM ODNIESIENIA** (REFERENCE LEVEL)
  
- **Istniejące sytuacje narażenia** ! *existing exposure situations*, warunki narażenia, które istniały zanim podjęto kontrolę np. narażenie od naturalnego tła promieniowania, narażenie w skutek skażeń powstałych po wypadkach jądrowych lub historycznej działalności (kopalnie uranowe)
  - > narzędzie służące do optymalizacji **POZIOM ODNIESIENIA** (REFERENCE LEVEL)



z dnia 5 grudnia 2013 r.

- 
- **UZASADNIENIE (justification)** : żadna działalność stwarzająca narażenie człowieka na promieniowanie, nie może być zaakceptowana, o ile korzyści dla poszczególnych osób lub dla społeczności wynikające z kontynuacji lub rozpoczęcia działalności nie przewyższają szkody (detriment) (łącznie ze szkodą radiacyjną) wynikające z tej działalności.
  - **OPTYMALIZACJA (optimisation)** : planowana, odniesiona do konkretnego źródła promieniowania działalność powinna być ograniczona (constrained) tak aby ograniczyć dawki indywidualne (dose constraint) lub ograniczyć ryzyko potencjalnego narażenia (risk constraint) do takiego poziomu, przy którym dalsze obniżenie staje się mniej istotne niż ponoszone z tego powodu koszty ekonomiczne lub socjalne.
  - **ZASTOSOWANIE DAWEK GRANICZNYCH (limitation)** : Wartość indywidualnej dawki efektywnej lub równoważnej, otrzymanej w warunkach planowanego narażenia przy pracach z jakimkolwiek znajdującym się pod kontrolą źródłem, za wyjątkiem narażenia medycznego pacjentów, nie może przekroczyć odpowiednich poziomów określonych przez Komisję



z dnia 5 grudnia 2013 r.

- **ZASADA OPTYMALIZACJI** (odnosi się do określonego źródła promieniowania)- postępowanie w celu:
  - ograniczenia wartości dawek indywidualnych,
  - zmniejszenia liczby narażonych ludzi jak również
  - zmniejszeniu prawdopodobieństwa potencjalnego narażenia na promieniowaniedo tak niskiego poziomu jak jest to rozsądnie osiągalne czyli poniżej odpowiedniego **ogranicznika dawek** ustalonego przy uwzględnieniu **czynników ekonomicznych i socjalnych**.
- *The PRINCIPLE OF OPTIMISATION of radiological protection is defined by the Commission: as the source related process to keep the magnitude of individual doses, the number of people exposed, and the likelihood of potential exposure as low as reasonably achievable below the appropriate **dose constraints**, with economic and social factors being taken into account.*

# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013



<http://dziennikustaw.gov.pl/du/2019/1792/D2019000179201.pdf>

Art. 3. W rozumieniu niniejszej ustawy użyte określenia oznaczają:

23) **ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki)** – ograniczenie przewidywanych dawek indywidualnych, wyrażonych jako dawki skuteczne (efektywne) lub dawki równoważne, które mogą pochodzić od określonego źródła promieniowania jonizującego, uwzględnione podczas planowania ochrony radiologicznej w celach związanych z optymalizacją;

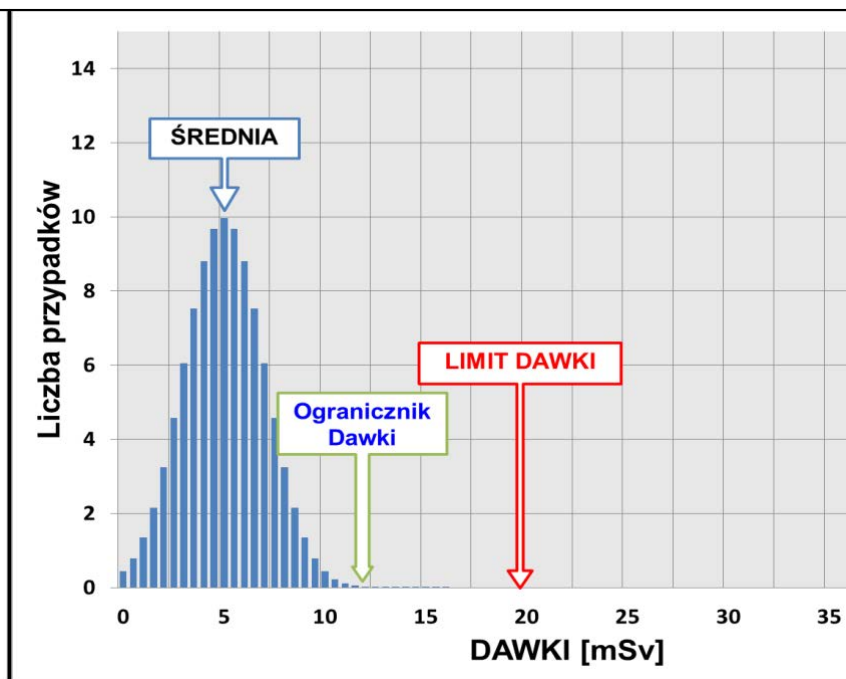
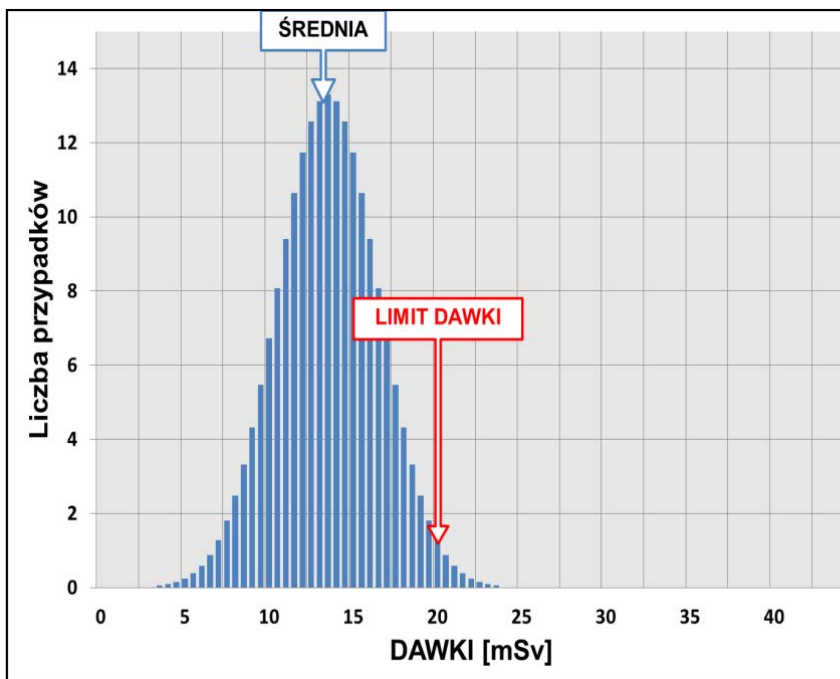


Art. 9. p. 1.) Kierownik jednostki organizacyjnej zapewnia wykonywanie działalności związanej z narażeniem zgodnie z zasadą optymalizacji wymagającą, żeby – przy **rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych oraz aktualnego stanu wiedzy technicznej** – liczba narażonych pracowników i osób z ogółu ludności oraz prawdopodobieństwo ich narażenia były jak najmniejsze, a otrzymywane przez nich dawki promieniowania jonizującego były możliwie małe.

# EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY

## RADIOLOGICZNEJ PO 2013

ogranicznik dawki gwarantuje że w procesie optymalizacji planowanych warunków narażenia nie zachodzą przypadki, że niektóre osoby w schemacie optymalizacji mogą być narażone na dawki znacznie przewyższające średnią



# ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W NASZYM OTOCZENIU

Izotopy promieniotwórcze powstające w wyniku reakcji jądrowych wywołanych przez promieniowanie kosmiczne

Promieniowanie kosmiczne

Źródła sztuczne powstające w wyniku działalności człowieka (antropogeniczne):

- produkcja i zastosowanie izotopów promieniotwórczych w medycynie, przemyśle, badaniach naukowych
- urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące
- odpady promieniotwórcze

Łańcuch pokarmowy

Izotopy promieniotwórcze w wodzie

(rzeki, jeziora, studnie, woda morska)

Izotopy promieniotwórcze w skorupie ziemskiej







United Nations Scientific Committee  
on the Effects of Atomic Radiation

<http://www.unscear.org/>

## Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR)

Stały komitet [ONZ](#) powołany w celu monitorowania zmian poziomu [promieniowania jonizującego](#) na Ziemi. Powstał na mocy rezolucji [Zgromadzenia Ogólnego ONZ](#) 1955 r w latach, gdy zagrożenie [konfliktem nuklearnym](#) wydawało się bardzo duże, prowadzony był [wyścig zbrojeń](#) i dokonywano wielu [prób z bronią jądrową](#).

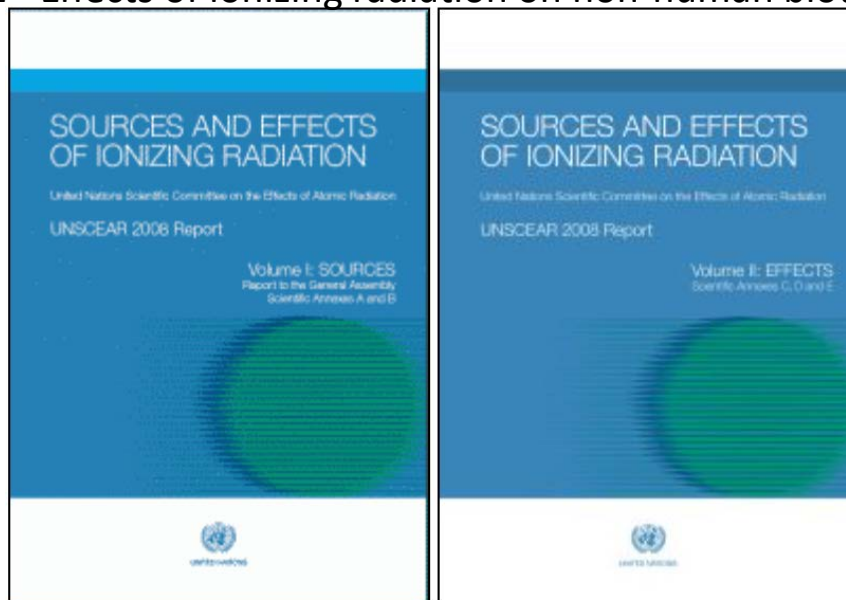
W Komitecie skład wchodzi obecnie 21 członków, od 1973 należy do niego również [Polska](#). Co roku odbywają się spotkania naukowców - przedstawicieli członków Komitetu i przygotowywane są raporty dla Zgromadzenia Ogólnego ONZ.

**Volume I** comprises the main text of the 2008 report to the General Assembly ( A/63/46) and 2 scientific annexes:

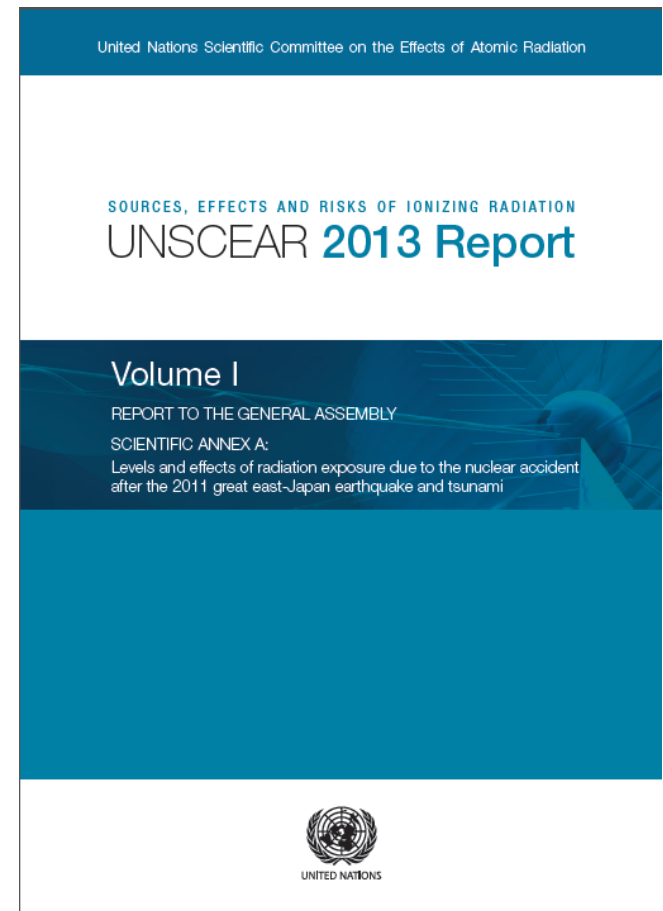
- Annex A - Medical radiation exposures; and
- Annex B - Exposures of the public and workers from various sources of radiation.

**Volume II** comprises the remaining 3 scientific annexes:

- Annex C - Radiation exposures in accidents;
- Annex D - Health effects due to radiation from the Chernobyl accident \*); and
- Annex E - Effects of ionizing radiation on non-human biota.

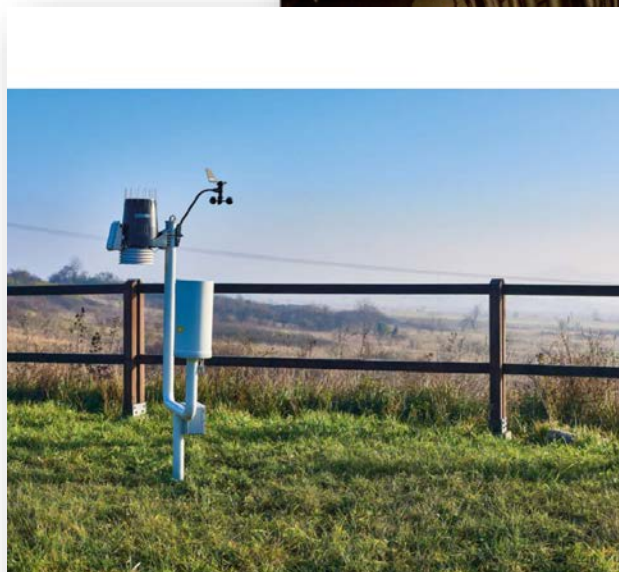


## Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami





[http://www.paa.gov.pl/strona-156-raport\\_roczny\\_prezesa.html](http://www.paa.gov.pl/strona-156-raport_roczny_prezesa.html)



## RAPORT ROCZNY

Działalność Prezesa  
Państwowej Agencji Atomistyki  
oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego  
i ochrony radiologicznej w Polsce w 2017 roku



2017



## ROCZNY

wa jądrowego  
ce w 2018 roku

2018



## ROCZNY

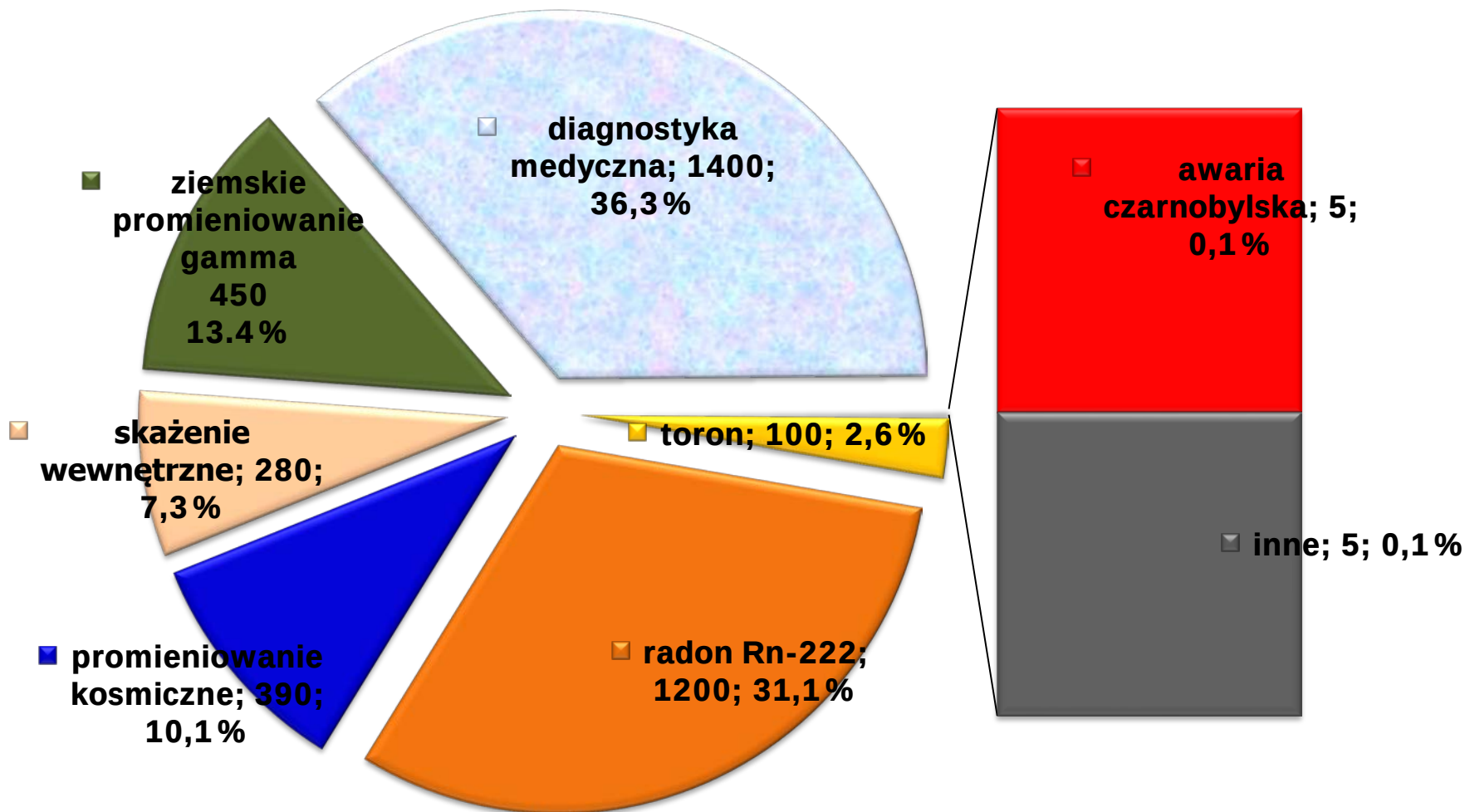
omistyki  
czeństwa jądrowego  
w Polsce w 2019 roku

2019

# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$



promieniowania otrzymywany przez statystycznego mieszkańca Polski od naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania jonizującego oraz od źródeł promieniowania stosowanego w procedurach medycznych wynosił:

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| w 2000 r. | 3.30 mSv (3300 $\mu$ Sv) |
| w 2002 r. | 3.36 mSv (3360 $\mu$ Sv) |
| w 2003 r. | 3.35 mSv (3350 $\mu$ Sv) |
| w 2004 r. | 3.35 mSv (3350 $\mu$ Sv) |
| w 2005 r. | 3.35 mSv (3350 $\mu$ Sv) |

.....

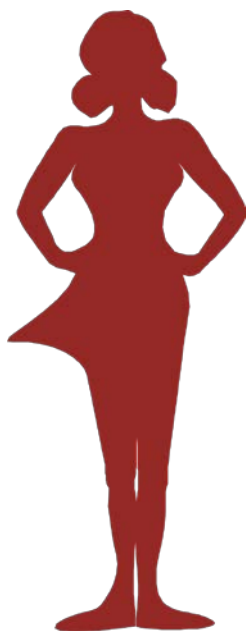
|                  |                                           |
|------------------|-------------------------------------------|
| <b>w 2018 r.</b> | <b>3.56 mSv (3560 <math>\mu</math>Sv)</b> |
| <b>w 2019 r.</b> | <b>3.86 mSv (3560 <math>\mu</math>Sv)</b> |

# ROCZNY EFEKTYWNY RÓWNOWAŻNIK DAWKI

## DAWKA GRANICZNA (limit) DLA LUDNOŚCI

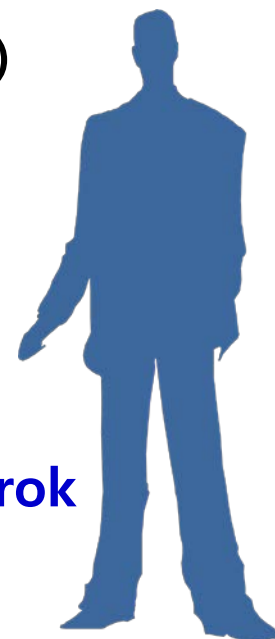
Całkowita średnia roczna dawka *efektywna* –  
dawka tła od naturalnych źródeł promieniowania  
którą otrzymuje obywatel

$$2460 \mu\text{Sv} = 2,46 \text{ mSv(milisivertów)}$$



**Tzw. dawka graniczna  
(limit ustalony prawem)**

**to 1/3 tej dawki powyżej tła czyli 1 mSv/rok**



Promieniotwórczość naturalna w niektórych miejscach na Ziemi  
UNSCEAR Report, 1993 (średnia  $\cong 0.5 \text{ mGy} \cdot \text{rok}^{-1}$ )

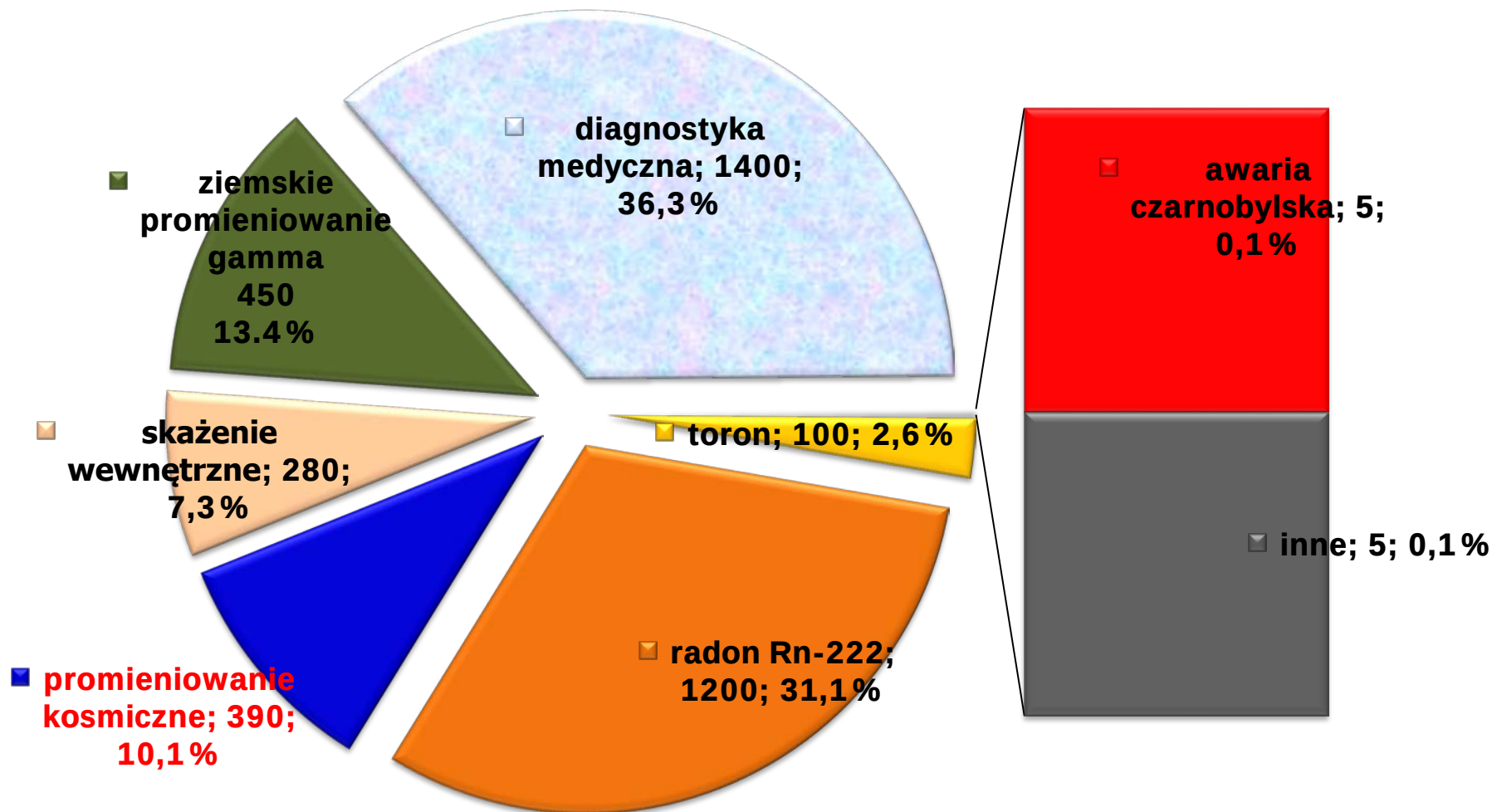
| Miejsce                 | Średnia dawka<br>( $\text{mGy} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) | Maksymalna<br>dawka ( $\text{mGy} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Ramsar, Iran            | 10.0                                                    | 260                                                        |
| Guarapari, Brazylia     | 5.5                                                     | 35                                                         |
| Kerala, Indie           | 3.8                                                     | 35                                                         |
| Norwegia                | 0.6                                                     | 10                                                         |
| Francja                 | 0.6                                                     | 2.2                                                        |
| Włochy                  | 0.5                                                     | 10                                                         |
| <b>Średnia światowa</b> | <b>0.5</b>                                              |                                                            |

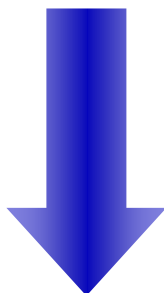


# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

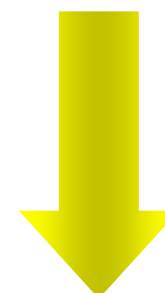
Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$





**pierwotne  
cząstki  
pochodzenia  
poza  
ziemskiego**



**wtórne  
promieniowanie  
powstałe w  
wyniku  
oddziaływania  
tych cząstek z  
atmosferą**

| cząstka                      | średni udział  | dociera do Ziemi<br>(na poziom morza) |
|------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| protony                      | 87% (75÷89%)   | 1 na 1000                             |
| jądra helu (prom. $\alpha$ ) | 11% (10 ÷ 18%) | 1 na 4                                |
| jądra pierwiastków $Z > 2$   | 1% (1 ÷ 7%)    | 1 na 30                               |
| elektrony                    | 1%             |                                       |

energia cząstek  $10^{10}$  eV (max  $10^{20}$  eV)

**Wiatr słoneczny** - Strumień cząstek wiatru zderza się z polem magnetycznym naszej planety, wytwarzając falę uderzeniową, co wpływa na kształt magnetosfery i wywołuje wiele zjawisk obserwowanych na Ziemi

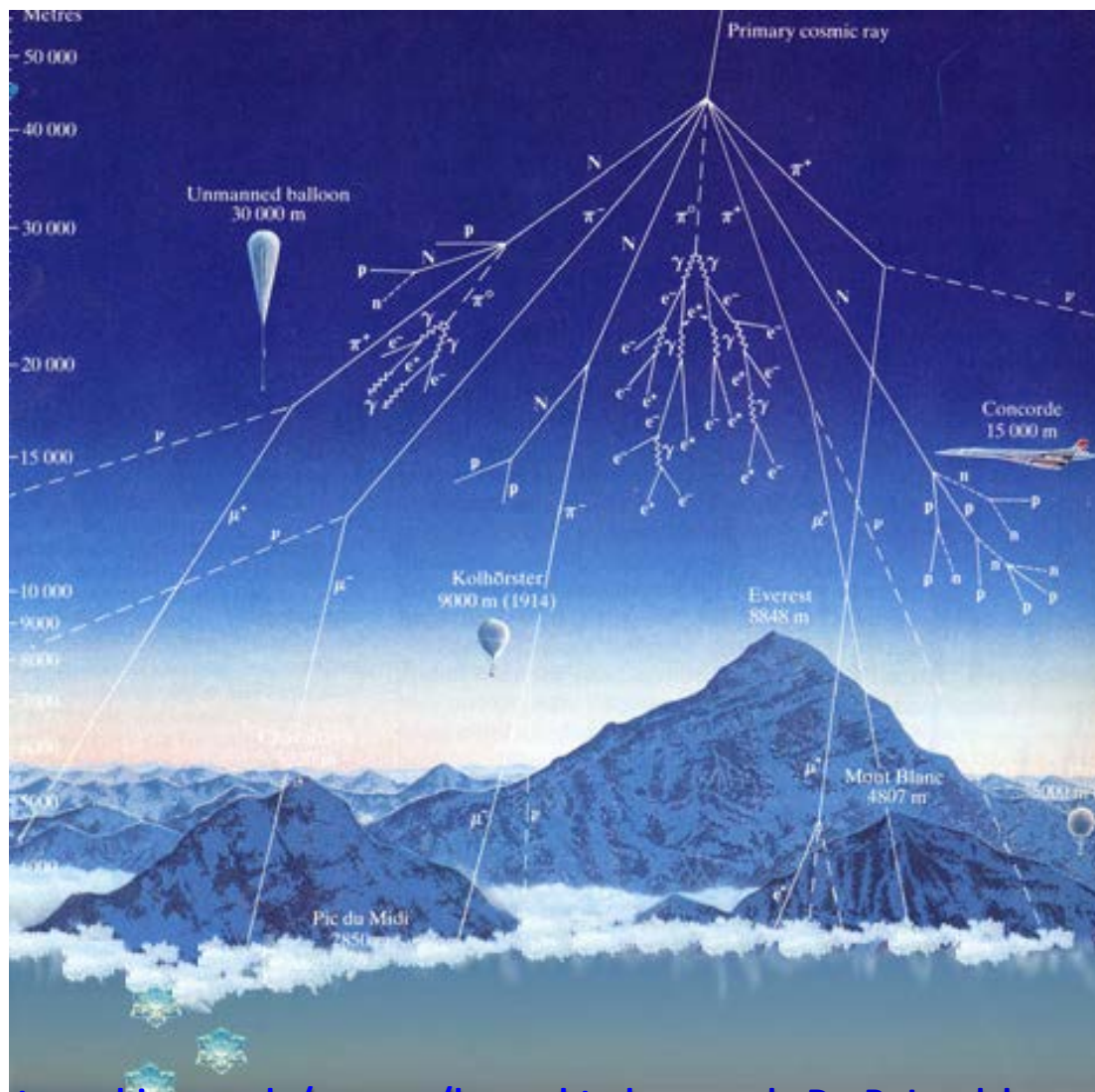
(burze magnetyczne i zaniki łączności radiowej, zorze polarne)

Prędkość strumieni cząstek (głównie elektronów, protonów i cząstek ) w odległości 1 j.a. waha się od 300 do 800 km/s, a gęstość utrzymuje się między  $10^4$  a  $3 \times 10^6$  cząstek na metr sześcienny



Plik [Polarlicht 2.jpg](#) [ [edytuj opis](#) ] umieszczony jest w [Wikimedia Commons](#), repozytorium wolnych zasobów projektów Fundacji Wikimedia



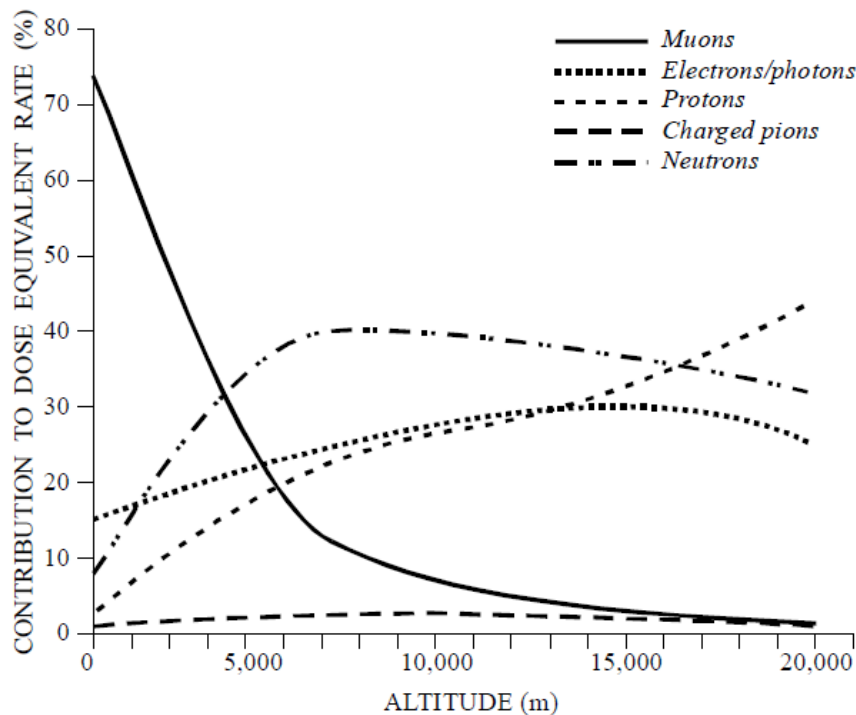


(<http://astro.uchicago.edu/cosmus/home.html>; za zgodą Dr. R. Landsberga)

- protony ( $^1\text{H}$ ),
- deuterony ( $^2\text{H}$ ),
- cząstki  $\alpha$  ( $^4_2\text{He}$ ),
- neutrony,
- mezony,
- neutrina,
- elektrony,
- prom  $\gamma$

Składowe mocy dawki promieniowania kosmicznego w funkcji wysokości [m]

$$E_m(z) = E_m(0) \times [0.21 \cdot e^{-1.65 \cdot z} + 0.79 \cdot e^{0.453}]$$



Miony- druga generacja cząstek elementarnych i wykazują pokrewieństwo z elektronem, tzn. posiadają takie same własności co elektron, z wyjątkiem około 207 razy większej masy

# PROMIENIOWANIE KOSMICZNE DOCIERAJĄCE NA ZIEMIĘ



(300 km)



Międzynarodowa Stacja Kosmiczna

**Misja okołozemska**

$\sim 200 \mu\text{Sv/godz}$  **100 mSv na misję**

**Ponaddźwiękowe loty pasażerskie**

$10 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{88 \text{ mSv/rok}}$

**Liniowe loty pasażerskie**

$5 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{44 \text{ mSv/rok}}$

Jeden przelot 9 godzinny przelot  $\sim 5 \mu\text{Sv}$

**Himalaje (Mont Everest)**

$1 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{8.8 \text{ mSv/rok}}$

**Lhasa Tybet**

$0.2 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{1.8 \text{ mSv/rok}}$

**Tatry-Kasprowy Wierch**

$0.1 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{0.9 \text{ mSv/rok}}$

**Poziom morza (Bałtyk plaża)**

$0.03 \mu\text{Sv/godz} \times 8784 = \sim \mathbf{0.26 \text{ mSv/rok}}$



(15 km)



(10 km)



(8.8 km)



(3.7 km)



(2.5 km)



(0 km)

$\approx 2$  razy co 1.8 km

# ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO Z GAZAMI ATMOSFERYCZNYMI

## WAŻNIEJSZE RADIONUKLIDY KOSMOGENNE

POWSTAJĄ ZE STAŁĄ SZYBKościĄ W STRATOSFERZE

ŚREDNI CZAS PRZEBYWANIA 1 – 2 LAT



bariera

TROPOPAUSA (H= 10-12 km)

WIOSNA, JESIEŃ PRZERWY NA SZEROKOŚCI GEOGRAFICZNEJ  $30^\circ \div 50^\circ$

**TROPOSFERA**

## WAŻNIEJSZE RADIONUKLIDY KOSMOGENNE

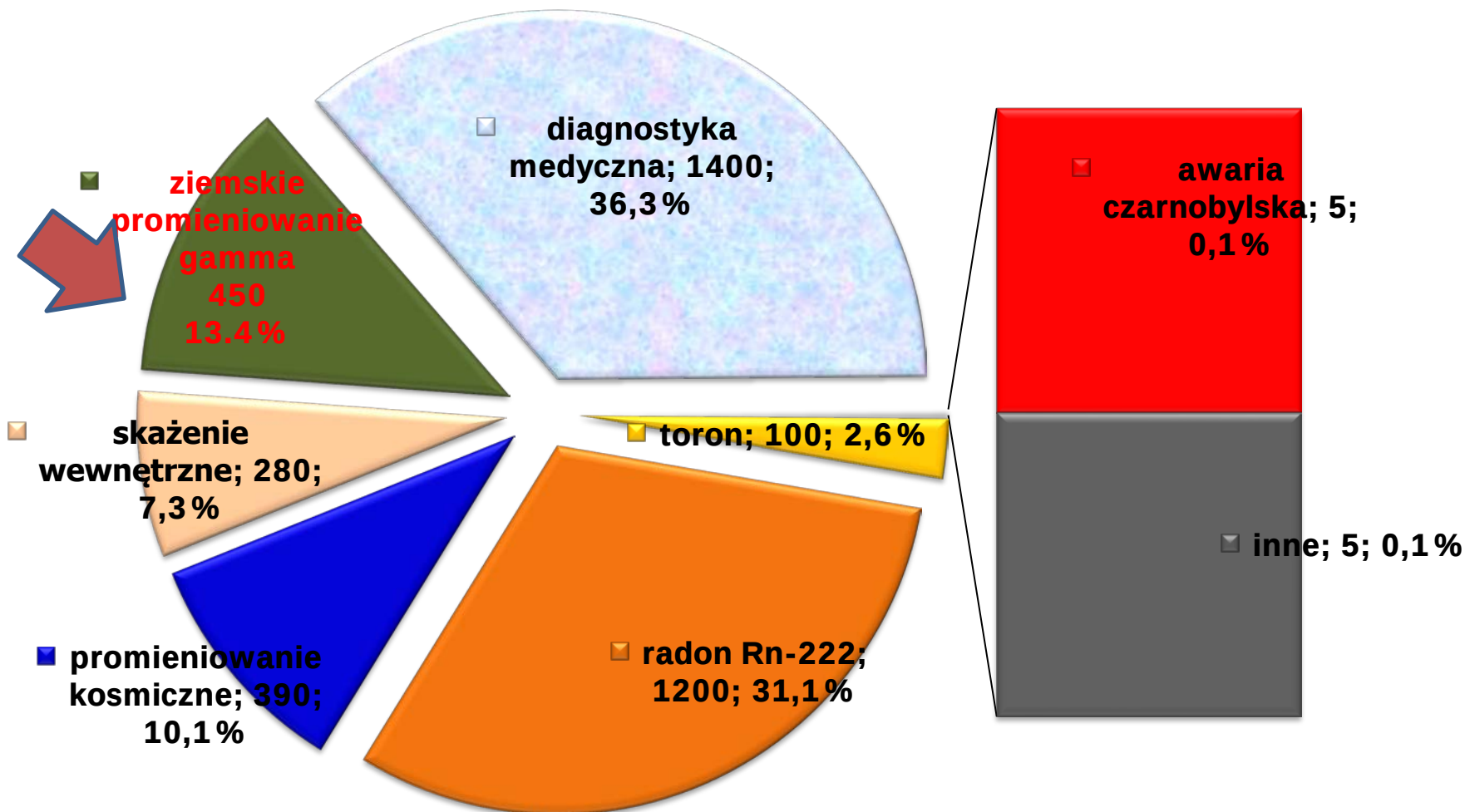
| RADIONUKLID          | Okres<br>połowicznego<br>rozpadu | Reakcja<br>tworzenia                        | Efektywny<br>równoważnik<br>dawki Sv·rok-1 |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| H-3 (Tryt)           | 12.43 lat                        | $^{14}\text{N}(n, ^3\text{H})^{12}\text{C}$ | $0.01 \times 10^{-6}$                      |
| Be-7 (Beryl)         | 53 dni                           | Spalacja $^{14}\text{N}$                    | $3.0 \times 10^{-6}$                       |
| <b>C-14 (Węgiel)</b> | <b>5760 lat</b>                  |                                             | $12.0 \times 10^{-6}$                      |
| Be-10 (Beryl)        | $2.5 \times 10^6$ lat            |                                             |                                            |
| Na-22 (Sód)          | 2.6 lat                          |                                             | $0.2 \times 10^{-6}$                       |



# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$



## RADIONUKLIDY NATURALNE POCHODZENIA ZIEMSKIEGO



## NUKLEOSYNTeza

- Według teorii kosmogenezy, w procesach **nukleosyntezy** w gwiazdach powstają pierwiastki chemiczne.
- W trakcie formowania się układu słonecznego, w skorupie ziemskiej oprócz nuklidów trwałych, przetrwały do dziś tylko te pierwiastki promieniotwórcze, których okres połowicznego zaniku jest porównywalny z wiekiem Ziemi (~4,5 miliarda lat)



# RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO WYSTĘPUJĄCE POJEDYŃCZO

| LP | IZOTOP                                                      | CZAS<br>POŁOWICZNEGO<br>ROZPADU $T_{1/2}$ (lat)                 | Zawartość w<br>pierwiastku<br>naturalnym<br>(%) | Rodzaj<br>promieniowani<br>a |
|----|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|
| 1  | $^{40}\text{K}$ (Potas)                                     | $1.3 \times 10^9$                                               | 0.0118                                          | $\beta, \gamma$              |
| 2  | $^{50}\text{V}$ (Wanad)                                     | $6.0 \times 10^{14}$                                            | 0.25                                            | $\beta$                      |
| 3  | $^{87}\text{Rb}$ (Rubid)                                    | $4.8 \times 10^{10}$                                            | 27.83                                           | $\beta$                      |
| 4  | $^{113}\text{Cd}$ (Kadm)                                    | $9.0 \times 10^{15}$                                            | 12.3                                            | $\beta$                      |
| 5  | $^{115}\text{In}$ (Ind)                                     | $5.0 \times 10^{14}$                                            | 95.7                                            | $\beta$                      |
| 6  | $^{138}\text{La}$ (Lantan)                                  | $1.1 \times 10^{11}$                                            | 0.09                                            | $\beta$                      |
| 7  | $^{142}\text{Ce}$ (Cer)                                     | $>5 \times 10^{16}$                                             | 11.1                                            | $\alpha$                     |
| 8  | $^{144}\text{Nd}$ (Neodym)                                  | $2.1 \times 10^{15}$                                            | 23.9                                            | $\alpha$                     |
| 9  | $^{147}\text{Sm}, ^{148}\text{Sm}, ^{149}\text{Sm}$ (Samar) | $1.1 \times 10^{11};$<br>$8.0 \times 10^{15}; > \times 10^{16}$ | 15, 11.2, 13.8                                  | $\alpha$                     |
| 10 | $^{152}\text{Gd}$ (Gadolin)                                 | $1.1 \times 10^{14}$                                            | 0.2                                             | $\alpha$                     |
| 11 | $^{156}\text{Dy}$ (Dysproz)                                 | $2.0 \times 10^{14}$                                            | 0.06                                            | $\alpha$                     |
| 12 | $^{176}\text{Lu}$ (Lutet)                                   | $2.7 \times 10^{10}$                                            | 2.6                                             | $\beta$                      |
| 13 | $^{174}\text{Hf}$ (Hafn)                                    | $2.0 \times 10^{15}$                                            | 0.17                                            | $\alpha$                     |
| 14 | $^{180}\text{Ta}$ (Tantal)                                  | $>5 \times 10^{13}$                                             | 0.012                                           | $\beta$                      |
| 15 | $^{190}\text{Pt}$ (Platyna)                                 | $7.0 \times 10^{11}$                                            | 0.013                                           | $\alpha$                     |
| 16 | $^{204}\text{Pb}$ (Ołów)                                    | $1.4 \times 10^{17}$                                            | 1.48                                            | $\alpha$                     |

# RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO WYSTĘPUJĄCE POJEDYŃCZO

## Charakterystyka Potasu K-40 i Rubidu Rb-89

| Charakterystyka                                             | <sup>40</sup> K (Potas)                 | <sup>87</sup> Rb (Rubid) |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| <b>T<sub>1/2</sub> (lata)</b>                               | 1.3×10 <sup>9</sup>                     | 4.8×10 <sup>10</sup>     |
| Zawartość<br>w pierwiastku naturalnym                       | 0.012                                   | 27.83                    |
| Rodzaj promieniowani<br>i energia, Mev                      | β 1.33<br>γ 1.46                        | β 0.274                  |
| Zawartość pierwiastka w<br>człowieku standardowym           | 140 g                                   | 1.19 g                   |
| Zawartość radionuklidu w<br>człowieku standardowym          | 4440 Bq                                 | 1000 Bq                  |
| Efektywny równoważnik<br>dawki od skażeń<br>wewnętrznych    | 180 μSv/rok<br><b>(64% 280 μSv/rok)</b> | 6 μSv/rok                |
| Efektywny równoważnik<br>dawki od ekspozycji<br>zewnętrznej | 120 μSv/rok<br><b>(27% 450 μSv/rok)</b> |                          |

# RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

## URANOWY

rozpoczyna się rozpadem alfa uranu  $^{238}\text{U}$   
a kończy na stabilnym ołowiu  $^{206}\text{Pb}$

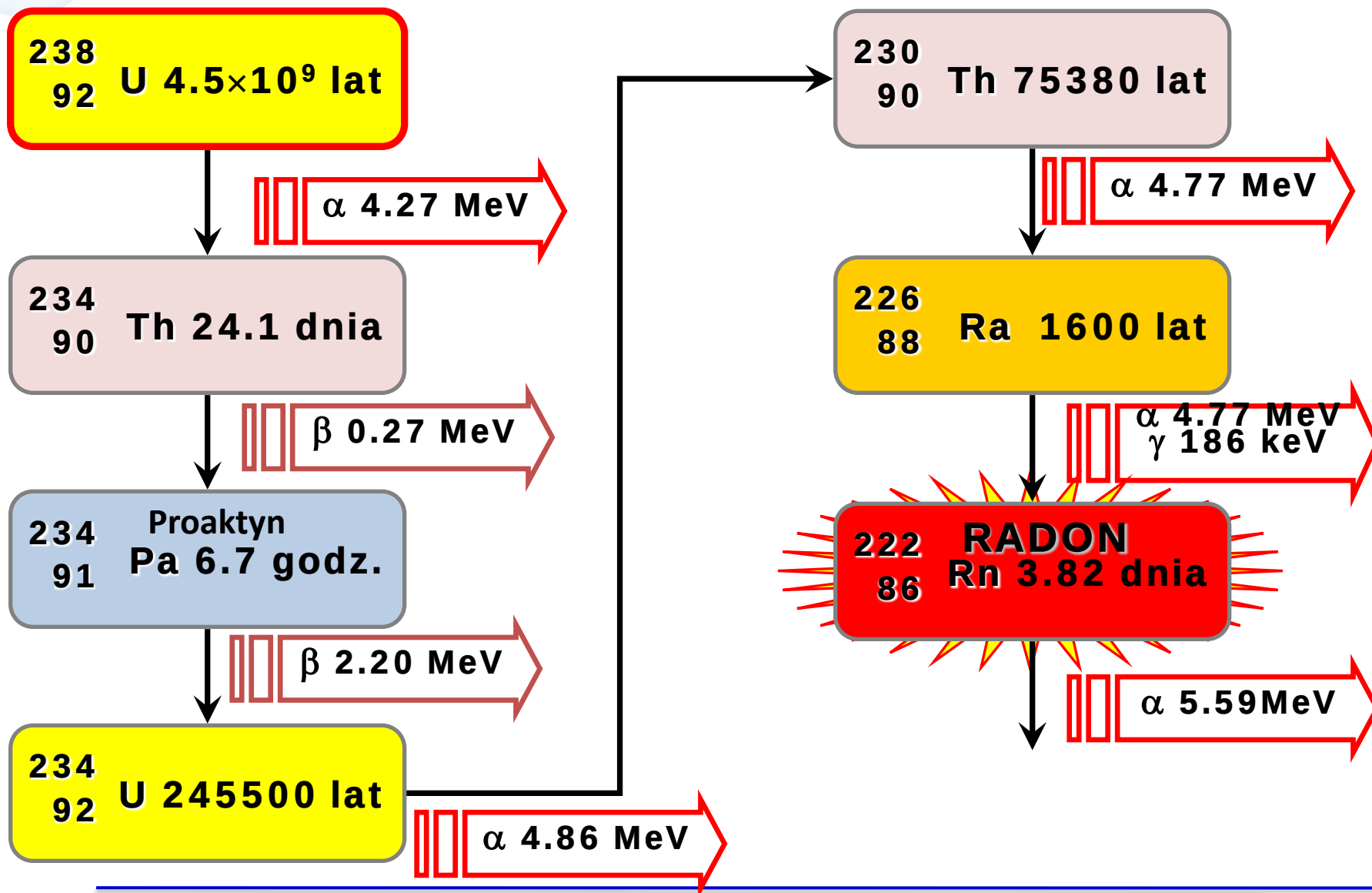
łącznie 18 nuklidów

najważniejsze to:

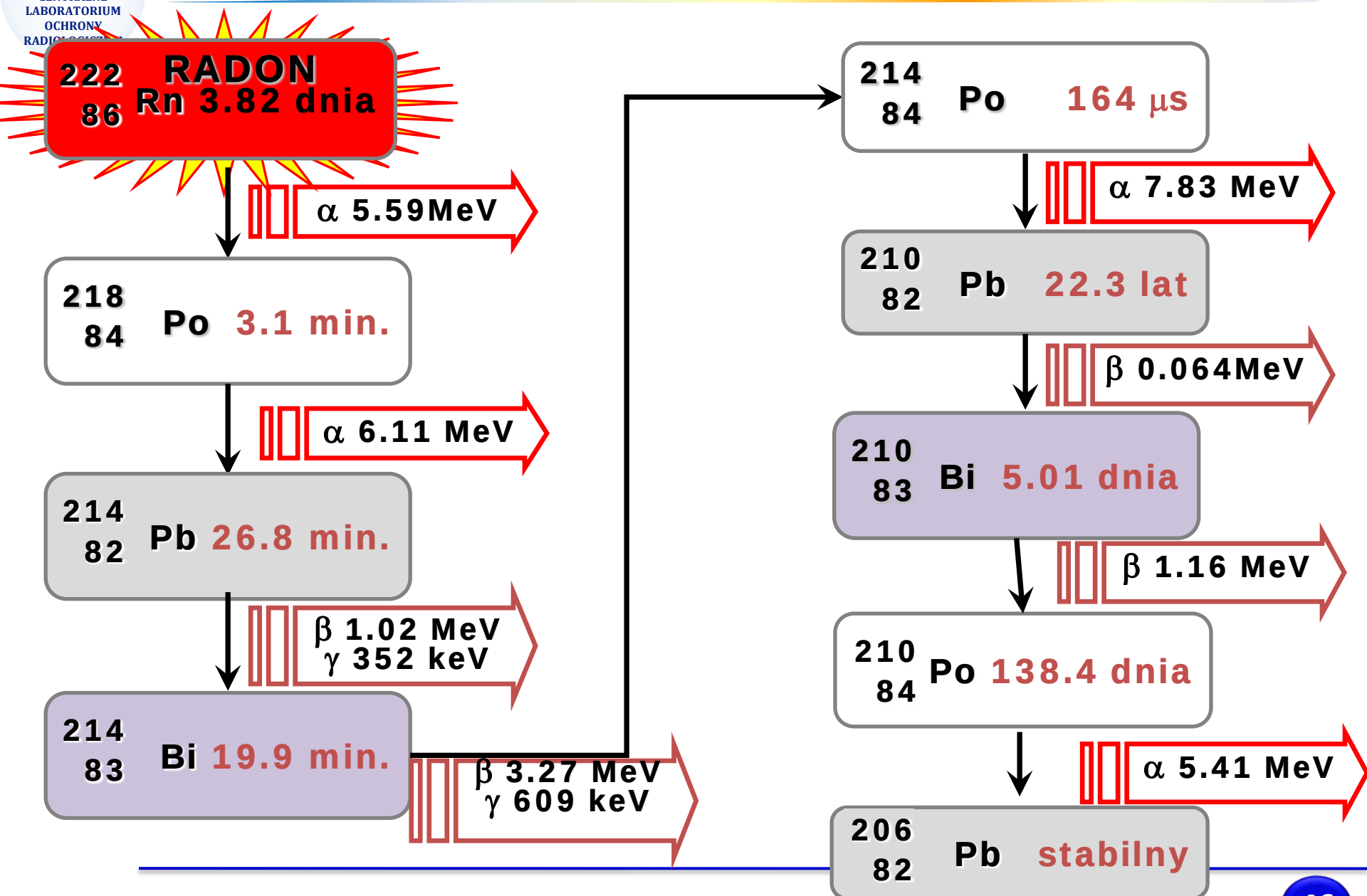
$^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$



# SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY $^{238}\text{U}$



# SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY $^{238}\text{U}$ c.d.



# RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

## TOROWY

rozpoczyna się rozpadem alfa toru  $^{232}\text{Th}$   
a kończy na stabilnym ołowiu  $^{208}\text{Pb}$

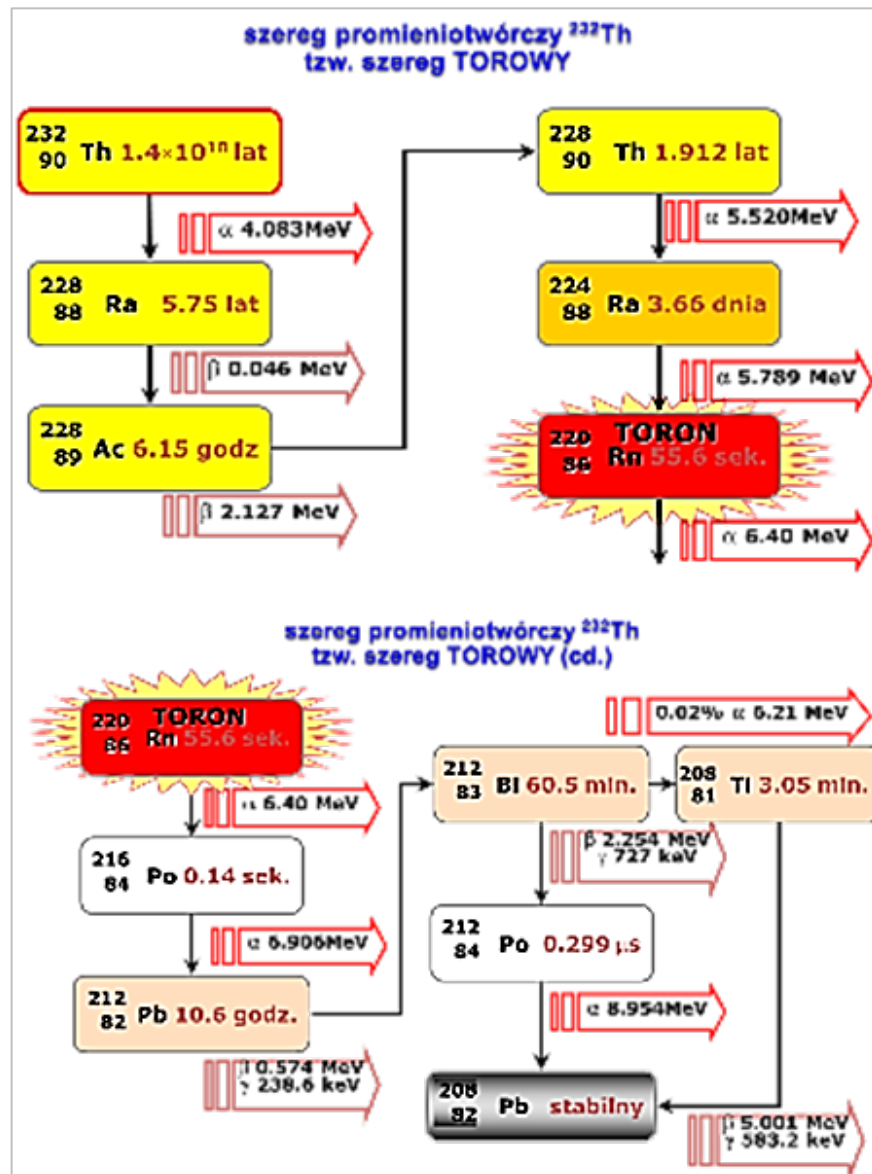
łącznie 12 nuklidów

najważniejsze to:

$^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{220}\text{Rn}$



# SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY $^{232}\text{Th}$



# RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

## AKTYNOWY

rozpoczyna się rozpadem alfa uranu  $^{235}\text{U}$   
a kończy na stabilnym ołowiu  $^{207}\text{Pb}$

łącznie 15 nuklidów

najważniejsze to:

$^{235}\text{U}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{223}\text{Ra}$



## PRZYKŁADY RADIONUKLIDÓW WYSTĘPUJĄCYCH NATURALNIE NA ZIEMI

| Pierwiastek promieniotwórczy | $T_{1/2}$                 | aktywność                                   |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| $^{235}\text{U}$             | $7,04 \times 10^8$ lat    | (0,72%)                                     |
| $^{238}\text{U}$             | $4,47 \times 10^9$ lat    | (99,2745%) kilka ppm w skałach              |
| $^{232}\text{Th}$            | $1,41 \times 10^{10}$ lat | ok. 10 ppm w skorupie ziemskiej             |
| $^{226}\text{Ra}$            | $1,60 \times 10^3$ lat    | 16 – 48 Bq/kg w skałach                     |
| $^{222}\text{Rn}$            | 3,82 dni                  | $\sim 1 - 10$ Bq/m <sup>3</sup> w powietrzu |
| $^{40}\text{K}$              | $1,28 \times 10^9$ lat    | do 1 Bq/g w glebach                         |

Niektóre inne radionuklidy:  $^{50}\text{V}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{123}\text{Te}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{142}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{152}\text{Gd}$ ,  $^{174}\text{Hf}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{187}\text{Re}$ ,  $^{190}\text{Pt}$ ,  $^{192}\text{Pt}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ .





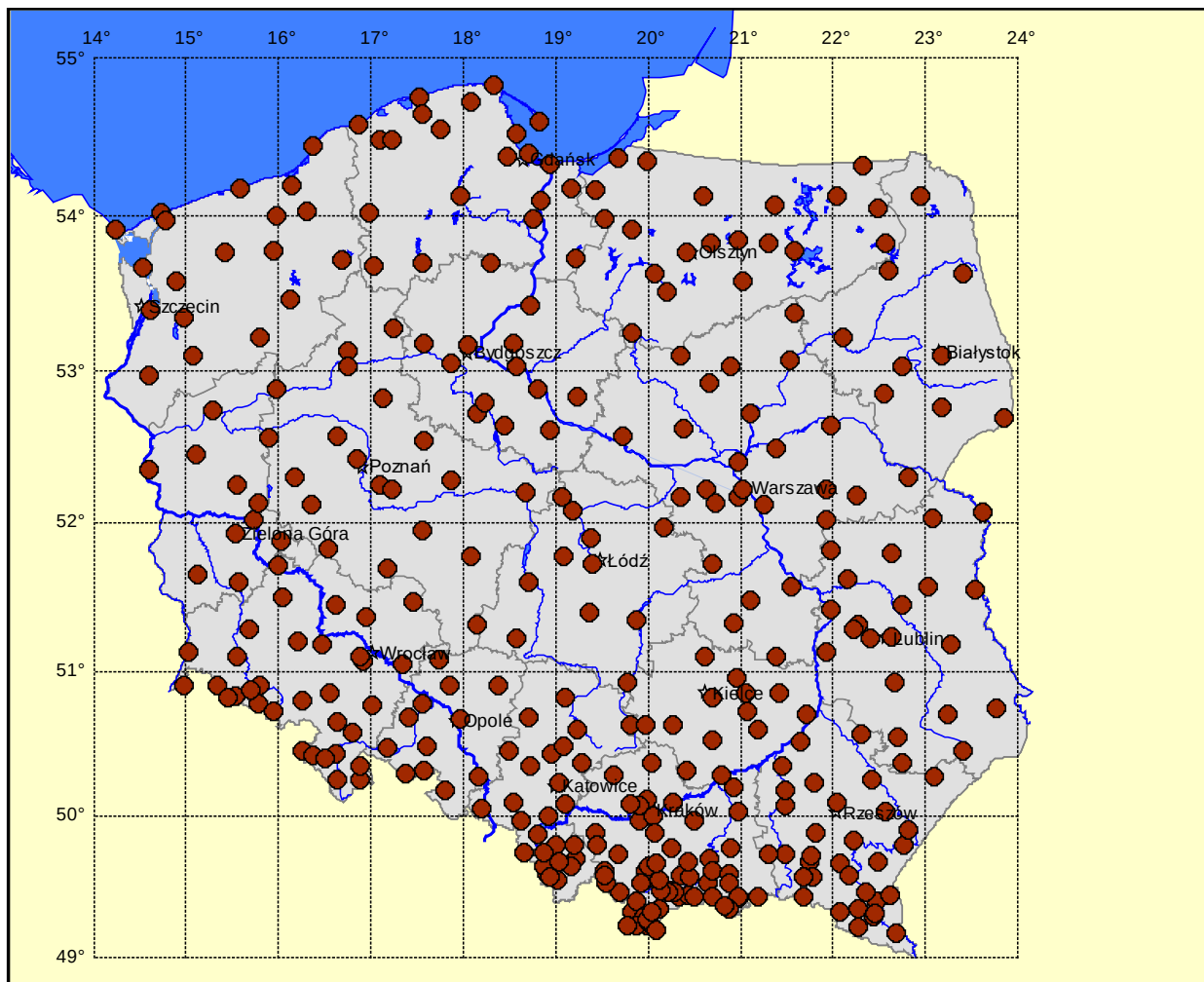
## PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE W SKORUPIE ZIEMI

| Pierwiastek<br>Promieniotwórczy | Aktywność<br>właściwa<br>[Bq/g] | Aktywność<br>właściwa<br>skorupy ziemskiej<br>[Bq/t] |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|
| $^{40}\text{K}$                 | $2,6 \cdot 10^5$                | $7,3 \cdot 10^5$                                     |
| $^{87}\text{Rb}$                | $3,2 \cdot 10^3$                | $2,0 \cdot 10^5$                                     |
| $^{232}\text{Th}$               | $4,1 \cdot 10^3$                | $3,9 \cdot 10^4$                                     |
| $^{235}\text{U}$                | $8,0 \cdot 10^4$                | $1,7 \cdot 10^3$                                     |
| $^{238}\text{U}$                | $1,2 \cdot 10^4$                | $3,5 \cdot 10^4$                                     |

*Prof. dr hab..Tadeusz Hilczer Energetyka Jądrowa*



## Główny Inspektorat Ochrony Środowiska GIOŚ



## STĘŻENIA NATURALNYCH IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W 10 cm WARSTWIE GLEBY [Bq·kg<sup>-1</sup> ] (wartości średnie i zakres w 2019)

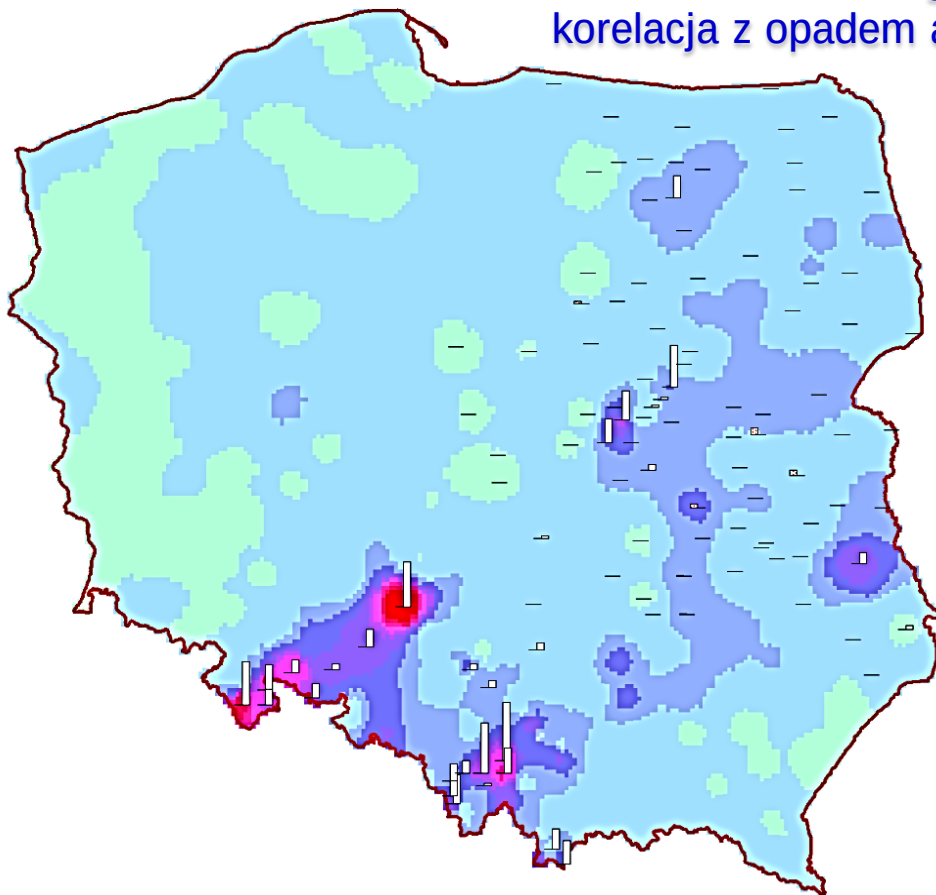
| RADIONUKLID                         | ŚREDNIA | ZAKRES     |
|-------------------------------------|---------|------------|
| K-40 (Potas) - pojedynczy           | 372     | 29 ÷ 1049  |
| Ra-226 (Rad) szereg uranowy U-238   | 24.1    | 5.2 ÷ 93.3 |
| Ac-228 (Aktyn) szereg torowy Th-232 | 22.0    | 3.6 ÷ 74.3 |

## STĘŻENIA PROMIENIOTWÓRCZEGO CEZU Cs-134 i Cs-137 w 10 cm warstwie gleby [kBq·m<sup>2</sup> ] (wartości średnie i zakres)

| ROK   | Cs-134 ( $T_{1/2}$ 2.065 lat) | Cs-137 ( $T_{1/2}$ 30.07 lat) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1988  | 0.99 (0.03 ÷ 20.1)            | 4.7 (0.21 ÷ 81.0)             |
| 1989  | 0.72 (0.04 ÷ 9.0)             | 4.7 (0.74 ÷ 57.8)             |
| 1990  | 0.51 (0.02 ÷ 6.8)             | 4.7 (0.76 ÷ 54.5)             |
| 1992  | 0.25 (0.01 ÷ 3.4)             | 4.2 (0.51 ÷ 49.9)             |
| 1996  | <0.1 (<0.1 ÷ 1.3)             | 3.7 (0.31 ÷ 37.6)             |
| 1998  | <Limit detekcji               | 3.5 (0.41 ÷ 34.7)             |
| 2003  | <Limit detekcji               | 3.2 (0.2 ÷ 34.3)              |
| ..... | .....                         | .....                         |
| 2019  | <Limit detekcji               | ≅1.9.0 (0.1 ÷ 26)             |

## MAPA STĘŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZEGO CEZU Cs-137

(źródło pochodzenia: próbne wybuchy jądrowe w atmosferze, awaria w Charnobylu 1986 r.)  
w 10 cm warstwie gleby [ $\text{kBq}\cdot\text{m}^2$ ]  
korelacja z opadem atmosferycznym



| $^{137}\text{Cs}$ $\text{kBq}/\text{m}^2$                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|    | >20     |
|    | 12 - 20 |
|    | 5 - 12  |
|    | 3-5     |
|   | 2-3     |
|  | > 2     |

# MONITORING RADIOLOGICZNY

## POMIAR MOCY DAWKI

### MOC DAWKI PROMIENIOWANIA GAMMA W POLSCE

| PLACÓWKA                 | MIEJSCOWOŚĆ | ŚREDNIA<br>ROCZNA<br>nSv/h | ZKRES ŚREDNICH<br>DOBOWYCH<br>nSv/h |
|--------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------------|
| PLACOWKI<br>ALARMOWE PMS | Warszawa    | 75                         | 70 -78                              |
|                          | Gdynia      | 77                         | 61-87                               |
|                          | Mikołajki   | 88                         | 78-96                               |
|                          | Poznań      | 61                         | 61-70                               |
|                          | Świnoujście | 56                         | 52-61                               |
|                          | Legnica     | 80                         | 78-87                               |
|                          | Włodawa     | 70                         | 61-78                               |
|                          | Zakopane    | 97                         | 87-104                              |
|                          | Lesko       | 90                         | 78-96                               |



# MONITORING RADIOLOGICZNY

## POMIAR MOCY DAWKI

### MOC DAWKI PROMIENIOWANIA GAMMA W POLSCE

| PLACÓWKA             | MIEJSCOWOŚĆ | ŚREDNIA ROCZNA<br>nGy/h | ZKRES ŚREDNICH<br>DOBOWYCH<br>nGy/h |
|----------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------------|
| PLACÓWKI<br>WOJSKOWE | Warszawa    | 78                      | 52-182                              |
|                      | Szczecin    | 87                      | 61-191                              |
|                      | Ustka       | 88                      | 61-165                              |
|                      | Gdynia      | 87                      | 43-182                              |
|                      | Bydgoszcz   | 78                      | 61-191                              |
|                      | Olsztyn     | 87                      | 70-156                              |
|                      | Wrocław     | 78                      | 52-191                              |
|                      | Lublin      | 87                      | 61-191                              |
|                      | Kraków      | 96                      | 61-156                              |
|                      | Rzeszów     | 78                      | 43-182                              |

# MONITORING RADIOLOGICZNY

## POMIAR MOCY DAWKI

### MOC DAWKI PROMIENIOWANIA GAMMA W POLSCE

| PLACÓWKA                                          | MIEJSCOWOŚĆ  | ŚREDNIA<br>ROCZNA<br>nGy/h | ZKRES ŚREDNICH<br>DOBOWYCH<br>nGy/h |
|---------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------------|
| PLACÓWKI SIECI<br>CIĄGŁEGO<br>MONITORINGU<br>IMGW | Białystok    | 87                         | 76-107                              |
|                                                   | Gdynia       | 104                        | 98-110                              |
|                                                   | Koszalin     | 83                         | 77-92                               |
|                                                   | Kraków       | 107                        | 91-120                              |
|                                                   | Lublin       | 107                        | 89-115                              |
|                                                   | Olsztyn      | 81                         | 75-89                               |
|                                                   | Sanok        | 85                         | 72-97                               |
|                                                   | Szczecin     | 96                         | 91-112                              |
|                                                   | Warszawa     | 79                         | 63-95                               |
|                                                   | Wrocław      | 86                         | 78-97                               |
|                                                   | Zielona Góra | 78                         | 75-88                               |

# MONITORING RADIOLOGICZNY

## POMIAR MOCY DAWKI

### MOC DAWKI PROMIENIOWANIA GAMMA W POLSCE

$$84 \text{ nSv/godz} \times 8760 \text{ godzin/rok} = 740 \text{ } \mu\text{Sv/rok}$$

Promieniowanie kosmiczne = 290  $\mu\text{Sv/rok}$

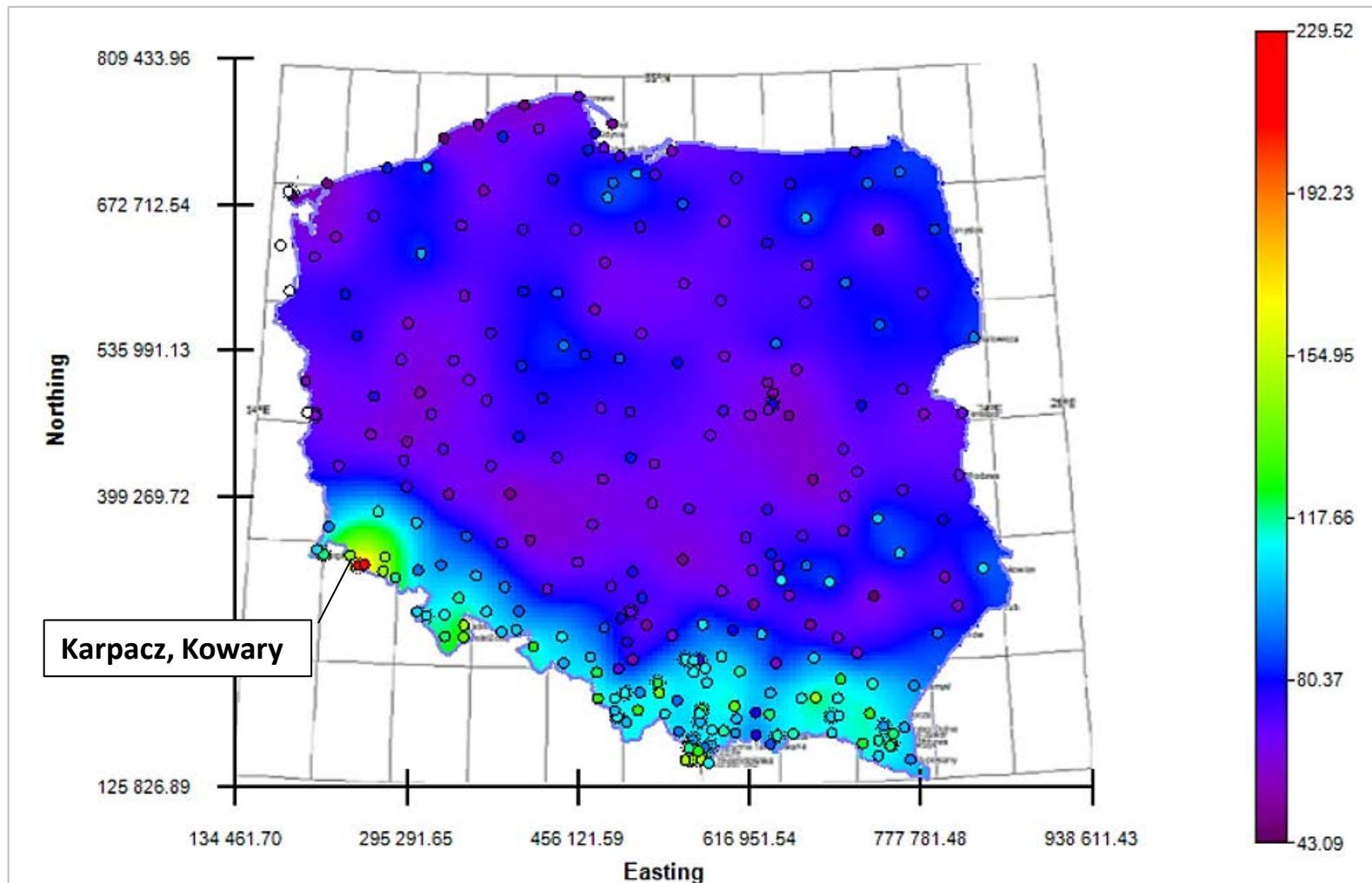
+

Promieniowanie ziemskie 450  $\mu\text{Sv/rok}$

# MONITORING RADIOLOGICZNY

## POMIAR MOCY DAWKI

Odwzorowanie  
ETRS89/CS92  
[EPSG:2180]

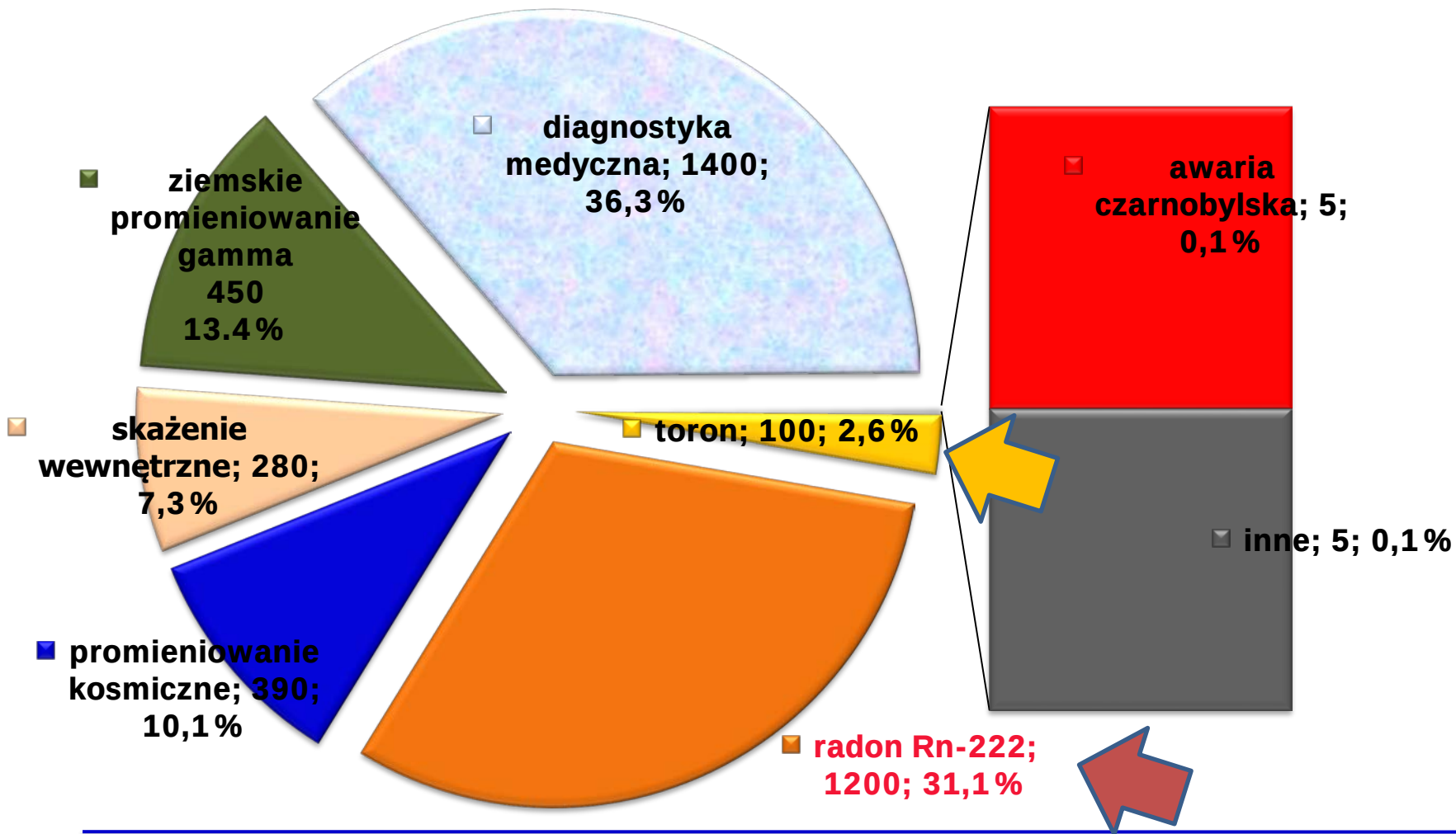


*Interpolacja  $\dot{H}^*(10)$  algorytmem krigingu z wagami wariogramu eksponencjalnego*

# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

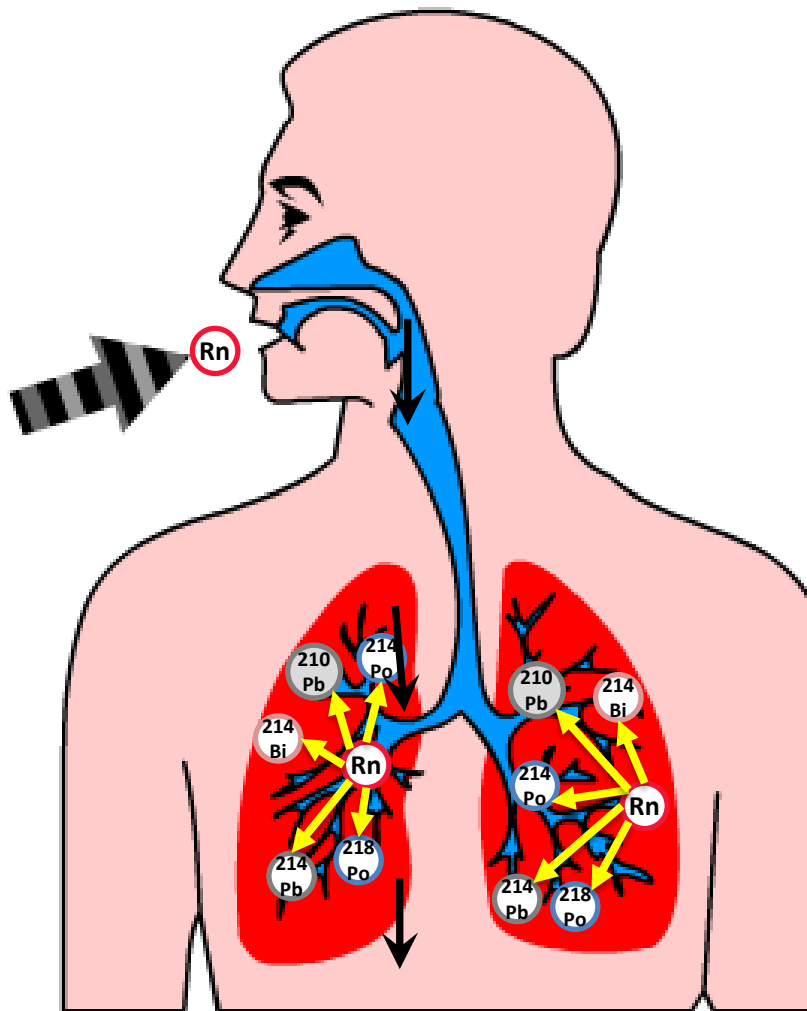
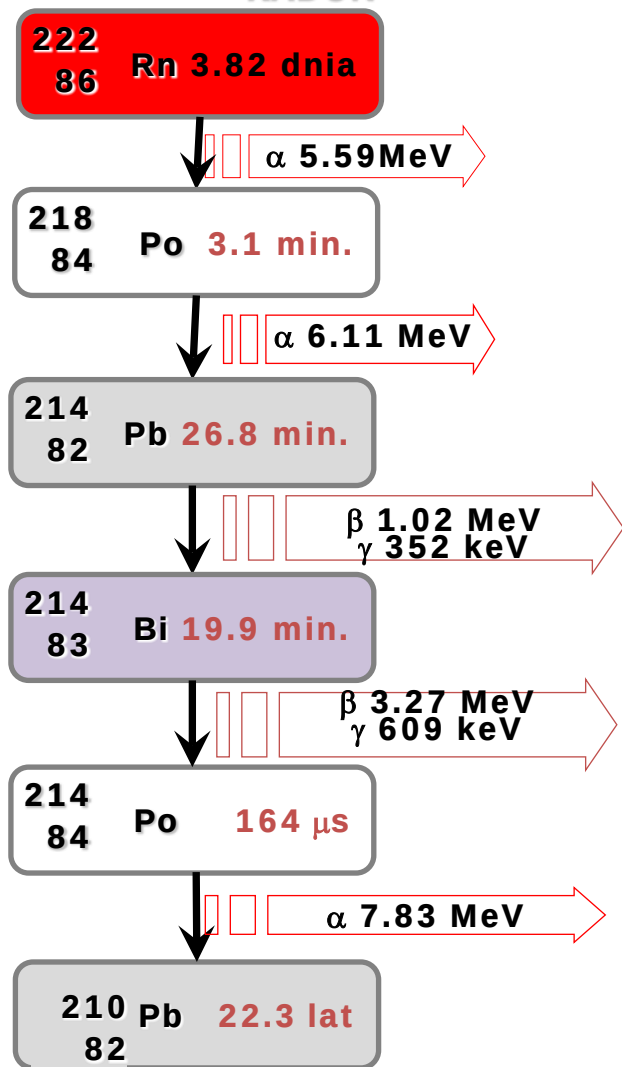
Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$



# NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE

## UKŁAD ODDECHOWY RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

### RADON

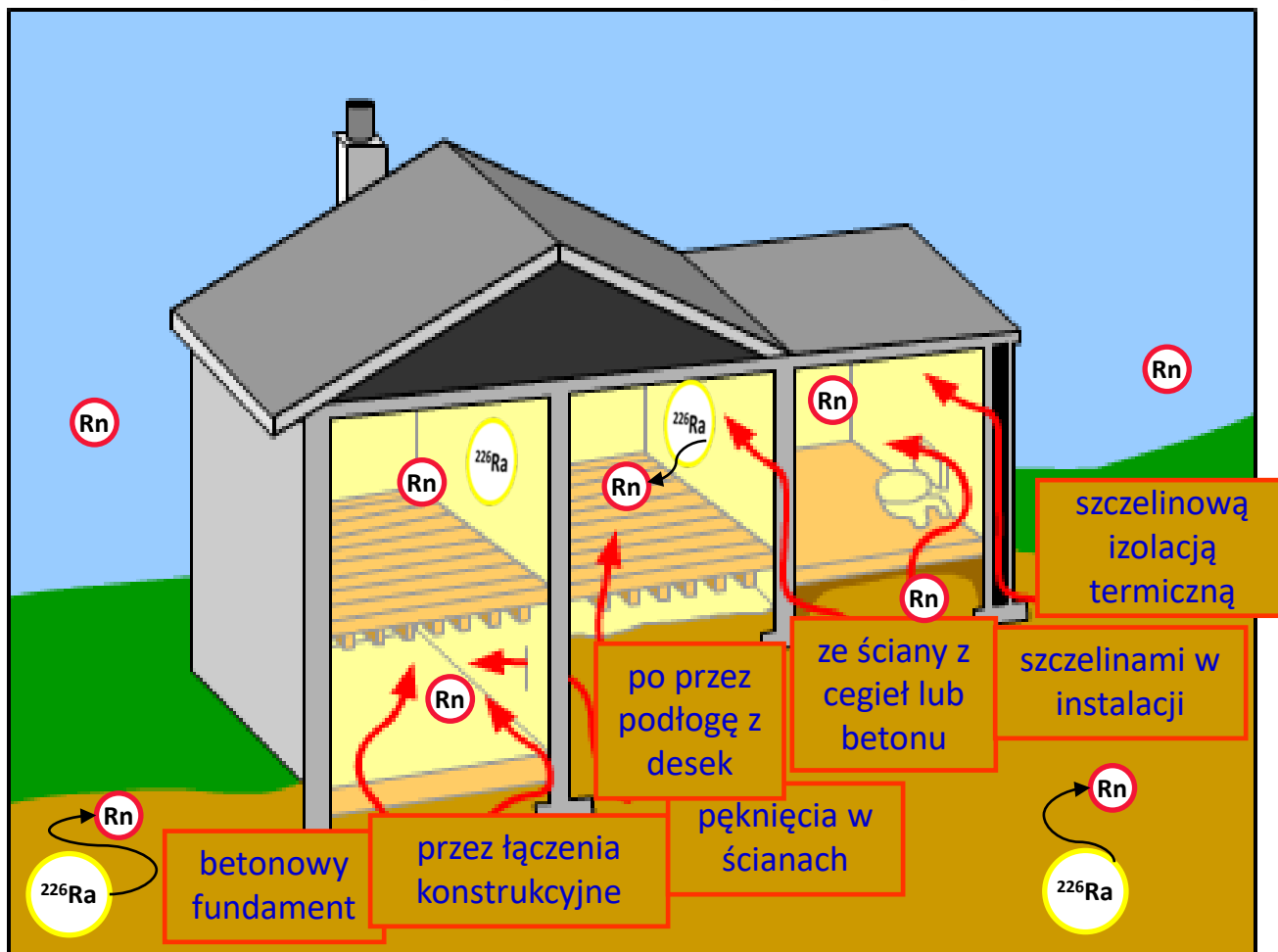




## NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE

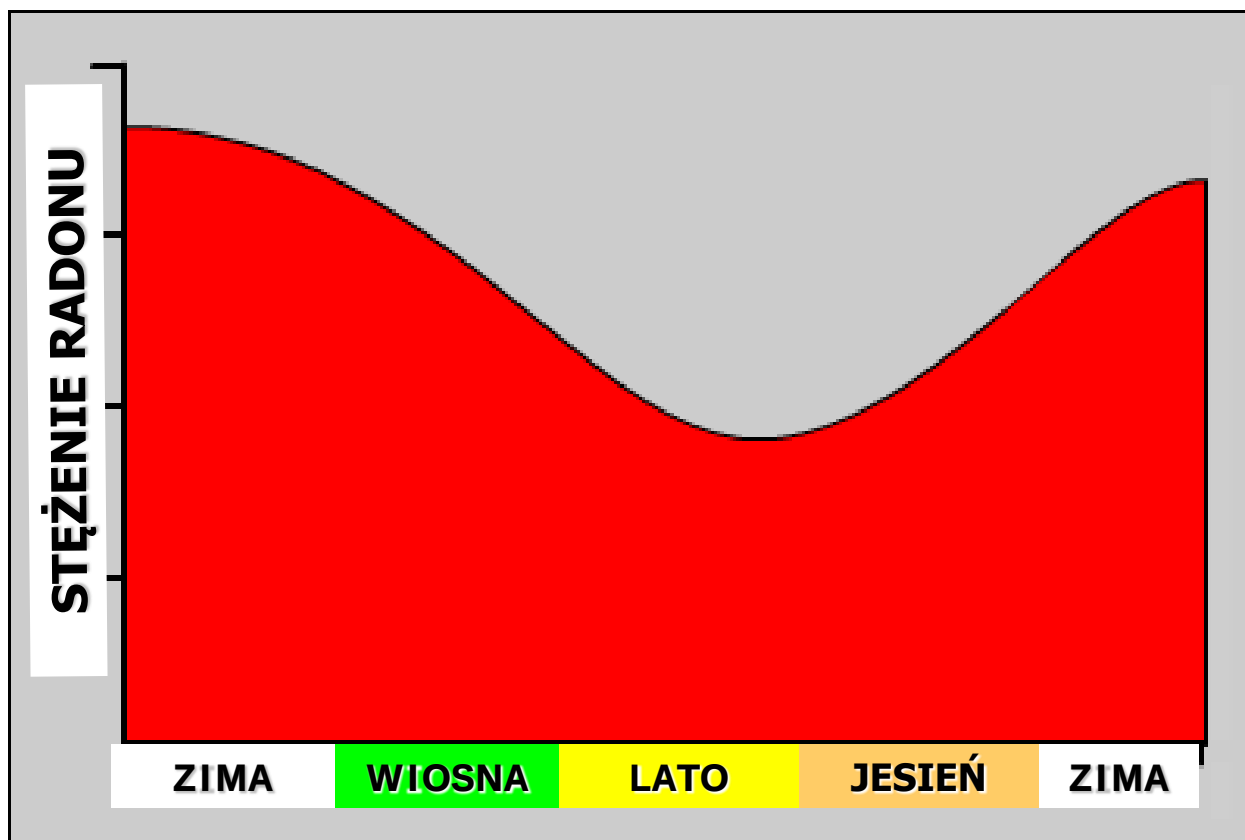
### UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

Radon Rn-222 może przedostawać się do wnętrza pomieszczeń różnymi drogami a będąc gazem szlachetnym cięższym od powietrza chętnie **zbiera się w dolnych partiach budynku jsk parter, podpiwniczenie**



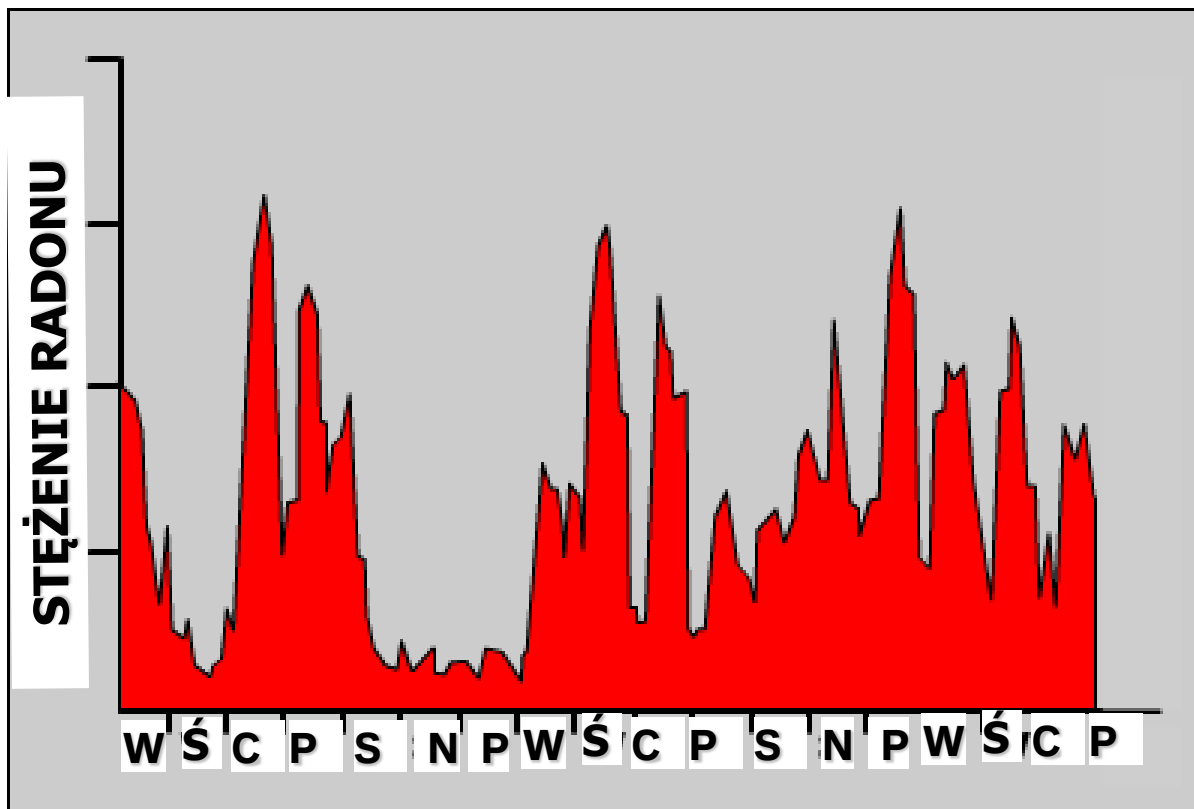
# NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

STĘŻENIE RADONU W POMIESZCZENIU ZMIENIA SIĘ W ZALEŻNOŚCI OD PORY ROKU  
W PRAWIE ATOMOWYM (LIMIT  $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  )  
ODNOSI SIĘ DO STĘŻENIA ŚREDNIOROCZNEGO



# NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

## DZIENNE ZMIANY STĘŻENIE RADONU W POMIESZCZENIU

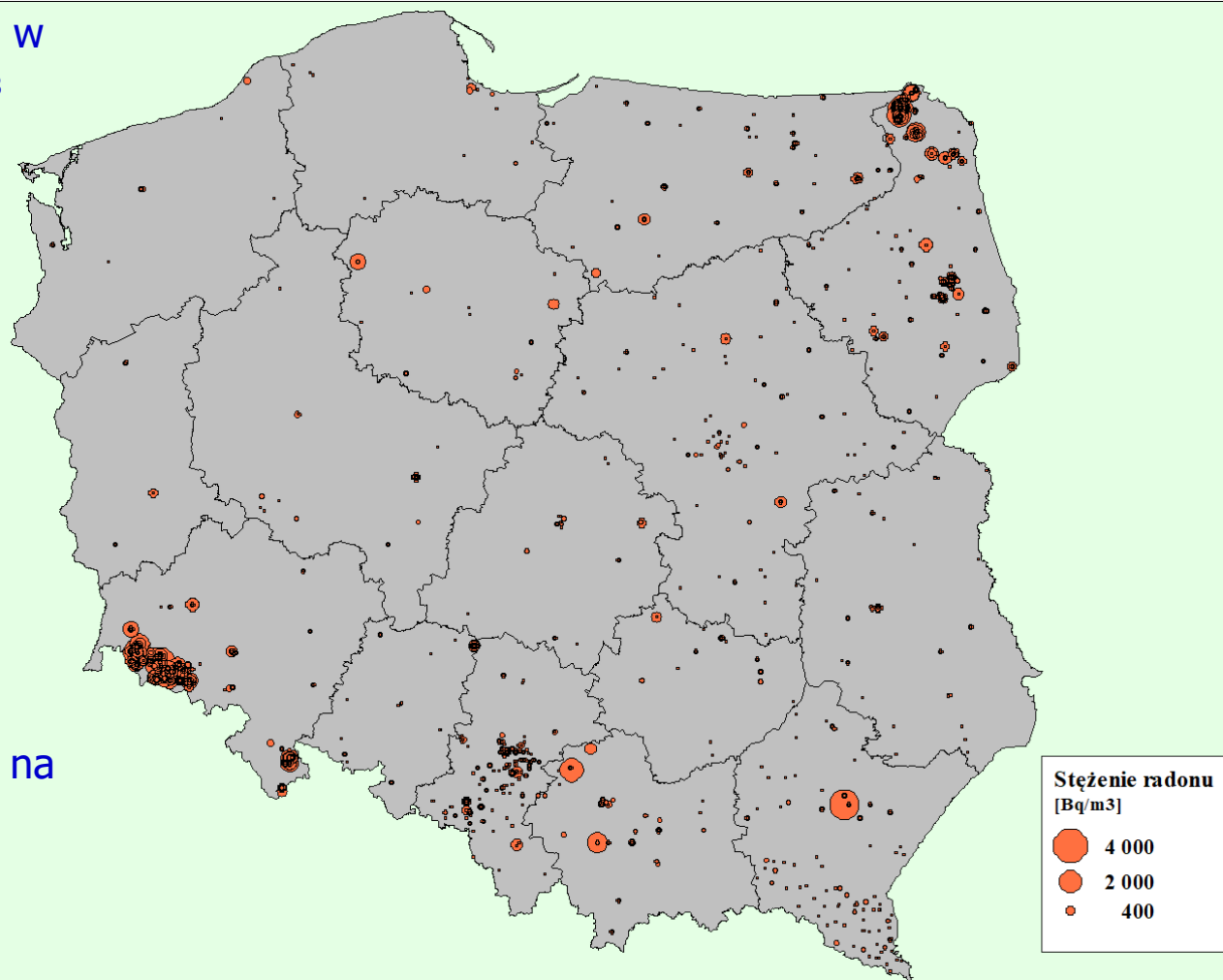


# NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

3302 pomiary radonu w całej Polsce 1991-2005

średnie stężenie radonu w  
budynkach  $49 \text{ Bq/m}^3$   
 $10 \div 5000 \text{ Bq/m}^3$

średnie stężenie radonu na  
otwartym powietrzu  
 $6.5 \text{ Bq/m}^3$   
 $4.5 - 8.9 \text{ Bq/m}^3$



# RADON

w ustawie z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy –  
**Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej**

(47a)

**średnioroczne stężenie radonu** – wartość stężenia radonu oszacowaną na podstawie pomiarów tego stężenia w okresie nie krótszym niż jeden miesiąc, odpowiadającą średniemu stężeniu radonu w powietrzu w okresie roku kalendarzowego

## Rozdział 2

### **Zezwolenia w zakresie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej**

Art. 4. 1. Wykonywanie działalności związanej z narażeniem, polegającej na:

15) wykonywaniu pracy w miejscach pracy, w których, mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji, stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń w tych miejscach pracy przekracza poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b,

16) wykonywaniu pracy w miejscach pracy pod ziemią, w których, mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji, poziom stężenia energii potencjalnej alfa krótko-życiowych produktów rozpadu radonu w tych miejscach pracy wskazuje na możliwość otrzymania przez pracownika dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 1 mSv (milisiwert) rocznie

– wymaga powiadomienia w zakresie ochrony radiologicznej, z zastrzeżeniem art. 6a.

# RADON

w ustawie z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy –  
**Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej**

## **Rozdział 3**

### **Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników**

Art. 23b. Ustala się poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu w:

- 1) miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń oraz
  - 2) pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi
- w **wysokości 300 Bq/m<sup>3</sup>** (bekereli na metr sześcienny).



# RADON

w ustawie z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy –  
**Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej**

## Rozdział 3

### Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników

Art. 23c. 1. Kierownicy jednostek wykonujących działalność, w której występują miejsca pracy:

1) zlokalizowane wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b,

2) pod ziemią,

3) związane z uzdatnianiem wód podziemnych na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b

– **zapewniają w tych miejscach pracy pomiar stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.**

2. Kierownicy jednostek wykonujących działalność, w których występują miejsca pracy, o których mowa w ust. 1, zapewniają optymalizację narażenia pracowników wykonujących pracę w tych miejscach pracy oraz informują na bieżąco na piśmie takich pracowników o zwiększonym narażeniu na radon, wynikach pomiarów stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w miejscu pracy, otrzymanych przez nich dawkach promieniowania oraz działaniach podejmowanych w celu ograniczenia narażenia na radon w miejscu pracy.

# RADON

## w ustawie z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy – **Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej**

### **Rozdział 3**

#### **Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników**

Art. 23c.

4. W przypadku gdy w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1 pkt 2 lub 3, narażenie pracowników na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) jest większe niż 1 mSv rocznie, kierownicy jednostek podejmują działania zapewniające ograniczenie narażenia pracowników na radon.
5. Pracowników wykonujących pracę w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1, którzy mogą być narażeni na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 6 mSv rocznie, kwalifikuje się jako pracowników kategorii A.
6. Pracowników wykonujących pracę w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1 pkt 1, w których – mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji – stężenie promieniotwórcze radonu przekracza poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b, ale którzy nie są narażeni na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 6 mSv, oraz pracowników wykonujących pracę w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1 pkt 2 i 3, którzy mogą być narażeni na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 1 mSv rocznie, ale nie większej niż 6 mSv rocznie, kwalifikuje się jako pracowników kategorii B.

Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej  
*International Commission on Radiological Protection (ICRP)*  
w styczniu 2018 r. ukazała się publikacja:  
ICRP Publication 137 Occupational Intakes of Radionuclides

dla pomieszczeń oraz kopalni  
 $3 \text{ mSv na } \text{mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$

w sytuacjach intensywnego wysiłku fizycznego  
 $6 \text{ mSv na } \text{mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$

Przy standardowym współczynniku równowagi  $F=0.4$  odpowiada to

$6.7 \times 10^{-6} \text{ na } \text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$

dawka skuteczna = stężenie radonu  $\times$  czas ekspozycji(pracy)  $\times$  współczynnik

Przykład (narażeni zawodowo):  $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \times 2000 \text{ h} \times 6.7 \times 10^{-6} \cong 4 \text{ mSv}$

Przykład (ludność):  $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \times (8760 - 2000 \text{ h}) \times 6.7 \times 10^{-6} \cong 14 \text{ mSv}$

## DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r.

### Rozdział VIII Narażenie ludności

Art. 5b. Ustala się poziom odniesienia dla narażenia zewnętrznego ludzi na promieniowanie gamma emitowane przez materiały budowlane wewnątrz pomieszczeń wynoszący 1 mSv rocznie.

$$f_1 = \frac{S_{Ra}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{S_{Th}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{S_K}{3000 \text{ Bq/kg}} \leq 1$$

*(≤ 6 materiały pokrywające:  
kafelki, glazura)  
brak w polskich przepisach*

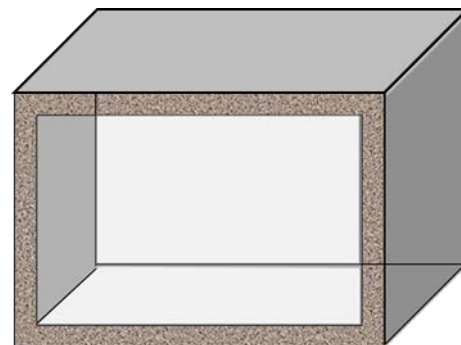
$$f_2 = S_{Ra} \leq 200 \text{ Bq / kg}$$

# OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

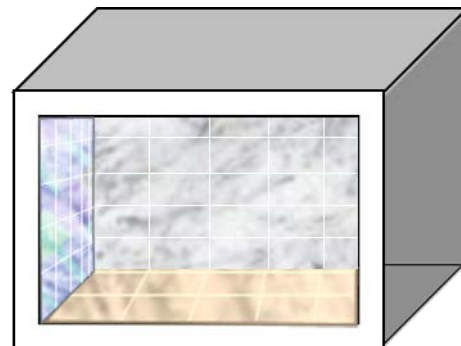
Na przykładzie normy opublikowanej w przewodniku EUROPEAN COMMISSION Radiation Protection 112 z 1999 roku.

*Obliczenia na potrzeby tego przewodnika, przeprowadzono za pomocą fińskiego kodu komputerowego stworzonego w STUK (Markkanen M. 1995)*

Przypadek 1:  
modelowe pomieszczenie mieszkalne  
zbudowane z betonu



Przypadek 2:  
modelowe pomieszczenie mieszkalne  
wyłożone w środku glazurą lub terakotą





# OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

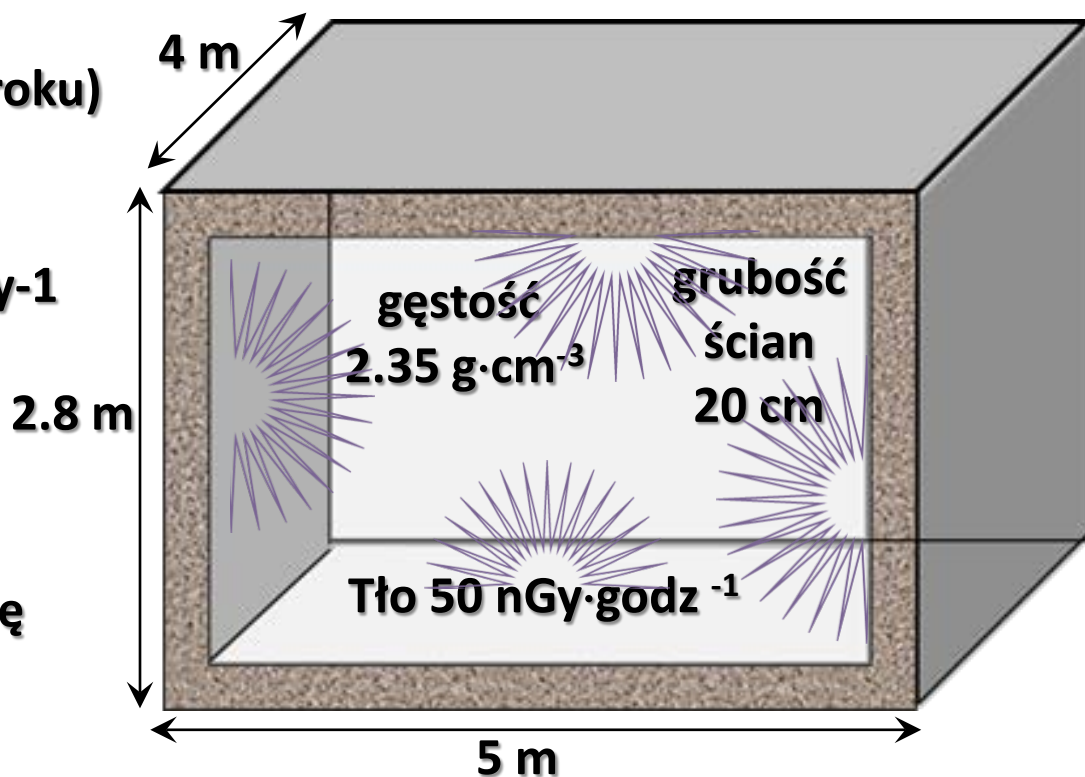
## Przypadek 1: modelowe pomieszczenie mieszkalne zbudowane z betonu

**Czas ekspozycji 7000 godzin (0.8 roku)**

**Współczynnik konwersji: 0.7 Sv Gy<sup>-1</sup>**

**Radon <sup>222</sup>Rn**

**Wentylacja: 1 wymiana na godzinę**





# OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

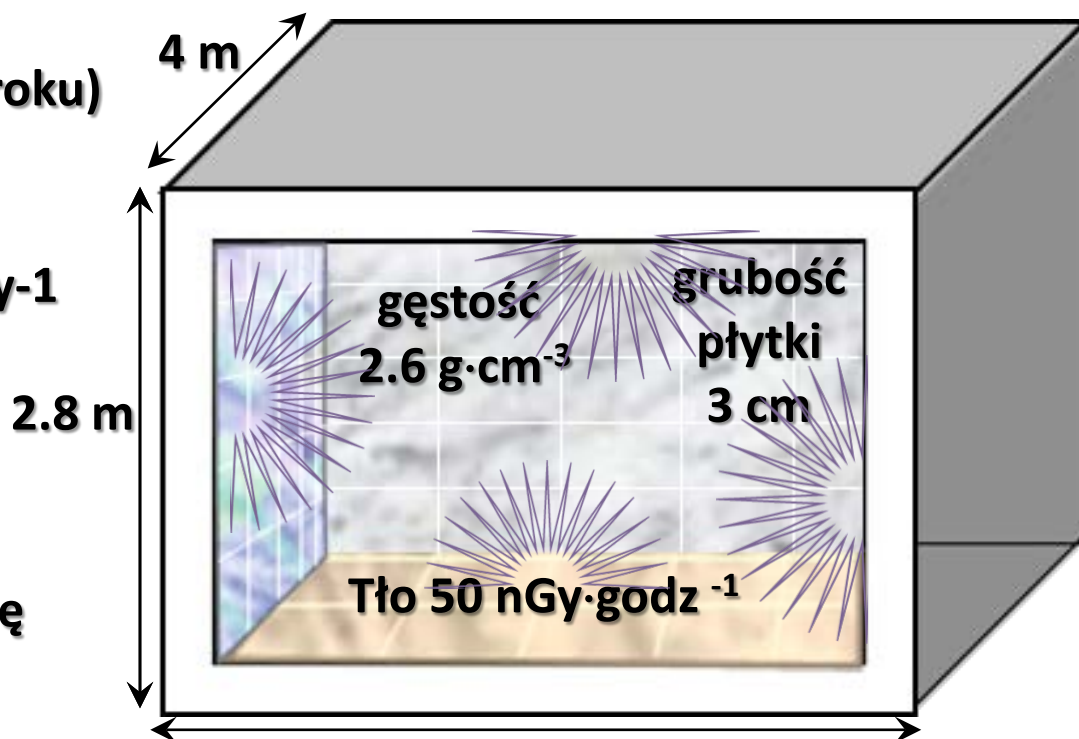
## Przypadek 2: modelowe pomieszczenie mieszkalne wyłożone w środku glazurą lub terakotą

**Czas ekspozycji 7000 godzin (0.8 roku)**

**Współczynnik konwersji: 0.7 Sv Gy<sup>-1</sup>**

**Radon <sup>222</sup>Rn**

**Wentylacja: 1 wymiana na godzinę**



# OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

dokładne wartości stężeń poszczególnych radionuklidów  
skutkujące dawką  $1 \text{ mSv rok}^{-1}$  od każdego radionuklidu

| Model                                                                                 | $^{226}\text{Ra}$                                  | $^{232}\text{Th}$                                  | $^{40}\text{K}$                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Przypadek 1: modelowe pomieszczenie mieszkalne zbudowane z betonu                     | <b>276 Bq kg<sup>-1</sup></b>                      | <b>231 Bq kg<sup>-1</sup></b>                      | <b>3176 Bq kg<sup>-1</sup></b>                      |
| Przypadek 2: modelowe pomieszczenie mieszkalne wyłożone w środku glazurą lub terakotą | <b>1702 Bq kg<sup>-1</sup></b><br>$\cong \times 6$ | <b>1458 Bq kg<sup>-1</sup></b><br>$\cong \times 6$ | <b>21259 Bq kg<sup>-1</sup></b><br>$\cong \times 6$ |

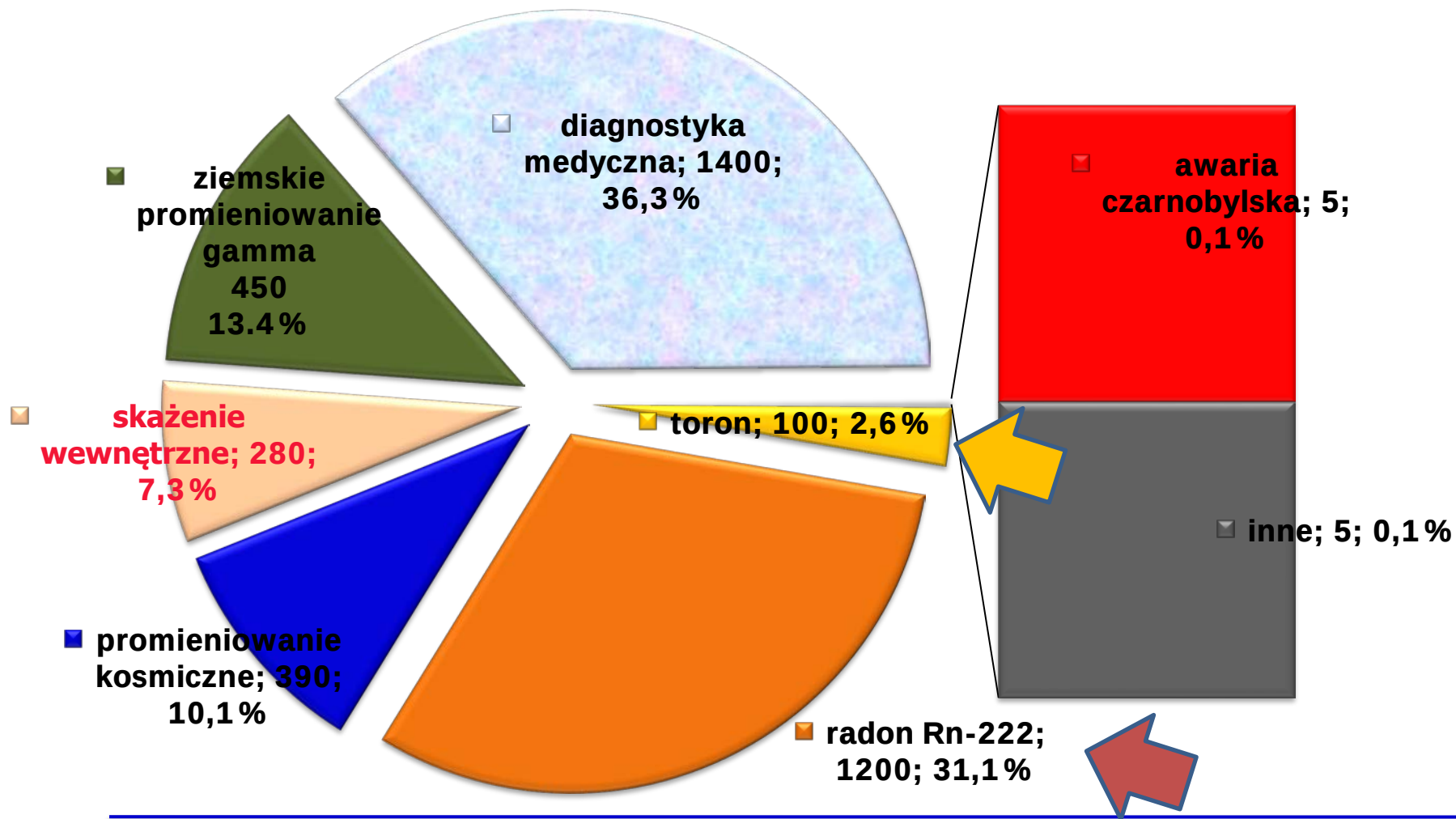
dokładne obliczone wartości stężeń zaokrąglono do najbliższej wartości 100 otrzymując:

$^{226}\text{Ra}$  (276  $\cong$  300 Bq kg<sup>-1</sup>);  $^{232}\text{Th}$  (231  $\cong$  200 Bq kg<sup>-1</sup>)  $^{40}\text{K}$  (3176  $\cong$  3000 Bq kg<sup>-1</sup>).

# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$



# NARAŻENIE WEWNĘTRZNE CZŁOWIEKA OD RADIONUKLIDÓW WNIKAJĄCYCH DO ORGANIZMU Z POŻYWIENIEM

## Średnie dzienne wniknięcia $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ i $^{210}\text{Po}$ (mBq) oraz stosunek $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ dla niektórych obszarów Polski

| miejsce                | $^{226}\text{Ra}$ | $^{210}\text{Pb}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Suwałki                | 61                | 102               | 68                | 0.7                               |
| Warszawa               | 49                | 139               | 123               | 0.8                               |
| Słupsk                 | 51                | 114               | 174               | 1.5                               |
| Białystok              | 52                | 148               | 128               | 0.9                               |
| Nowe Miasto            | 55                | 124               | 111               | 0.9                               |
| Średnia                | 52                | 124               | 120               | ~ 1                               |
| Roczne wniknięcia w Bq | 19                | 45                | 44                |                                   |

# NARAŻENIE WEWNĘTRZNE CZŁOWIEKA OD RADIONUKLIDÓW WNIKAJĄCYCH DO ORGANIZMU Z POŻYWIENIEM

ŚREDNIE ROCZNE WNIKIĘCIA IZOTOPÓW URANU I TORU ORAZ  
 $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Po}$  W POLSCE I W INNYCH KRAJACH [ $\text{Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$ ]

| KRAJ                 | $^{238}\text{U}$ | $^{234}\text{U}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{232}\text{Th}$ | $^{228}\text{Th}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{210}\text{Pb}$ | $^{210}\text{Po}$ |
|----------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Polska</b>        | <b>6.12</b>      | <b>8.37</b>      | <b>2.47</b>       | <b>1.09</b>       | <b>4.92</b>       | <b>18.7</b>       | <b>43.4</b>       | <b>44.0</b>       |
| <b>USA, New York</b> | <b>5.81</b>      | <b>6.68</b>      | <b>2.28</b>       | <b>1.52</b>       |                   | <b>18.9</b>       |                   |                   |
| <b>USA, Chicago</b>  |                  |                  |                   |                   |                   | <b>29.2</b>       | <b>21.9</b>       | <b>25.6</b>       |
| <b>Włochy</b>        |                  |                  |                   |                   |                   | <b>18.9</b>       |                   |                   |
| <b>Japonia</b>       | <b>5.66</b>      |                  |                   | <b>0.81</b>       |                   | <b>9.13</b>       | <b>73.1</b>       | <b>219</b>        |
| <b>UK</b>            |                  |                  |                   |                   |                   | <b>10.9</b>       | <b>30.0</b>       | <b>28.5</b>       |
| <b>Portugalia</b>    |                  |                  |                   |                   |                   |                   | <b>172</b>        | <b>438</b>        |
| <b>UNSCEAR</b>       | <b>5.7</b>       | <b>5.7</b>       | <b>3</b>          | <b>1.7</b>        | <b>3.0</b>        | <b>15</b>         | <b>36</b>         | <b>63</b>         |

# NARAŻENIE WEWNĘTRZNE CZŁOWIEKA OD RADIONUKLIDÓW WNIKAJĄCYCH DO ORGANIZMU Z POŻYWIENIEM

## ROCZNE DAWKI SKUTECZNE OD WNIKNIĘĆ NATURALNYCH RADIONUKLIDÓW W POLSCE [ $\mu\text{Sv}$ ]

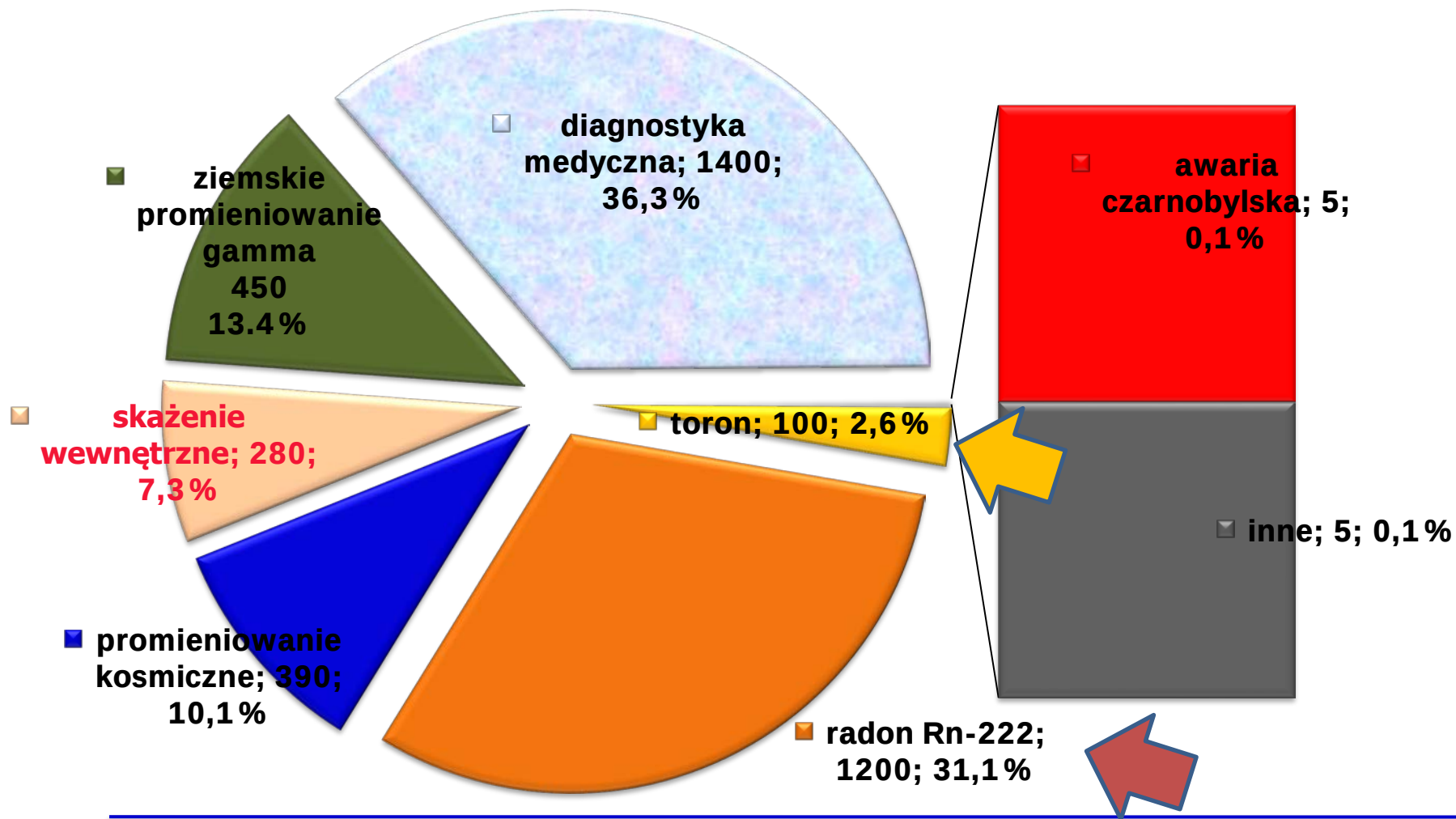
| $^{238}, ^{234}\text{U}$ | $^{232}, ^{232}, ^{228}\text{Th}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{210}\text{Pb}$ | $^{210}\text{Po}$ | SUMA | $^{40}\text{K}$ | DAWKA<br>CAŁKOWITA |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-----------------|--------------------|
| 0.70                     | 1.12                              | 5.24              | 30.4              | 52.8              | 90   | 180             | 270                |



# Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce efektywnej statystycznego mieszkańca Polski w 2019 r.

Od naturalnych źródeł  
promieniowania 2460  $\mu\text{Sv}$

Całkowita dawka  
efektywna 3860  $\mu\text{Sv}$



## ŹRÓDŁA UWOLNIEŃ DO ŚRODOWISKA

1. WYBUCHY JĄDROWE
2. ELEKTROWNIE JĄDROWE
  - NORMALNA EXPLOATACJA
  - AWARIE JĄDROWE
3. PRZERÓB PALIWA JĄDROWEGO
4. ZAKŁADY STOSUJĄCE RADIONUKLIDY DO CELÓW MEDYCZNYCH, BADAŃ NAUKOWYCH
5. ARTYKUŁY CODZIENNEGO UŻYTKU

## WAŻNIEJSZE SZTUCZNE RADIONUKLIDY

| RADIONUKLID    | OKRES<br>POŁOWICZNEGO<br>ZANIKU | RADIONUKLID | OKRES<br>POŁOWICZNEGO<br>ZANIKU |
|----------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|
| I-131 (jod)    | 8.05 d                          | Ru-106      | 369 d                           |
| Sr-89 (stront) | 50.5 d                          | Ba-140      | 12.8 d                          |
| Sr-90 (stront) | 28 lat                          | Ce-144      | 284 d                           |
| Cs-137 (cez)   | 30 lat                          | Pu-239*     | 24000 lat                       |
| Cs-134 (cez)   | 2.06 lat                        |             |                                 |

**\*Produkt aktywacji**

## PRÓBNE WYBUCHY JADROWE

**ZSRR**      Nowa Ziemia, Arktyczna część ZSRR

**USA**      BIKINI i Eniwetok Island na Pacyfiku, Nowy Meksyk

**CHINY**    LapNor w zachodniej części Chin

**FRANCJA** Muroa na Pacyfiku

**UK**      Wyspy Bożego Narodzenia na Pacyfiku

**Próbné wybuchy jądrowe w Ałtajskim**

## INNE UWOLNIENIA

**Skażenia rejonu Czelabińskiego**

|                                         |                       |               |
|-----------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Uwolnienia do Rzeki Tjeczi (1949 –1956) | 2000 km <sup>2</sup>  | 124 000 ludzi |
| Awaria Kyszyńska 1957                   | 1000 km <sup>2</sup>  | 300 000 ludzi |
| Resuspeńsja z Jeziora Karjeczy 1967     | 1 800 km <sup>2</sup> | 40 000 ludzi  |

## PRÓBNE WYBUCHY JADROWE (1945 – 1980) 423 testy

**ZSRR (142);**

**USA(193);**

**CHINY (22);**

**FRANCJA (45);**

**UK (21)**

PRÓBNE WYBUCHY JADROWE (1945 – 1980) 423 testy

## **Zdeponowana aktywność na półkuli północnej (40° – 50° N)**

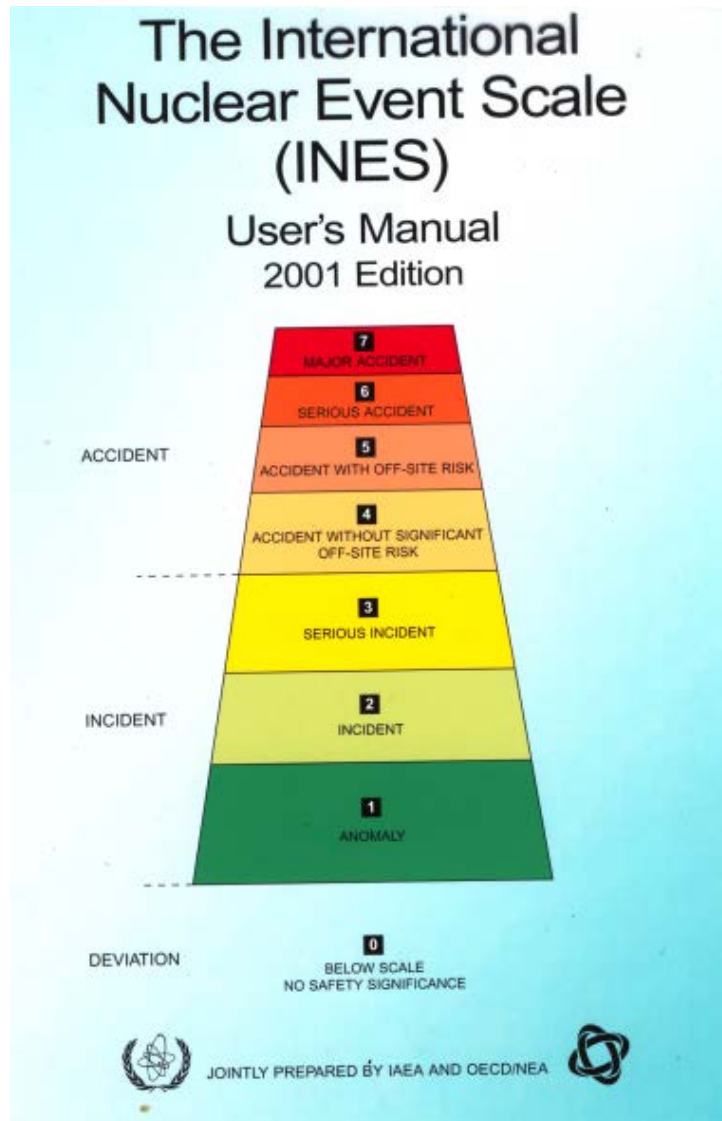
| <b>RADIONUKLID</b> | <b>AKTYWNOŚĆ [Bq/m<sup>2</sup>]</b>  |
|--------------------|--------------------------------------|
| <b>Sr-89</b>       | <b><math>2.0 \times 10^4</math></b>  |
| <b>Sr-90</b>       | <b><math>3.23 \times 10^3</math></b> |
| <b>I-131</b>       | <b><math>1.9 \times 10^4</math></b>  |
| <b>Cs-137</b>      | <b><math>5.2 \times 10^3</math></b>  |
| <b>Ba-140</b>      | <b><math>2.3 \times 10^4</math></b>  |
| <b>Pu-238</b>      | <b>1.5</b>                           |
| <b>Pu-239</b>      | <b>35</b>                            |
| <b>Pu-240</b>      | <b>23</b>                            |
| <b>Pu-241</b>      | <b>730</b>                           |
| <b>Am-241</b>      | <b>25</b>                            |



## AWARIE JĄDROWE

| ROK              | MIEJSCOWOŚĆ                      | TYP REAKTORA                            | I-131<br>[Bq]             | Cs-137<br>[Bq]             |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1957             | Windscale<br>UK                  | grafitowy<br>chłodzony<br>powietrzem    | $6 \times 10^{14}$        | $2.2 \times 10^{14}$       |
| 1961             | Idaho Falls<br>USA               | Eksperymentalny<br>BWR 1 MWE            | $2.6 \times 10^{12}$      | -                          |
| 1979             | Three Mile Island<br>USA         | PWR 880 MWE                             | $5.6 \times 10^{12}$      |                            |
| 1986             | Czernobyl<br>ZSRR                | Grafitowy<br>chłodzony wodą<br>1000 MWE | $2.7 \times 10^{17}$      | $3.7 \times 10^{16}$       |
| 11 Marca<br>2011 | the Fukushima-Daiichi<br>JAPONIA | 6 BWR<br>4696 MWE                       | $1 \div 5 \times 10^{17}$ | $6 \div 20 \times 10^{15}$ |

# RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA



Chernobyl: **Level 7**

Three Mile Island: **Level 5**  
Windscale Fire: **Level 5**

## DAWKI EFEKTYWNE

| DAWKA<br>EFEKTYWNA W<br>PRZELICZENIU NA<br>JEDNO BADANIE<br>[mSv] |      | DAWKA EFEKTYWNA W PRZELICZENIU NA JEDNEGO<br>MIESZKAŃCA<br>[mSv] |      |      |       |       |
|-------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|
| 1986                                                              | 1995 | 1995                                                             | 2014 | 2015 | 2016  | 2017  |
| 1.4                                                               | 1.2  | 0.80                                                             | 0.86 | 0.86 | 1.201 | 1.102 |

DANE



| <b>RODZAJ BADANIA</b>                            | <b>DAWKA (mSv)</b> |
|--------------------------------------------------|--------------------|
| <b>TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA</b>                    | <b>0.67</b>        |
| <b>RADIOGRAFIA KONENCJONALNA I FLUOROSKOPOWA</b> | <b>0.17</b>        |
| <b>BADANIA MAMMOGRAFICZNE</b>                    | <b>0.02</b>        |
| <b>BADANIE RENTGENOWSKIE</b>                     | <b>1.2</b>         |
| <b>ZDJĘCIE KLATKI PIERSIOWEJ</b>                 | <b>0.11</b>        |
| <b>ZDJĘCIE KRĘGOSŁUPA I PRZEŚWIETLANIA PŁUC</b>  | <b>3-4.4</b>       |

## SYSTEM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ ŚRODOWISKA

### ZALECENIA ICRP DOTYCZĄCE OCHRONY ŚRODOWISKA PRZED PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM

*The Concept and Use of Reference Animals and Plants for  
the purposes of environmental Protection ICRP, 2005;*

Są sytuacje kiedy ochrona radiologiczna człowieka  
nie gwarantuje w sposób jednoznaczny  
ochrony fauny i flory przed promieniowaniem

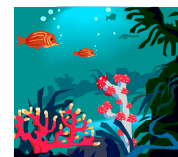
człowiek jest nieobecny i narażenie człowieka nie stanowi  
kryterium oceny



człowiek został wycofany dla własnego bezpieczeństwa



rozkład radionuklidów w środowisku jest taki, że  
napromienienie człowieka będzie małe, lecz inne organizmy  
mogą być znacząco napromieniowane



**NALEŻY POKAZAĆ W SPOSÓB NIE BUDZĄCY WĄTPLIWOŚCI  
jaki margines bezpieczeństwa dla środowiska zapewnia  
energetyka jądrowa i stosowanie źródeł promieniotwórczych  
w porównaniu z innymi gałęziami przemysłu.**

# ŚRODOWISKO ?

Zakres pojęcia środowiska w odniesieniu do badań fizyki i chemii pierwiastków promieniotwórczych, obejmuje zarówno środowisko naturalne, jak też środowisko częściowo będące wytworem działalności człowieka.

Elementami, tego pojęcia są: człowiek, fauna, flora, gleba, woda, powietrze, zasoby naturalne, a także zasoby wodne (w szczególności zwierzęta i rośliny hodowlane oraz odpady).

W odniesieniu do oceny zmian w środowisku w wyniku wprowadzenia przez człowieka „dodatkowych” substancji promieniotwórczych, termin „środowisko” dotyczył uprzednio przede wszystkim **siedzib ludzkich**, a dopiero od niedawna pojęcie to zostało rozszerzone na dziko żyjące gatunki fauny i flory [1], [2].

Dawne stanowisko (zwane paradygmatem) Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej ICRP (1997) mówiące, że **„ochrona radiologiczna człowieka, zapewnia z dużym prawdopodobieństwem ochronę innych żywych gatunków”**, ulegało znacznej rewizji na rzecz stanowiska, że ochrona radiologiczna środowiska wymaga „oceny różnych sytuacji (scenariuszy) narażenia fauny i flory niezależnie od obecności człowieka” oraz **„przeprowadzenia bezpośredniego dowodu, że środowisko w rozumieniu fauny i flory jest chronione”** ICRP(2003).



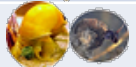
# ZINTEGROWANA OCENA DAWEK PRZY RUTYNOWYCH UWOLNIENIACH Z OBIEKTÓW JĄDROWYCH DLA POPULACJI LUDZI ORAZ FAUNY I FLORY



# METODYKA OCENY NARAŻENIA FAUNY I FLORY

| EKOSTSTEM | ERICA TOOL<br>       | Poziom odniesienia mocy dawki | ICRP<br> | Poziom odniesienia mocy dawki |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|           | Typ rośliny lub zwierzęcia                                                                            | mGy×d <sup>-1</sup>           | Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny)                                           | mGy×d <sup>-1</sup>           |
| Lądowy    | duży ssak            | ~ 1                           | duży ssak (jeleń)                                                                           | 0.1 - 1                       |
|           | mały ssak podziemny  |                               | mały ssak (szczur)                                                                          |                               |
|           | ptak                 |                               |                                                                                             |                               |
|           | gad                  |                               |                                                                                             |                               |
|           | płaz                 |                               |                                                                                             |                               |
|           | owady latające       |                               | owad (pszczoła)                                                                             | 10 - 100                      |
|           | stawonóg             |                               |                                                                                             |                               |
|           | ślimak               |                               |                                                                                             |                               |
|           | pierścienica         |                               | pierścienica (dżdżownica)                                                                   | 10 - 100                      |
|           | drzewo             | ~10                           | duża roślina (sosna)                                                                        | 0.1- 1                        |
|           | mech i porost      |                               |                                                                                             |                               |
|           | trawy i zioła      |                               | mała roślina (trawa)                                                                        | 1 - 10                        |
|           | krzak              |                               |                                                                                             |                               |

# METODYKA OCENY NARAŻENIA FAUNY I FLORY

| EKOSTEM                                        | ERICA TOOL<br>   | Poziom odniesienia mocy dawki | ICRP<br> | Poziom odniesienia mocy dawki |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                | Typ rośliny lub zwierzęcia                                                                        | mGy×d <sup>-1</sup>           | Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny)                                           | mGy×d <sup>-1</sup>           |
| Śródlądowy (rzeki, jeziora, delty rzek, bagna) | ssak wodny       | ~1                            |                                                                                             |                               |
|                                                | ptak             |                               | ptak wodny (kaczka)                                                                         | 0.1 - 1                       |
|                                                | gad              |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | płaz             |                               | płaz (żaba)                                                                                 | 1 - 10                        |
|                                                | ryba oceaniczna  | ~ 10                          | ryba (pstrąg)                                                                               | 1 - 10                        |
|                                                | ryba przydenna   |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | ślimak wodny     |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | małż             |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | skorupiak       |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | larwa owada    |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | zooplankton    |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | fitoplankton   |                               |                                                                                             |                               |
|                                                | roślina wodna  |                               |                                                                                             |                               |

# METODYKA OCENY NARAŻENIA FAUNY I FLORY

| EKOSTSTEM | ERICA TOOL                                                                                                   | Poziom odniesienia mocy dawki | ICRP                                              | Poziom odniesienia mocy dawki |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
|           | Typ rośliny lub zwierzęcia                                                                                   | mGy×d <sup>-1</sup>           | Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny) | mGy×d <sup>-1</sup>           |
| Morski    | ssak morski                | ~1                            |                                                   |                               |
|           | ptak                       |                               |                                                   |                               |
|           | gad                        |                               |                                                   |                               |
|           | ryba oceaniczna            | ~ 10                          |                                                   |                               |
|           | ryba przydenna             |                               | flądra                                            | 1-10                          |
|           | małż                       |                               |                                                   |                               |
|           | skorupiak                  |                               | krab                                              | 10-100                        |
|           | wieloszczet                |                               |                                                   |                               |
|           | ukwiały morskie i korale  |                               |                                                   |                               |
|           | zooplankton              |                               |                                                   |                               |
|           | fitoplankton             |                               |                                                   |                               |
|           | wielka alga              |                               | wodorost (brunatnica)                             | 1-10                          |
|           | roślina morska           |                               |                                                   |                               |

## PROPONOWANE DAWKI GRANICZNE

*DOE – US. Department of Energy*

*DOE Standard (DOE Order 5400.5 1990)*

*DOE Proposed Standards (10 CFR 834)*

- fauna wodna -  $3.6 \text{ Gy rok}^{-1}$  ( $10 \text{ mGy d}^{-1}$ ) [ $417 \mu\text{Gy h}^{-1}$ ]
- flora lądowa -  $3.6 \text{ Gy rok}^{-1}$  ( $10 \text{ mGy d}^{-1}$ )
- fauna lądowa -  $0.36 \text{ Gy rok}^{-1}$  ( $1 \text{ mGy d}^{-1}$ )
- fauna przybrzeżna (*riparian*)  $0.36 \text{ Gy rok}^{-1}$  ( $1 \text{ mGy d}^{-1}$ )



## DAWKI GRANICZNE LUDZIE I ZWIERZĘTA

średnie dawki pochłonięte od promieniowania tła

ludzie  $\approx 3 \text{ mGy rok}^{-1}$

inne organizmy  $\approx (0.3 \div 15) \text{ mGy rok}^{-1}$

limit dawki skutecznej dla człowieka

$\approx 1/3$  dawki od promieniowania tła =  $1 \text{ mSv rok}^{-1}$

$\approx 1/2500 \text{ LD50}$

proponowane limity dawek dla fauny i flory

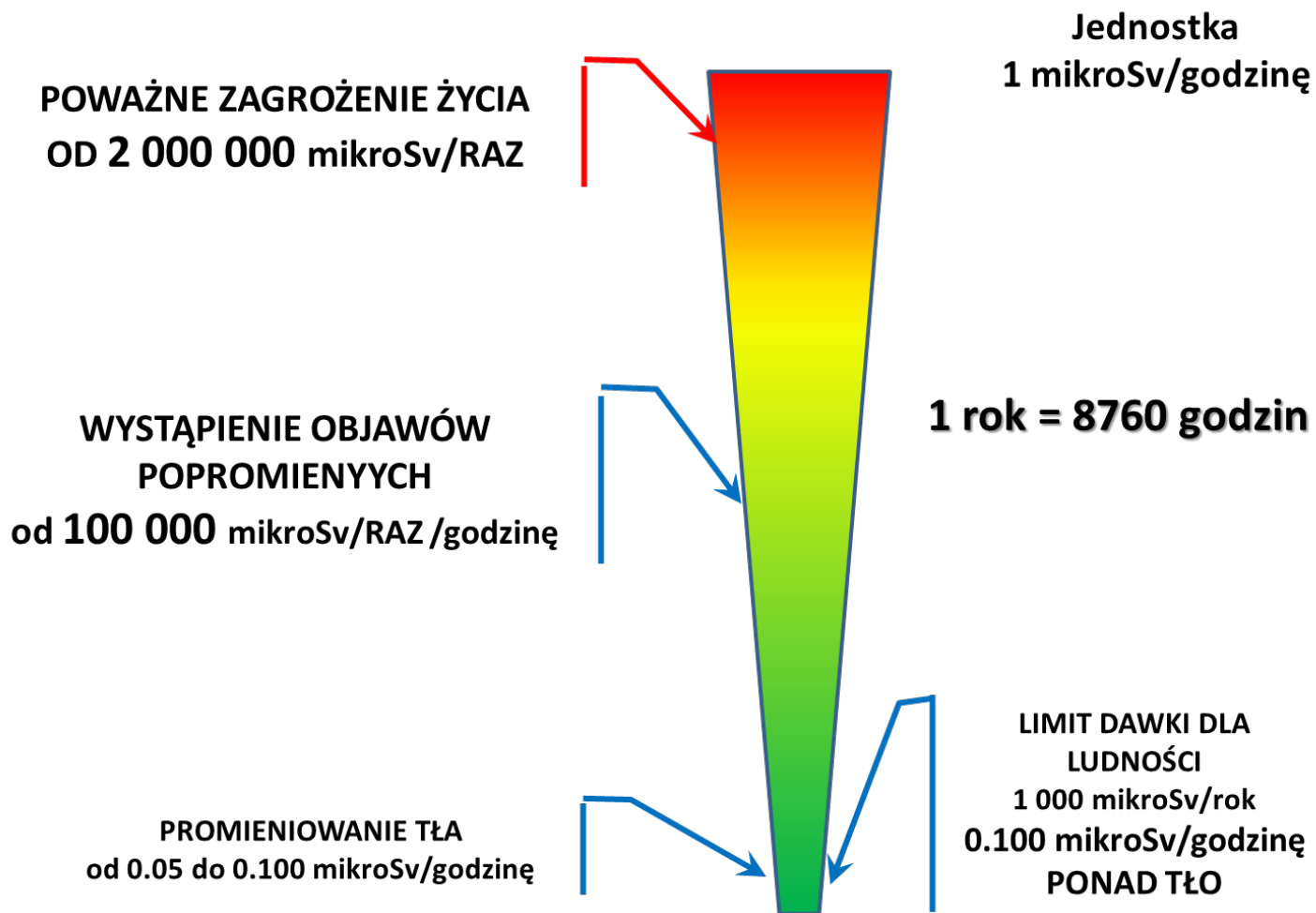
Department of Energy USA

$\approx \times 100$ ; 1000 promieniowania tła =  $360 \div 3600 \text{ mGy rok}^{-1}$

$\approx 1/20$ ;  $1/2 \text{ LD50}$

# WARTO PAMIĘTAĆ !

To co podaje sieć monitoringu





# WARTO PAMIĘTAĆ !

## Porównanie stężeń uwalnianych przez EJ i ENERGETYKĘ WĘGLOWĄ

Jeżeli typowa elektrownia (1000 MWe) spala rocznie 4 mln ton węgla o zawartości (typowej) 1,3 ppm uranu i 3,2 ppm toru,  
**to roczne uwolnienia z tej elektrowni wynoszą**  
**5,2 ton uranu i**  
**12,8 ton toru wraz z produktami ich rozpadu!**

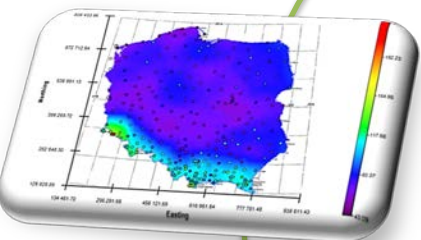
Zjawisko to jest szczególnie widoczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, gdzie najwyższe notowane stężenia  $^{226}\text{Ra}$  w wodach niektórych kopalni dochodziły do:

**390 000 Bq/m<sup>3</sup> (x 200 000)**

**Dla porównania stężenie Ra-226 w wodzie ze studni 1.7 Bq/m<sup>3</sup>**

# WARTO PAMIĘTAĆ !

- PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE I PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE TOWARZYSZĄ WSZELKIM ŻYWYM ORGANIZMOM OD MOMENTU POWSTANIA ŻYCIA NA ZIEMI.
- STRACH PRZED PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM (PROMIENIOTWÓRCZOŚCIĄ) WYNIKA CZĘŚCIOWO Z NASZEJ KRÓTKIEJ Z NIM ZNAJOMOŚCI (200 LAT), ORAZ Z BRAKU ODPOWIEDNIEGO NARZĄDU ZMYŚŁU ABY JE WYKRYĆ. ORGANIZMY ŻYWE NIE WYKSZTAŁCIŁY TAKIEGO NARZĄDU, PONIEWAŻ RADIACJA JEST JEDNYM Z NAJMNIEJ SZKODLIWYCH CZYNNIKÓW, JAKIE SPOTYKAMY W PRZYRODZIE.
- WSZELKIE ORGANIZMY ŻYWE WYKSZTAŁCIŁY DOSTATECZNE MECHANIZMY OBRONNE PRZED MAŁYMI DAWKAMI PROMIENIOWANIA
- **NIE MA ŻADNYCH PRZESŁANEK ABY OBAWIAĆ SIĘ DAWEK MIESZCZACYCH SIĘ W ZAKRESIE PROMIENIOWANIA NATURALNEGO (3- 100 mSv/rok)**



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ



Paweł KRAJEWSKI  
[krajewski@clor.waw.pl](mailto:krajewski@clor.waw.pl)

**CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ**

