

PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE W ŚRODOWISKU



Paweł KRAJEWSKI
krajewski@clor.waw.pl

CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ



- OCHRONA RADIOLOGICZNA, BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE ?
- EWOLUCJA NORM I PRZEPISÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ PO 2013 roku
- PROMIENIOWANIE A PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE
- 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)*

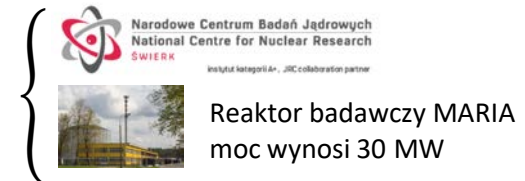
Użytkowanie źródeł promieniotwórczych

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



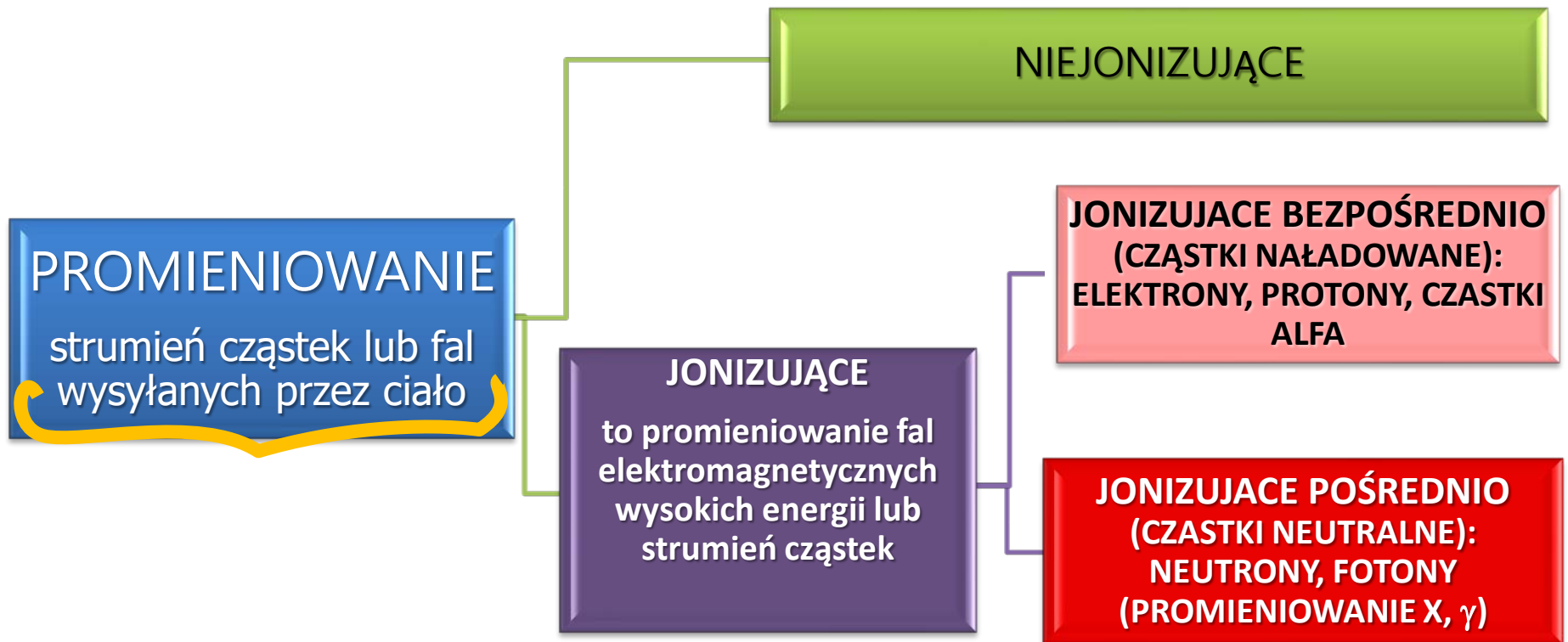
System bezpieczeństwa jądrowego: zapobieganie lub ograniczanie zagrożenia człowieka lub środowiska od materiałów jądrowych (rozszczepialnych)

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



ZUOP





PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

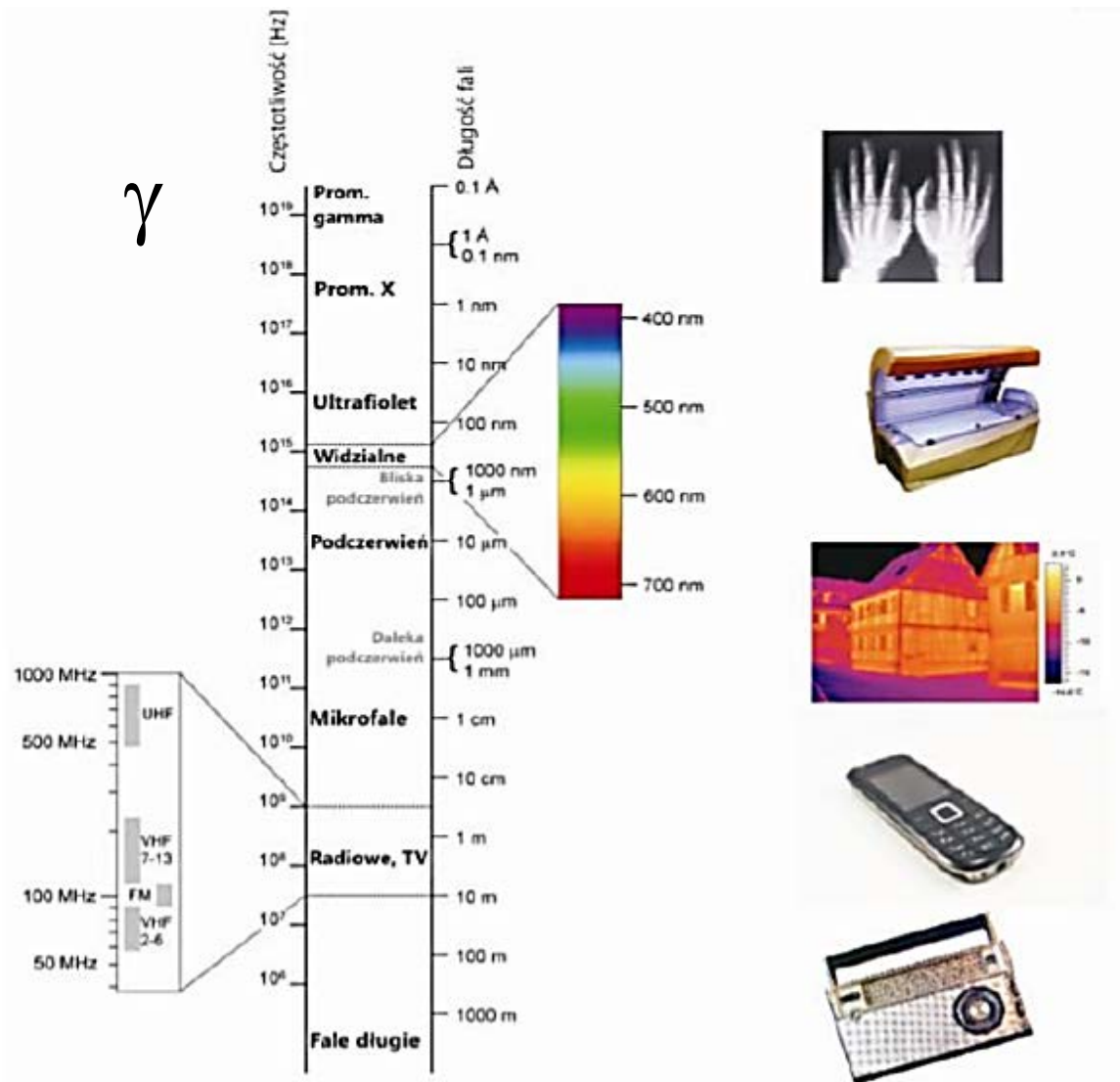
α 2p2n

β^- elektron

β^+ pozyton

n neutron

γ



http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf

IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

Radiation Protection and
Safety of Radiation Sources:
International Basic
Safety Standards

Jointly sponsored by
EC, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, UNEP, WHO



General Safety Requirements Part 3
No. GSR Part 3



Standard Bezpieczeństwa Międzynarodowej
Agencji Energii Atomowej

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

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.

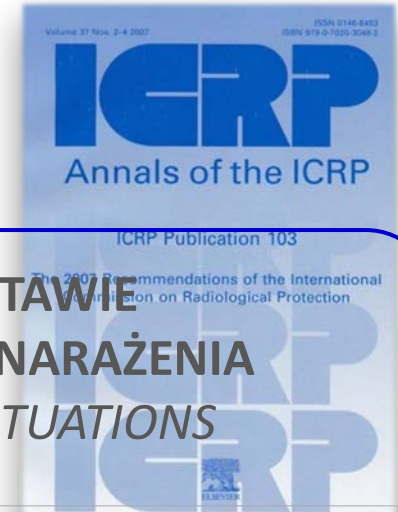
Prawo atomowe¹⁾

„¹⁾ 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
- **wyjatkowe warunki narażenia**
emergency exposure situations
- **existing exposure situations**
istniejące warunki narażenia

W OPARCIU O POSTĘPOWANIE (przed 2013 r)

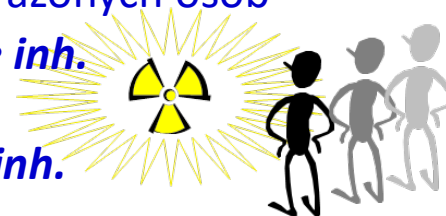
PROCESS-BASED PROTECTION APPROACH

- **stosowanie, wykorzystanie praktyczne (*practices*)**

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



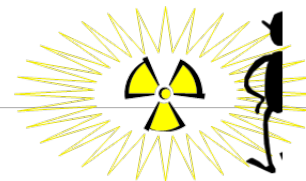
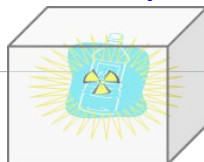
wewnętrzne inh.



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⁻³.

(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⁻³, 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)).

DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM

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.*



<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;



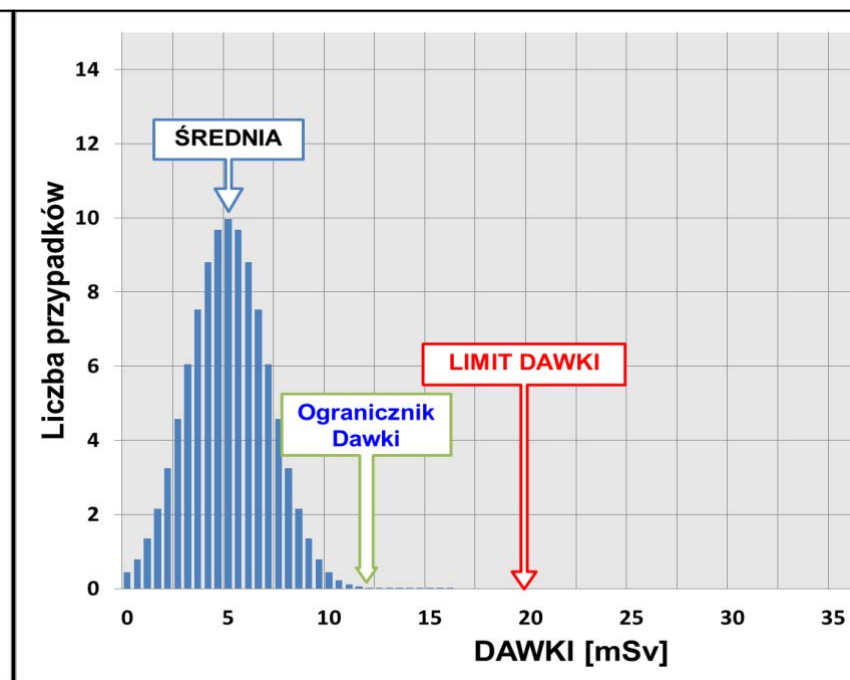
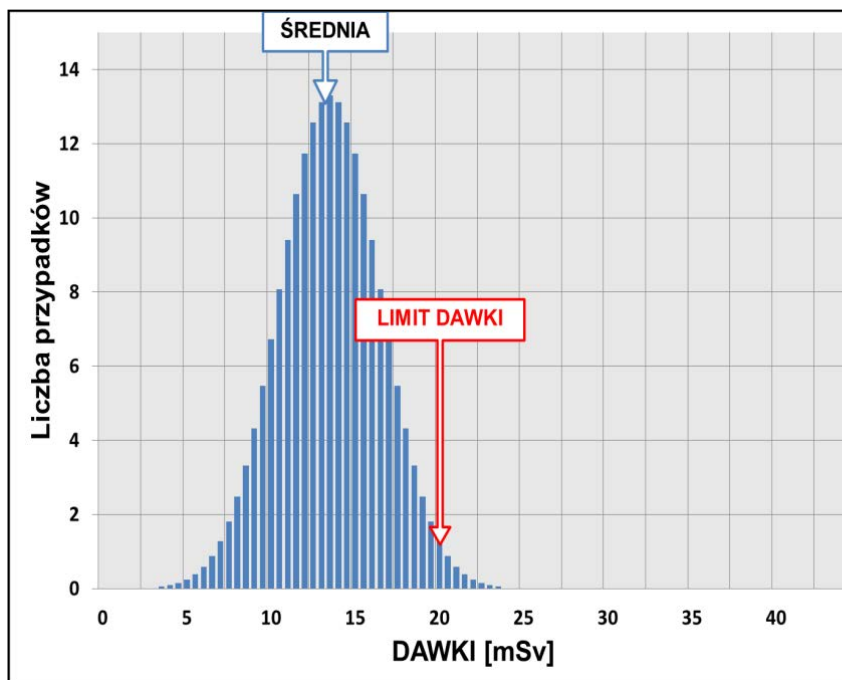
Art. 9. p. 1.) Kierownik jednostki organizacyjnej zapewnia wykonywanie działalności związanej z narażeniem zgodnie z zasadą optymalizacji wymagającą, żeby – przy **rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych oraz aktualnego stanu wiedzy technicznej** – liczba narażonych pracowników 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](#).

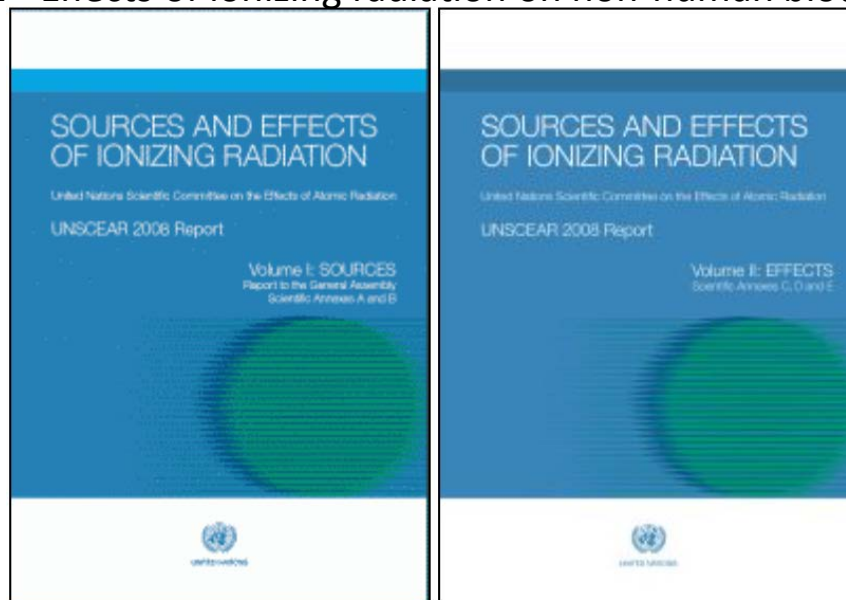
W Komitecie skład wchodzi obecnie 21 członków, od 1973 należy do niego również [Polska](#). Co roku odbywają się spotkania naukowców - przedstawiciele członków Komitetu i przygotowywane są raporty dla Zgromadzenia Ogólnego ONZ.

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

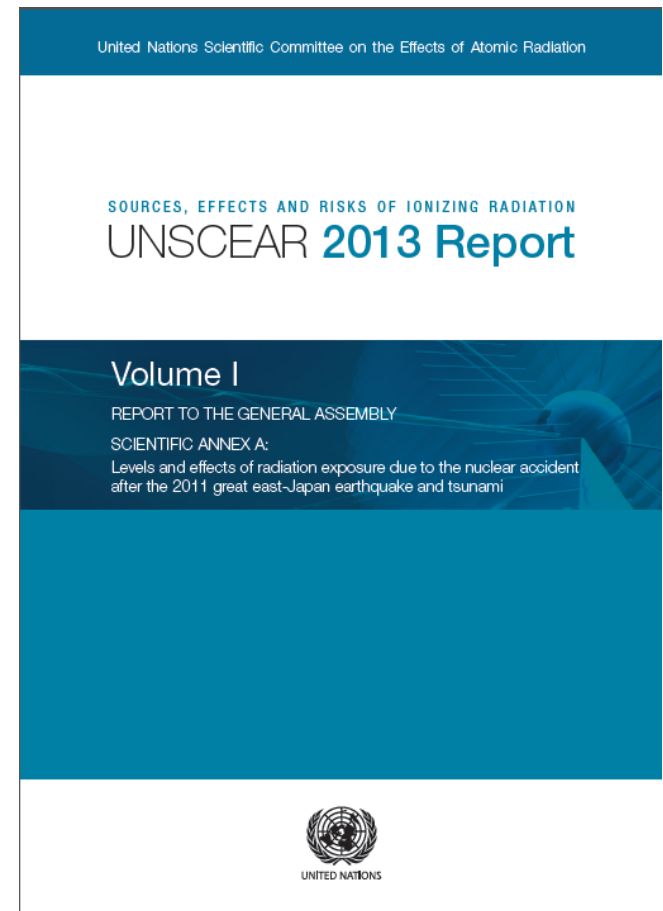
- Annex A - Medical radiation exposures; and
- Annex B - Exposures of the public and workers from various sources of radiation.

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





RAPORT ROCZNY

Działalność Prezesa
Państwowej Agencji Atomistyki
oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego
i ochrony radiologicznej w Polsce w 2020 roku



ATOMISTYKI



ROCZNY

Atomistyki
bezpieczeństwa jądrowego
i ochrony radiologicznej w Polsce w 2019 roku

2020

PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI



ROCZNY

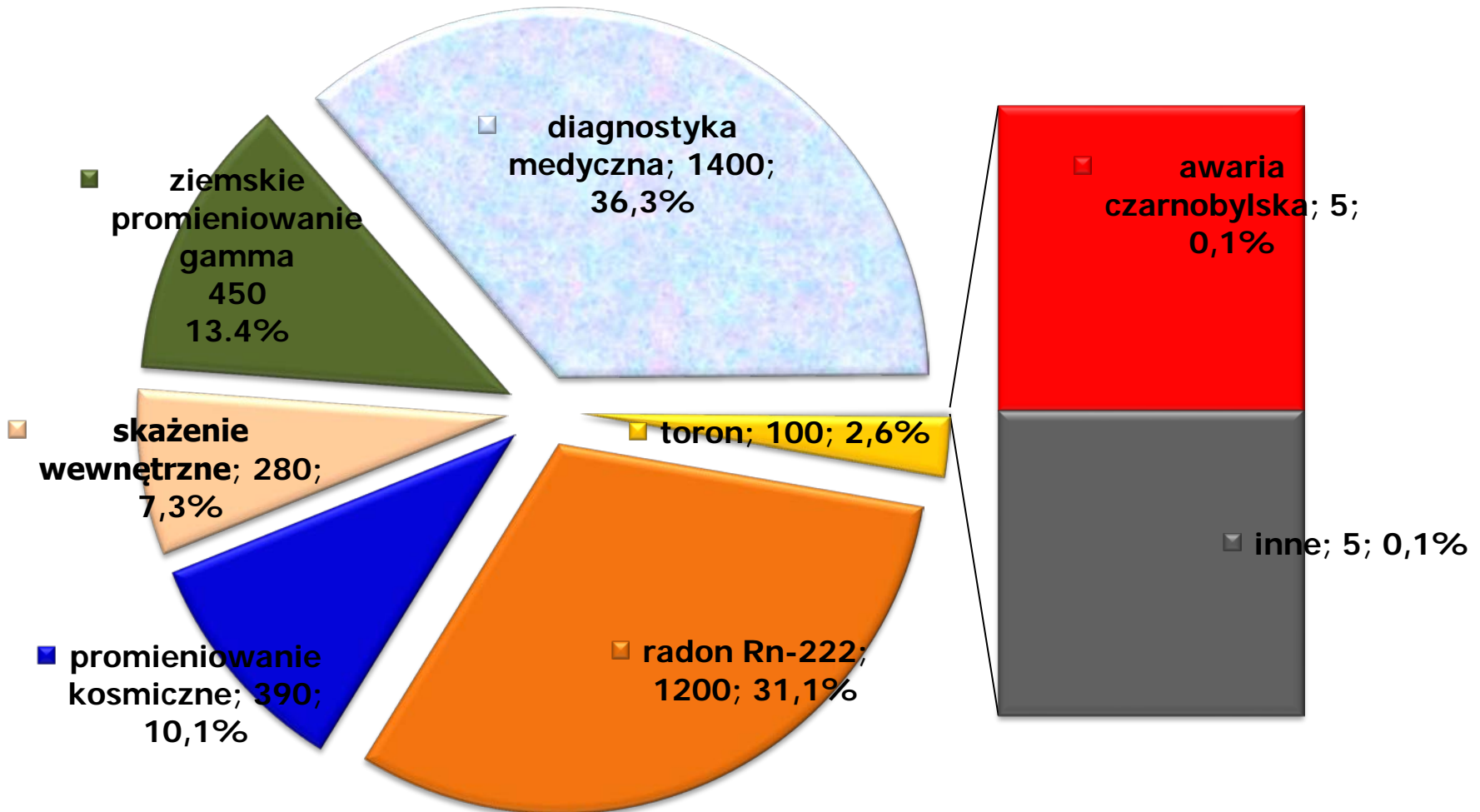
Atomistyki
bezpieczeństwa jądrowego
i ochrony radiologicznej w Polsce w 2018 roku

2018

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

Od naturalnych źródeł promieniowania 2460 μSv

Całkowita dawka efektywna 3860 μSv



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 μ Sv)
w 2002 r.	3.36 mSv (3360 μ Sv)
w 2003 r.	3.35 mSv (3350 μ Sv)
w 2004 r.	3.35 mSv (3350 μ Sv)
w 2005 r.	3.35 mSv (3350 μ Sv)

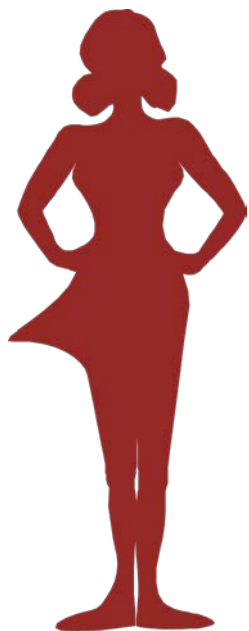
w 2018 r.	3.56 mSv (3560 μSv)
w 2019 r.	3.86 mSv (3860 μSv)
w 2020 r.	3.96 mSv (3960 μSv)

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**



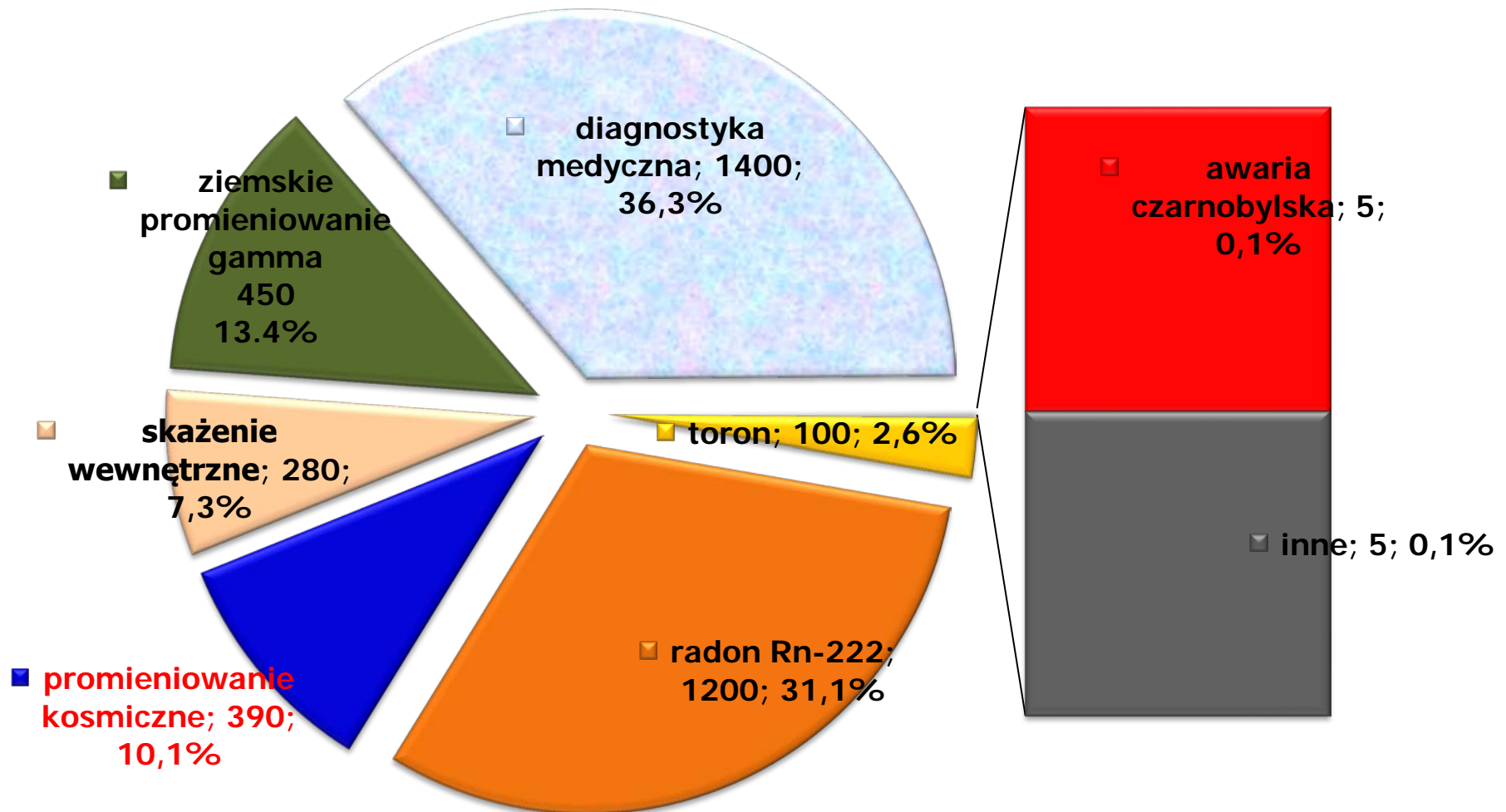
Promieniotwórczość naturalna w niektórych miejscach na Ziemi
UNSCEAR Report, 1993 (średnia $\cong 0.5 \text{ mSv}\cdot\text{rok}^{-1}$)

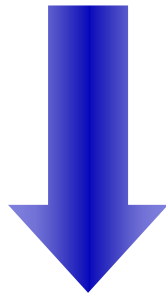
Miejsce	Średnia dawka ($\text{mSv}\cdot\text{rok}^{-1}$)	Maksymalna dawka ($\text{mSv}\cdot\text{rok}^{-1}$)
Ramsar, Iran	10.0	260
Guarapari, Brazylia	5.5	35
Kerala, Indie	3.8	35
Norwegia	0.6	10
Francja	0.6	2.2
Włochy	0.5	10
Średnia światowa	0.5	

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

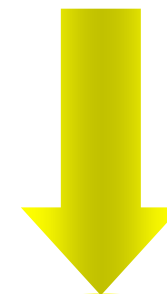
Od naturalnych źródeł
promieniowania 2460 μSv

Całkowita dawka
efektywna 3860 μSv





**pierwotne
cząstki
pochodzenia
poza
ziemskiego**



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

cząstka	średni udział	dociera do Ziemi (na poziom morza)
protony	87% (75÷89%)	1 na 1000
jądra helu (prom. α)	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

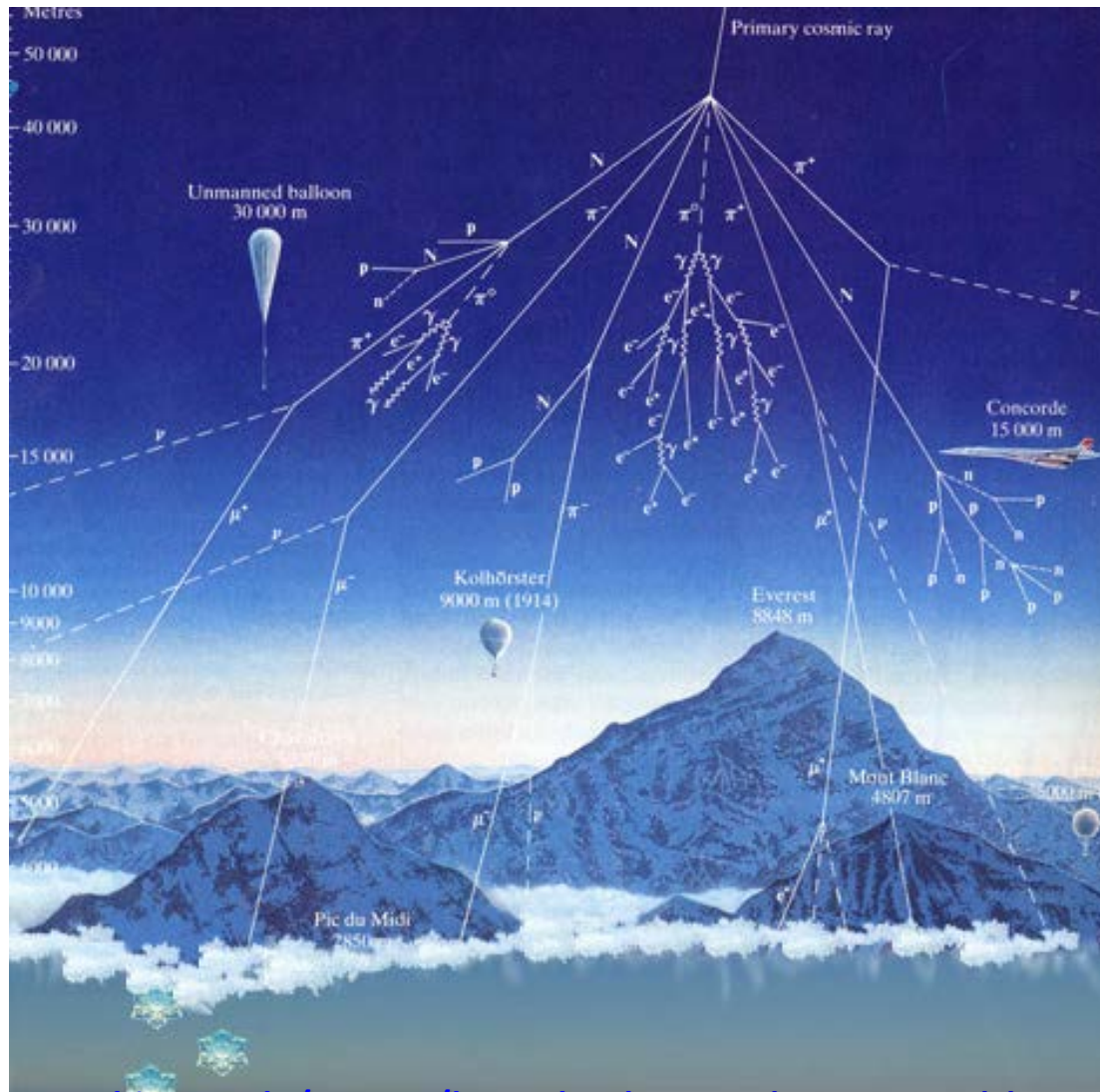
(burze magnetyczne i zaniki łączności radiowej, zorze polarne)

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 3×10^6 cząstek na metr sześcienny

PROMIENIOWANIE EMITOWANE PRZEZ SŁOŃCE



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

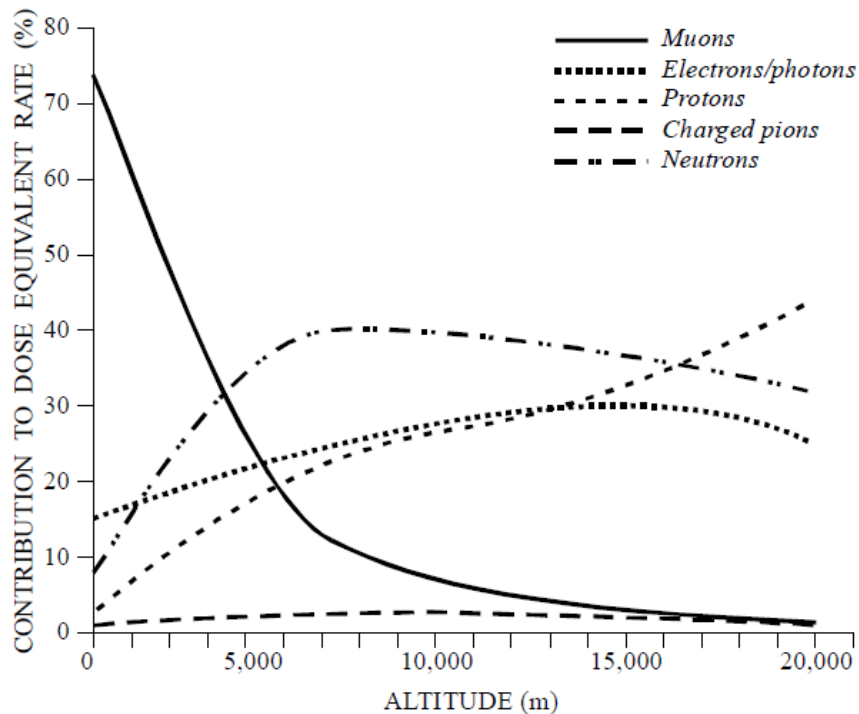


(<http://astro.uchicago.edu/cosmus/home.html>; za zgodą Dr. R. Landsberga)

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

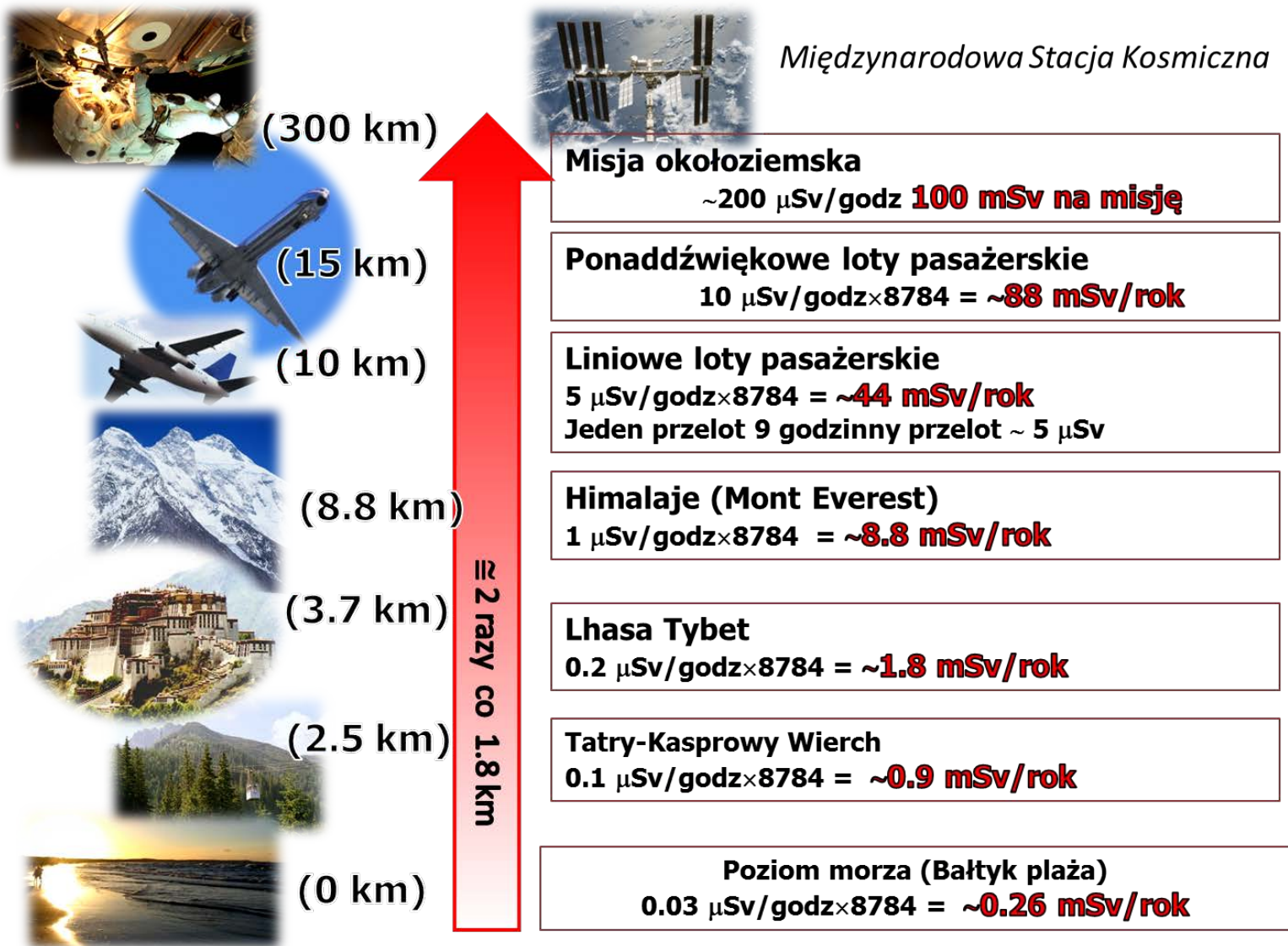
Składowe mocy dawki promieniowania kosmicznego w funkcji wysokości [m]

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



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

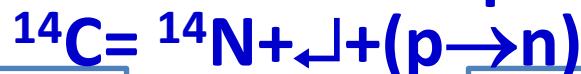


ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO Z GAZAMI ATMOSFERYCZNYMI

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

ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO Z GAZAMI ATMOSFERYCZNYMI

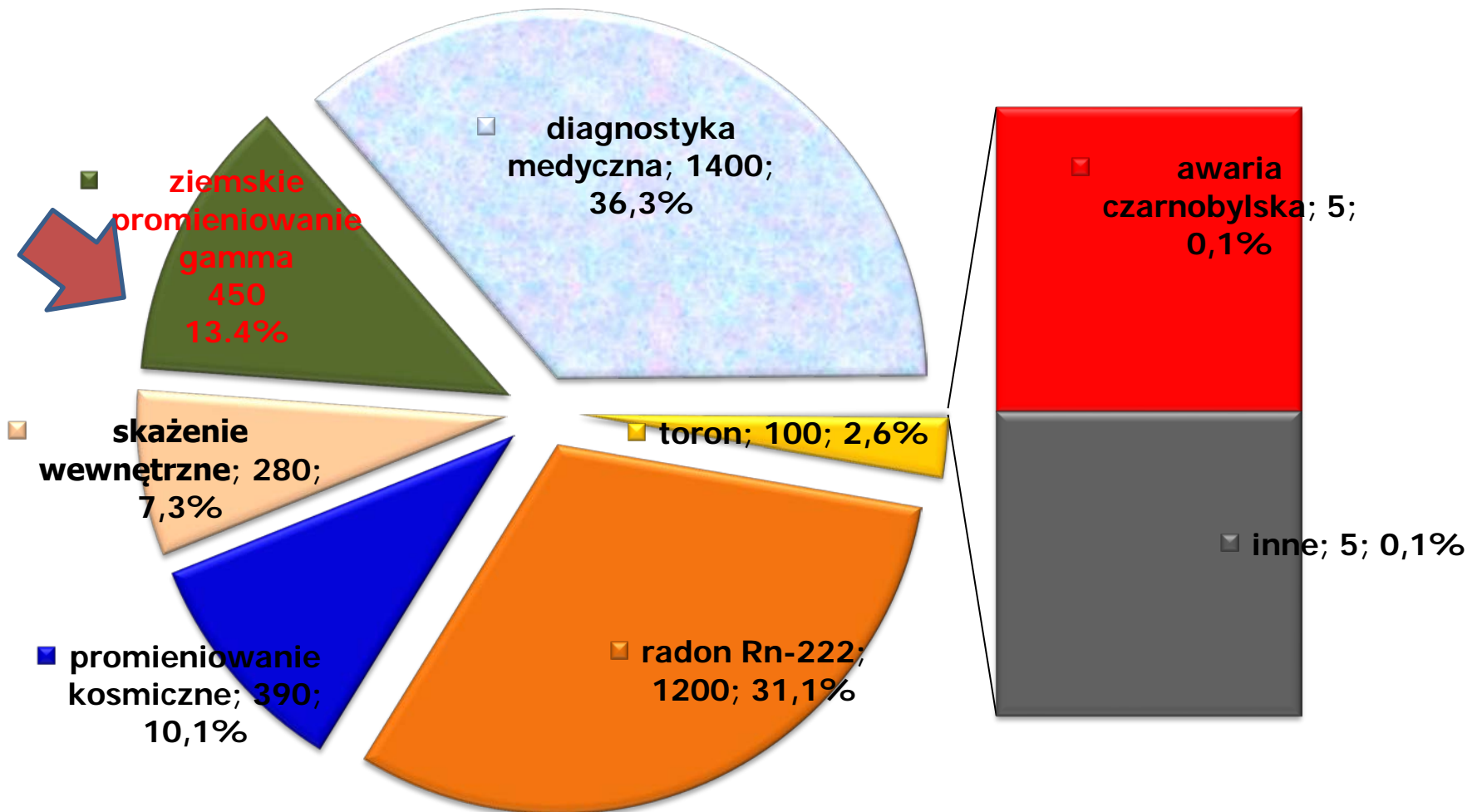
WAŻNIEJSZE RADIONUKLIDY KOSMOGENNE

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

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

Od naturalnych źródeł promieniowania 2460 μSv

Całkowita dawka efektywna 3860 μSv



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

RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO WYSTĘPUJĄCE POJEDYŃCZO

Charakterystyka Potasu K-40 i Rubidu Rb-89

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

RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

URANOWY

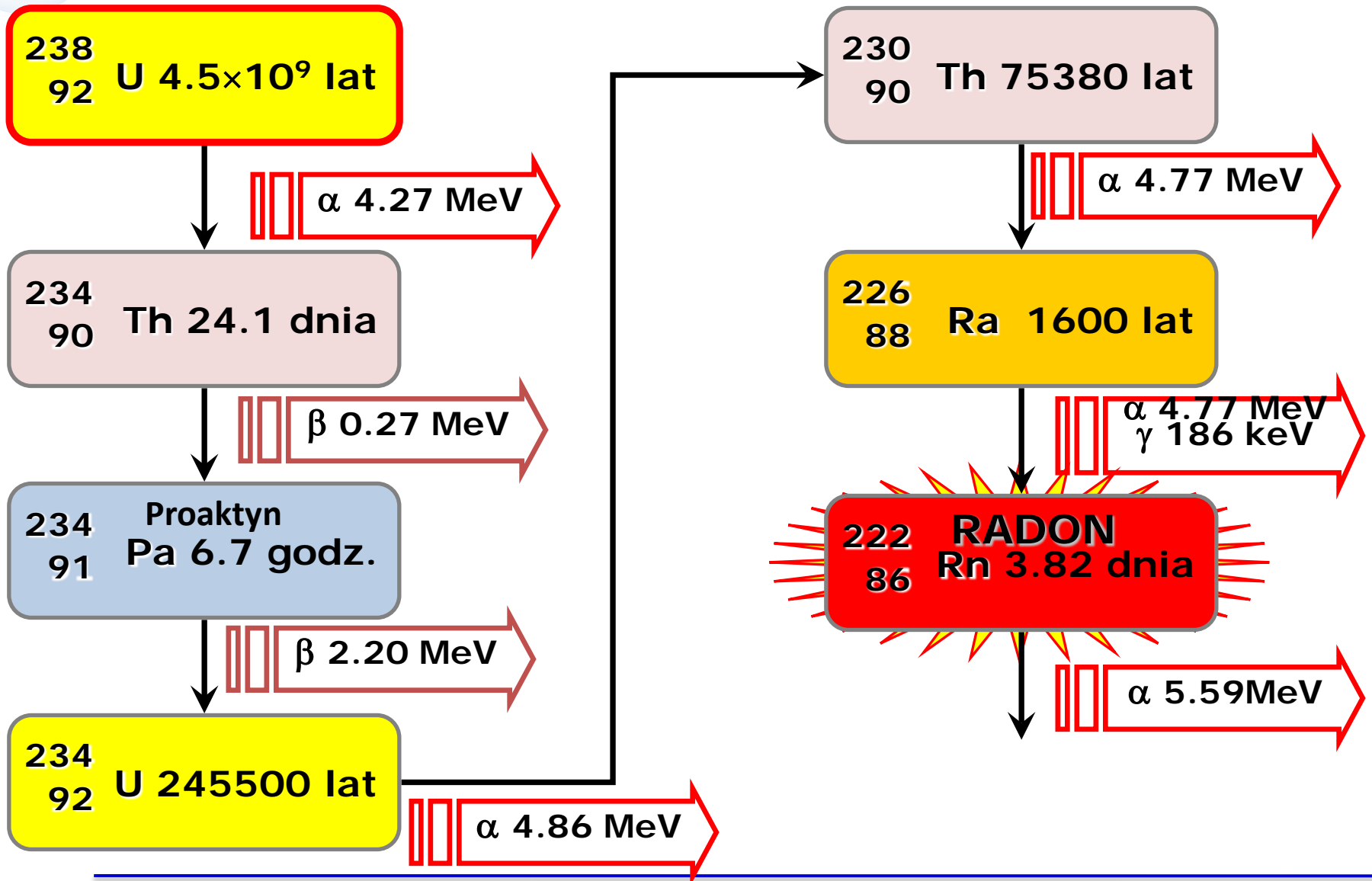
rozpoczyna się rozpadem alfa uranu ^{238}U
a kończy na stabilnym ołowiu ^{206}Pb

łącznie 18 nuklidów

najważniejsze to:

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

SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY ^{238}U



$^{222}_{86}\text{Rn}$ RADON
3.82 dnia

α 5.59 MeV

$^{218}_{84}\text{Po}$
3.1 min.

α 6.11 MeV

$^{214}_{82}\text{Pb}$
26.8 min.

β 1.02 MeV
 γ 352 keV

$^{214}_{83}\text{Bi}$
19.9 min.

β 3.27 MeV
 γ 609 keV

$^{214}_{84}\text{Po}$
164 μs

α 7.83 MeV

$^{210}_{82}\text{Pb}$
22.3 lat

β 0.064 MeV

$^{210}_{83}\text{Bi}$
5.01 dnia

β 1.16 MeV

$^{210}_{84}\text{Po}$
138.4 dnia

α 5.41 MeV

$^{206}_{82}\text{Pb}$
stabilny

RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

TOROWY

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

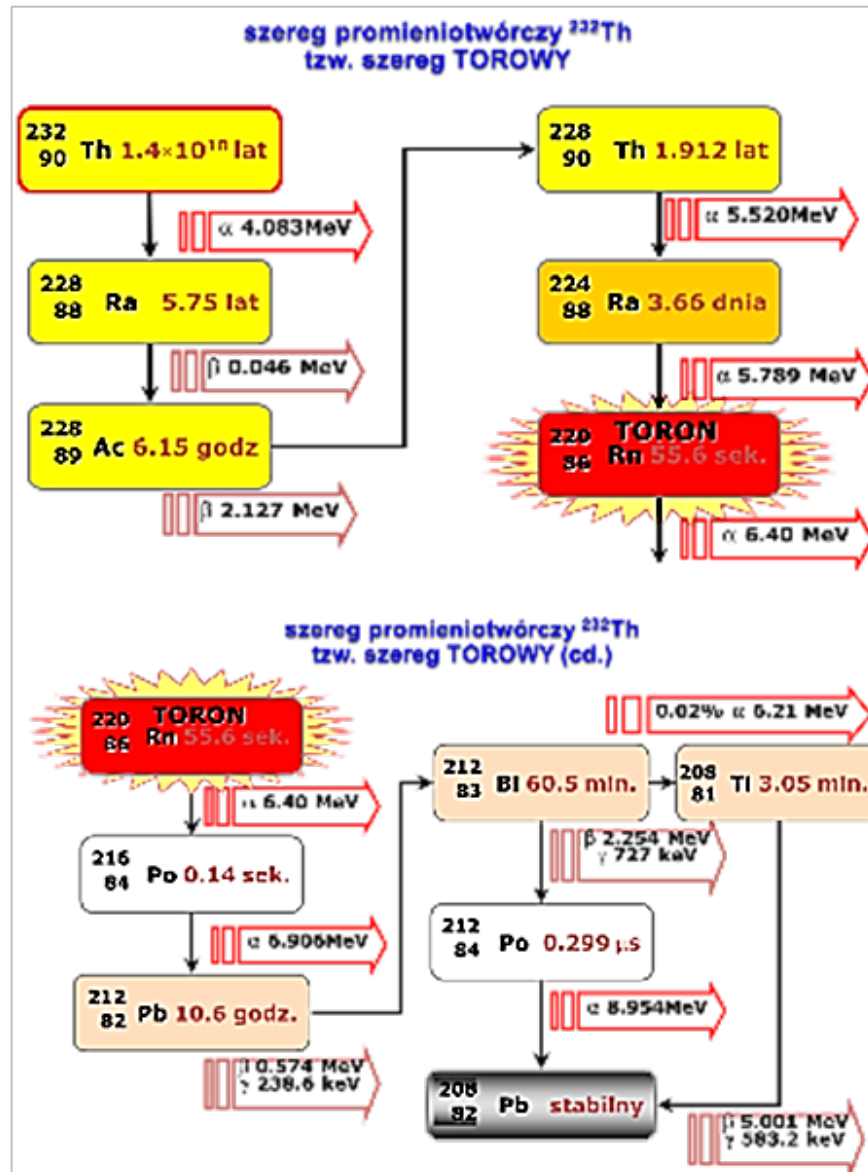
łącznie 12 nuklidów

najważniejsze to:

^{232}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{220}Rn



SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY ^{232}Th



RADIONUKLIDY POCHODZENIA ZIEMSKIEGO TWORZĄCE SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

AKTYNOWY

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

łącznie 15 nuklidów

najważniejsze to:

^{235}U , ^{231}Pa , ^{223}Ra



PRZYKŁADY RADIONUKLIDÓW WYSTĘPUJĄCYCH NATURALNIE NA ZIEMI

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

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



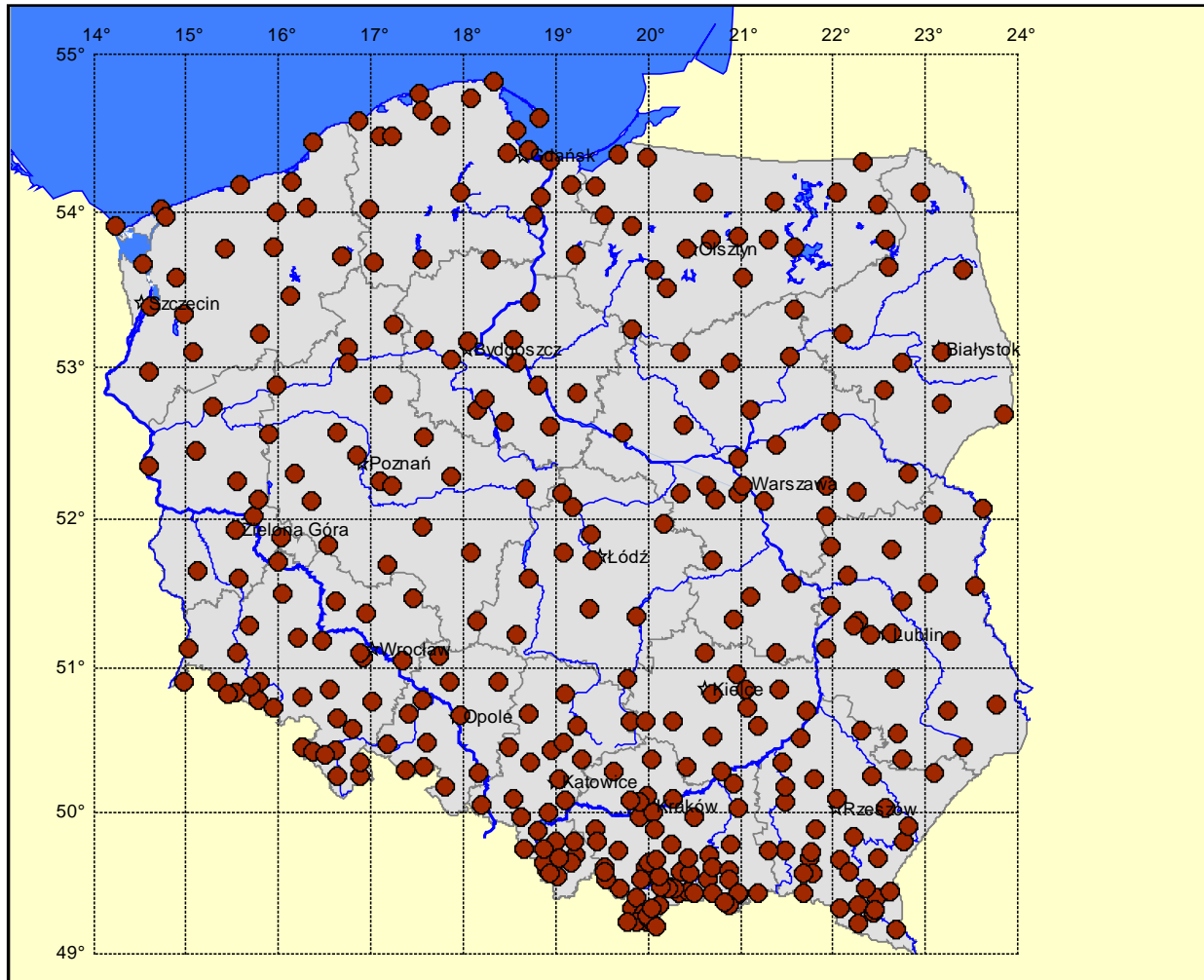
PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE W SKORUPIE ZIEMI

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

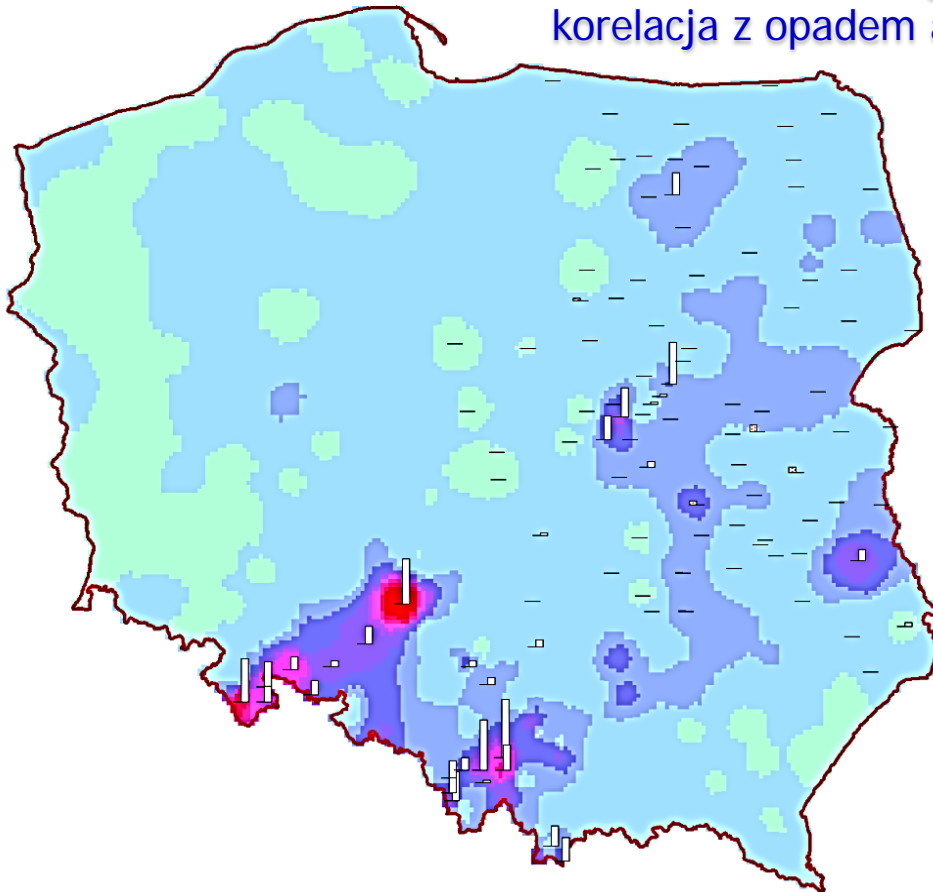
w 10 cm warstwie gleby [kBq·m²]







(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: próbné 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}Cs kBq/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 ROCZNA nSv/h	ZKRES ŚREDNICH DOBOWYCH nSv/h
PLACOWKI 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 nGy/h	ZKRES ŚREDNICH DOBOWYCH nGy/h
PLACÓWKI 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 ROCZNA nGy/h	ZKRES ŚREDNICH DOBOWYCH nGy/h
PLACÓWKI SIECI CIĄGŁEGO MONITORINGU 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 $\mu\text{Sv/rok}$

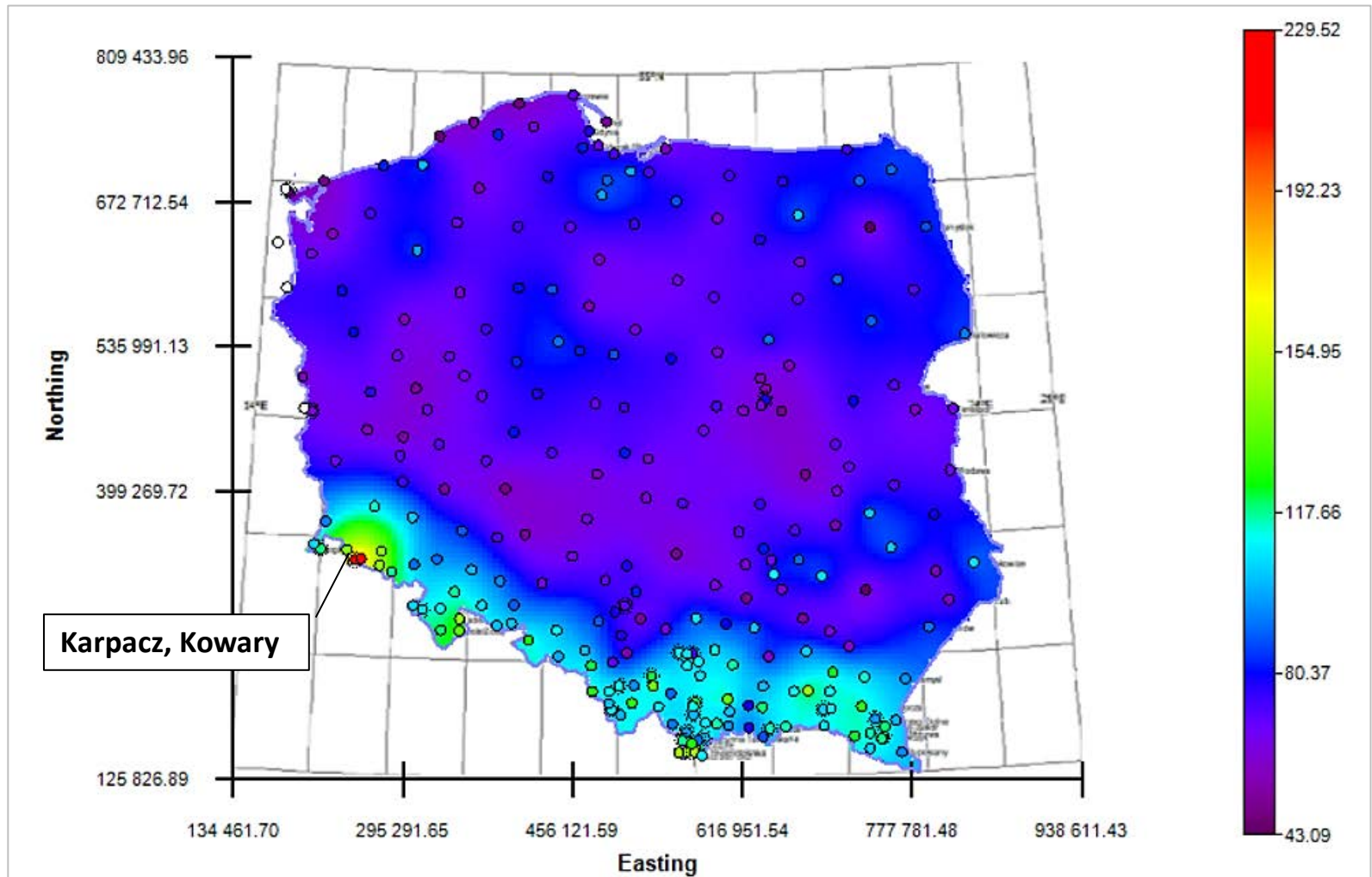
+

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

MONITORING RADIOLOGICZNY

POMIAR MOCY DAWKI

Odwzorowanie
ETRS89/CS92
[EPSG:2180]

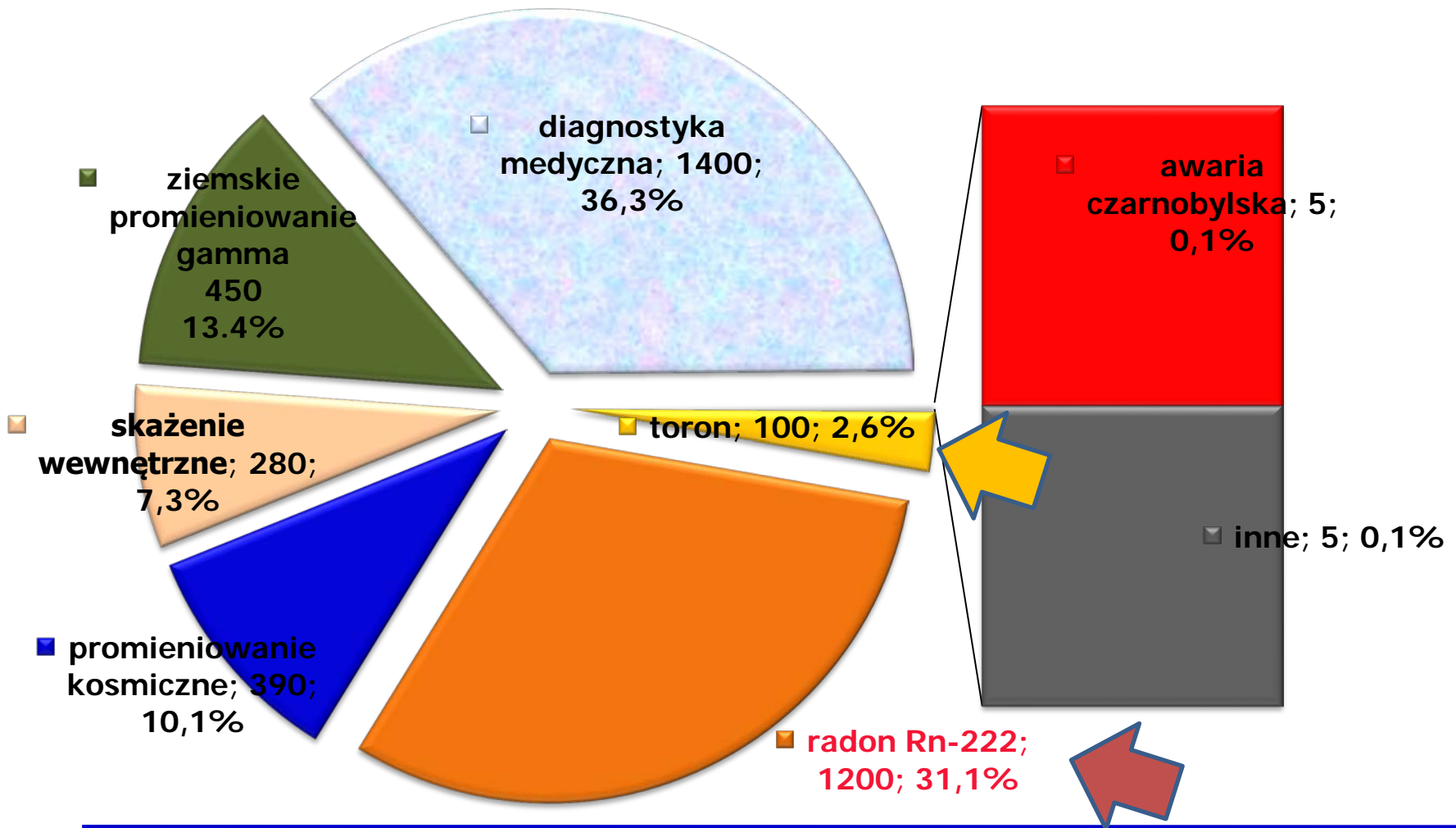


Interpolacja $\dot{H}^(10)$ algorytmem kringingu z wagami wariogramu eksponencjalnego*

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

Od naturalnych źródeł
promieniowania 2460 μSv

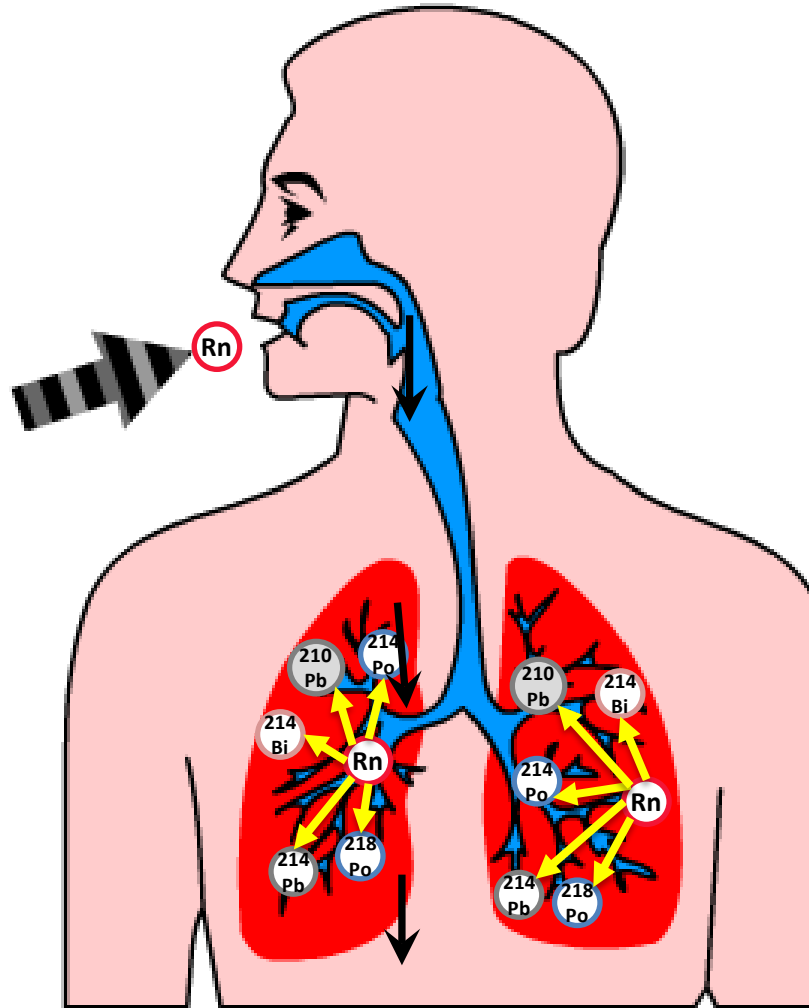
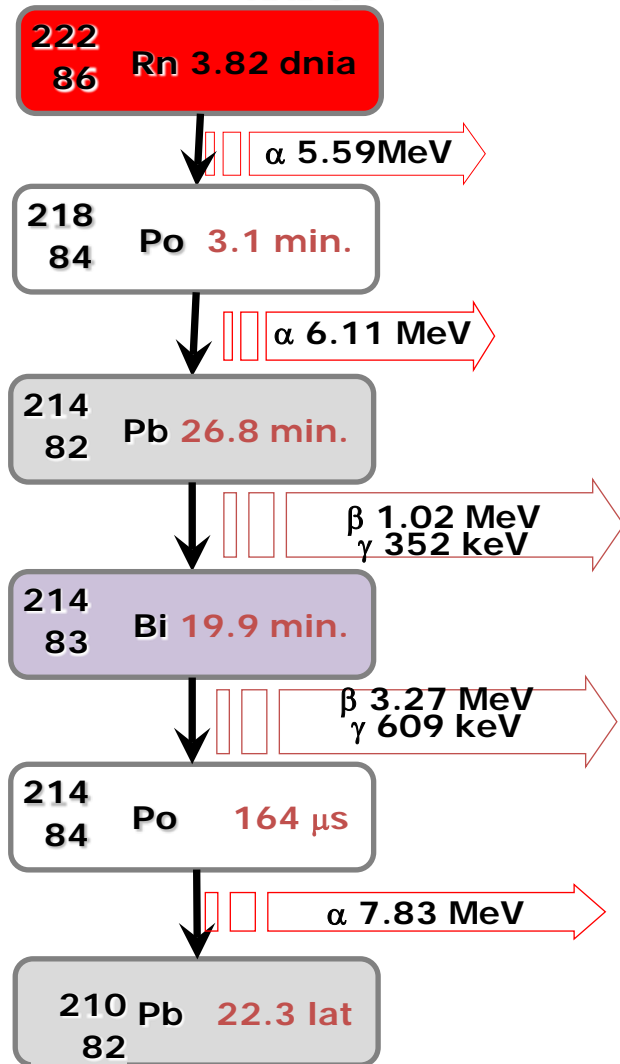
Całkowita dawka
efektywna 3860 μSv



NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE

UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

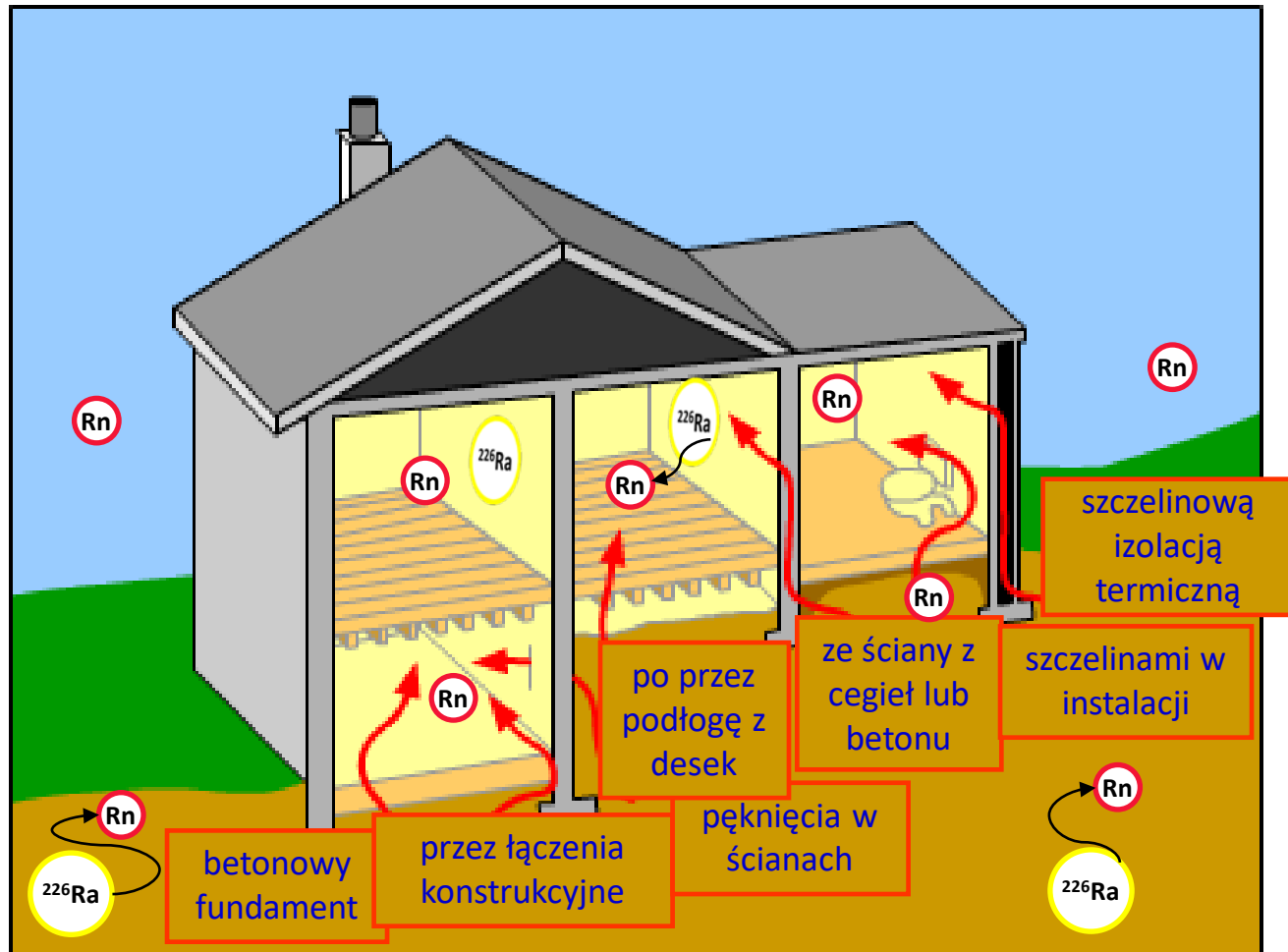
RADON



NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE

UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

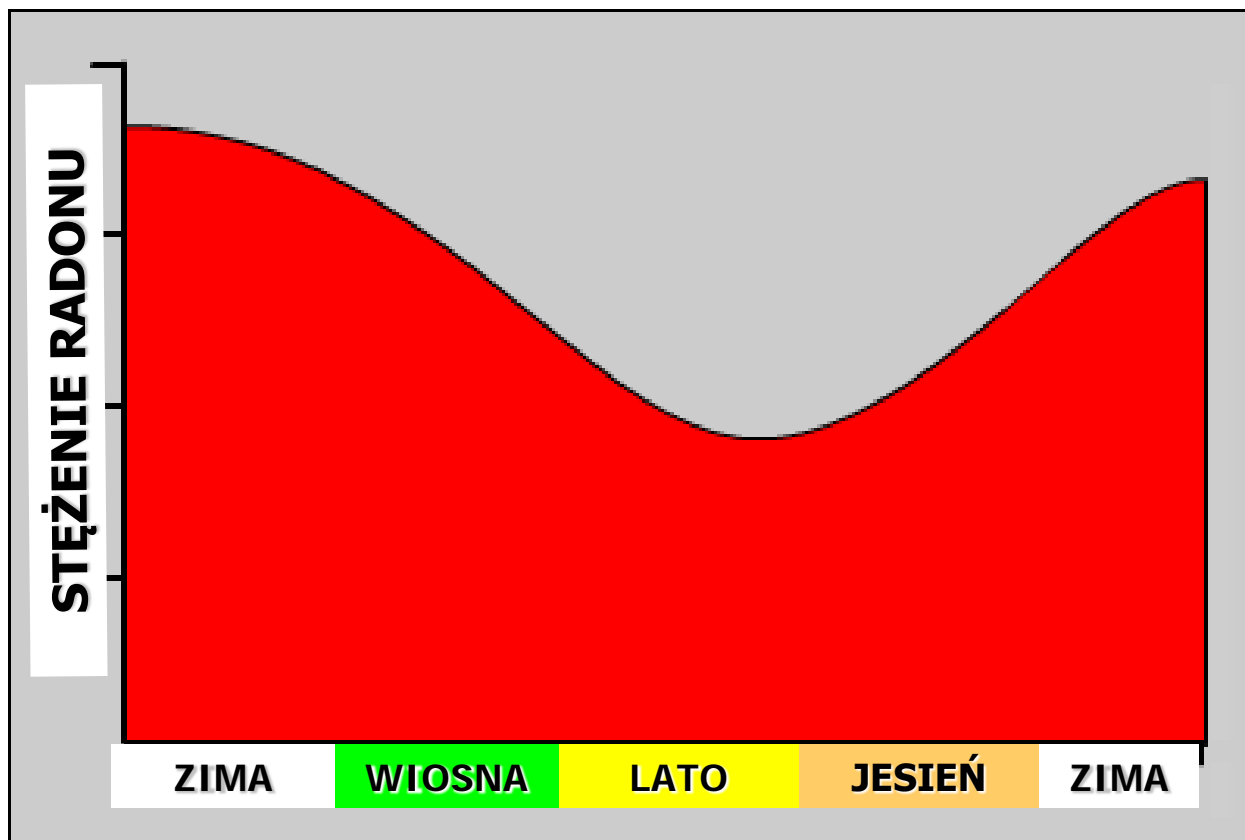
Radon Rn-222 może przedostawać się do wnętrza pomieszczeń różnymi drogami a będąc gazem szlachetnym cięższym od powietrza chętnie **zbiera się w dolnych partiach budynku** jsk parter, podpiwniczenie



NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

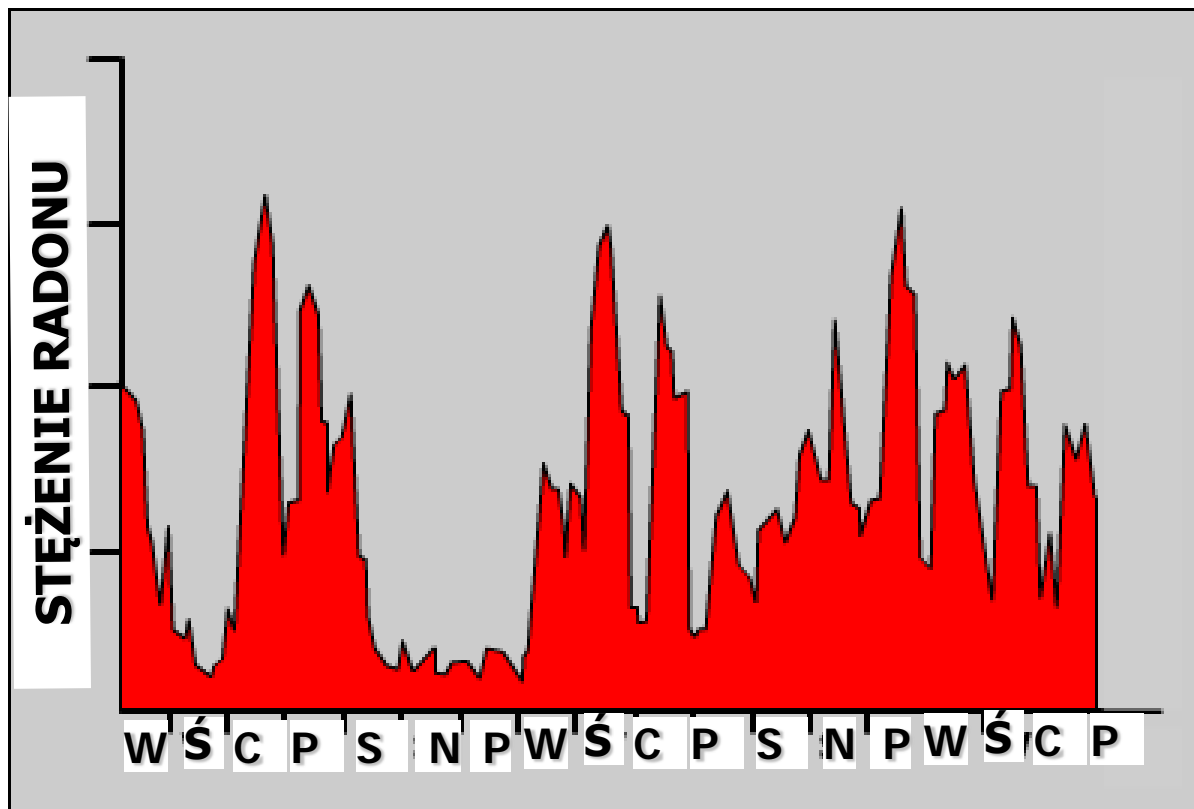
STĘŻENIE RADONU W POMIESZCZENIU ZMIENIA SIĘ W ZALEŻNOŚCI OD PORY ROKU
W PRAWIE ATOMOWYM (LIMIT $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

ODNOSI SIĘ DO STĘŻENIA ŚREDNIOROCZNEGO



NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

DZIENNE ZMIANY STĘŻENIE RADONU W POMIESZCZENIU

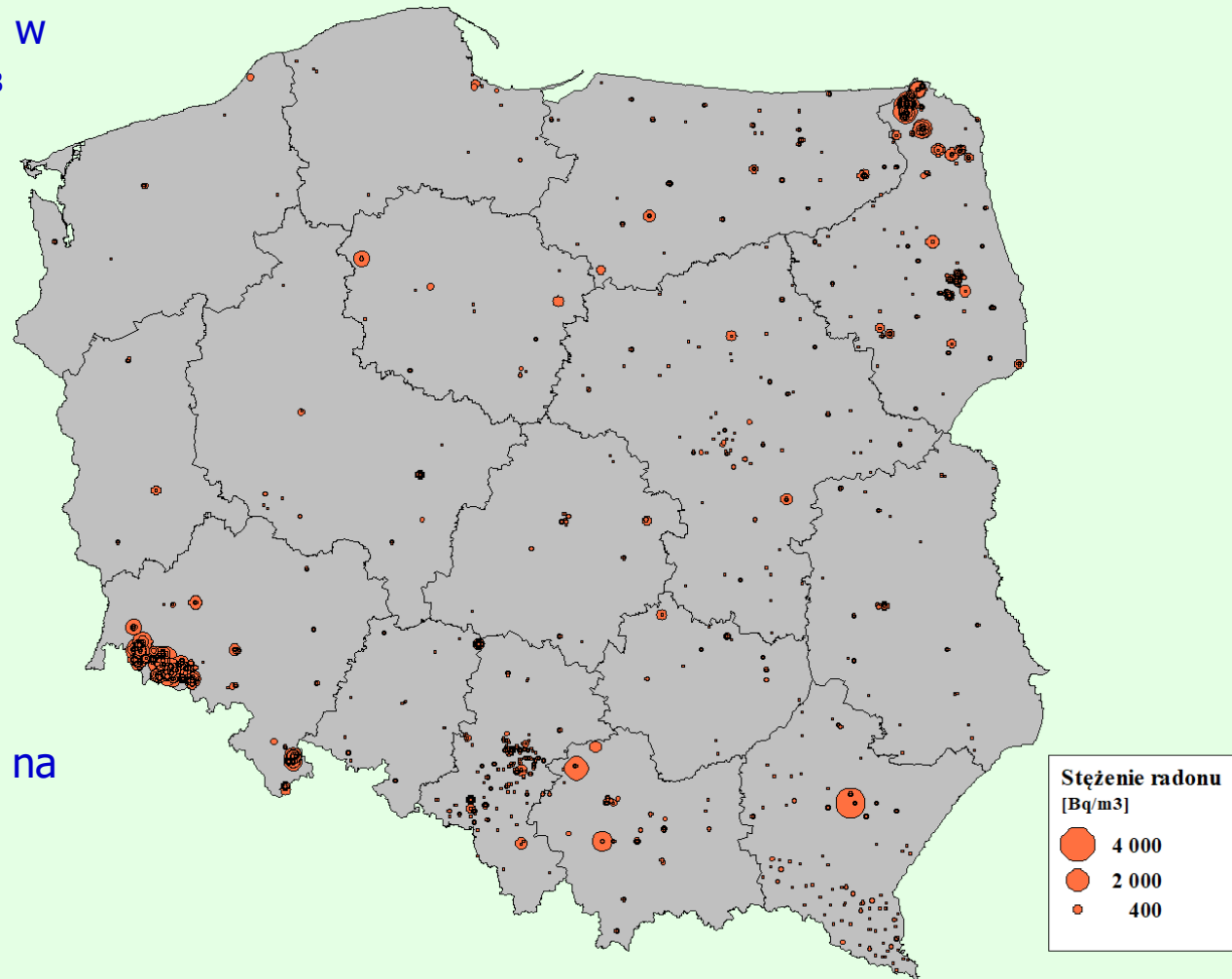


NARAŻENIE CZŁOWIEKA NA NAPROMIENIENIE

UKŁADU ODDECHOWEGO RADONEM I PRODUKTAMI ROZPADU RADONU

3302 pomiary radonu w całej Polsce 1991-2005

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



średnie stężenie radonu na
otwartym powietrzu
 6.5 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 jądrowego 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/m³** (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 mSv na $\text{mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$

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

Przy standardowym współczynniku równowagi $F=0.4$ odpowiada to

6.7×10^{-6} 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*

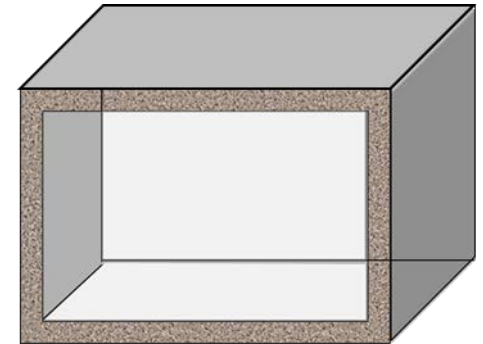
$$f_2 = S_{Ra} \leq 200 \text{ Bq / kg}$$

OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

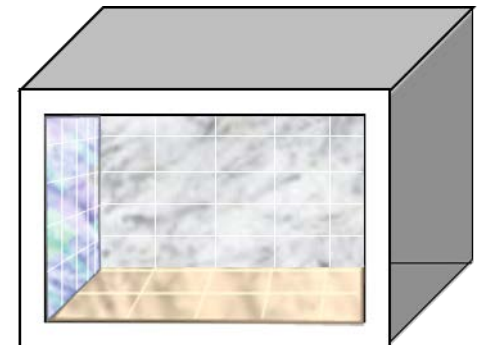
Na przykładzie normy opublikowanej w przewodniku EUROPEAN COMMISSION Radiation Protection 112 z 1999 roku.

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

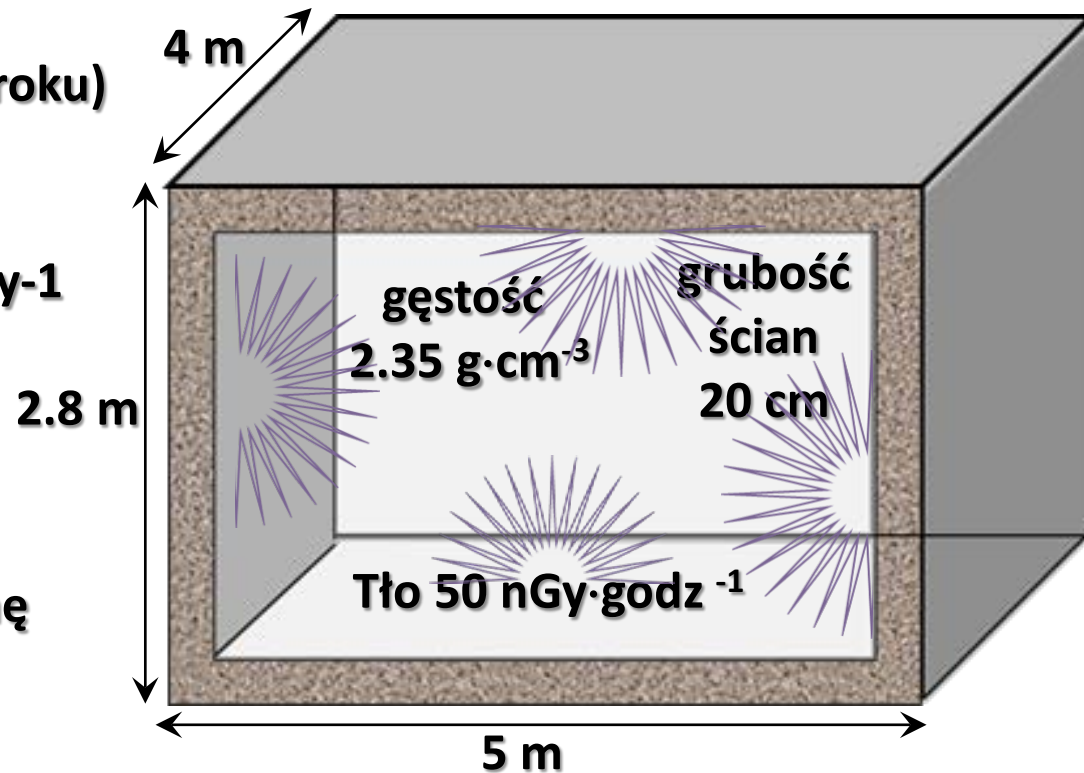
Przypadek 1: modelowe pomieszczenie mieszkalne zbudowane z betonu

Czas ekspozycji 7000 godzin (0.8 roku)

Współczynnik konwersji: 0.7 Sv Gy^{-1}

Radon ^{222}Rn

Wentylacja: 1 wymiana na godzinę



OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

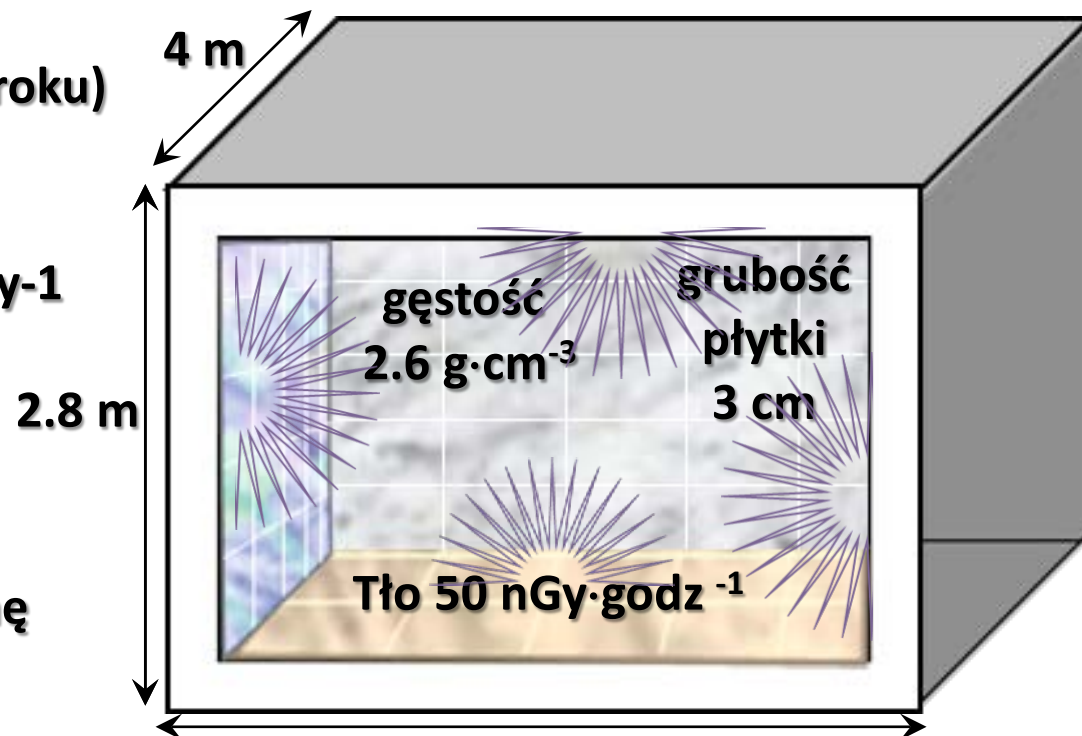
Przypadek 2: modelowe pomieszczenie mieszkalne wyłożone w środku glazurą lub terakotą

Czas ekspozycji 7000 godzin (0.8 roku)

Współczynnik konwersji: 0.7 Sv Gy⁻¹

Radon ²²²Rn

Wentylacja: 1 wymiana na godzinę



OCENA NARAŻENIA CZŁOWIEKA OD MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH – JAK POWSTAJE NORMA

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

Model	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Przypadek 1: modelowe pomieszczenie mieszkalne zbudowane z betonu	276 Bq kg⁻¹	231 Bq kg⁻¹	3176 Bq kg⁻¹
Przypadek 2: modelowe pomieszczenie mieszkalne wyłożone w środku glazurą lub terakotą	1702 Bq kg⁻¹ $\cong \times 6$	1458 Bq kg⁻¹ $\cong \times 6$	21259 Bq kg⁻¹ $\cong \times 6$

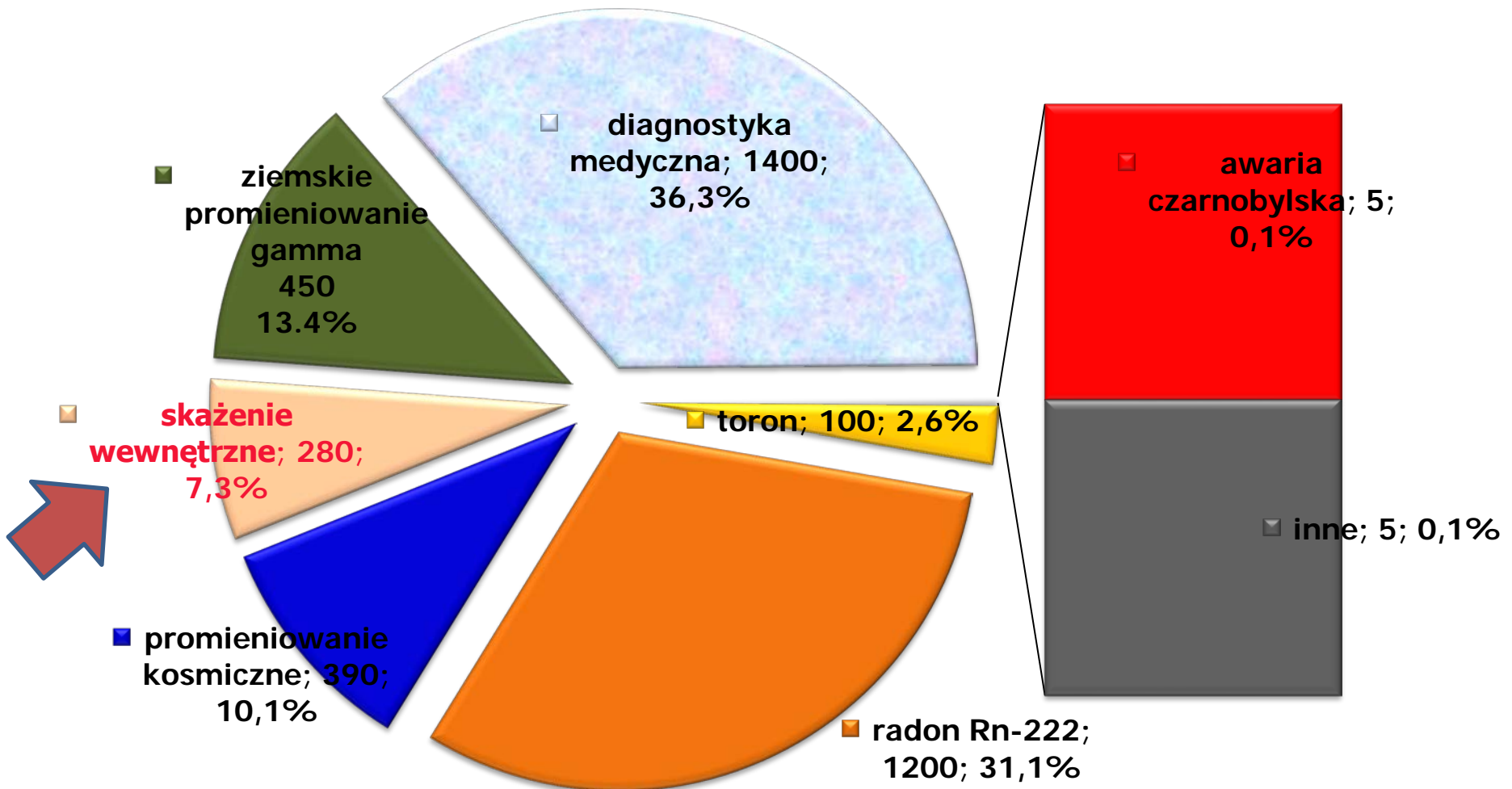
dokładne obliczone wartości stężeń zaokrąglono do najbliższej wartości 100 otrzymując:

^{226}Ra (276 \cong 300 Bq kg⁻¹); ^{232}Th (231 \cong 200 Bq kg⁻¹) ^{40}K (3176 \cong 3000 Bq kg⁻¹).

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

Od naturalnych źródeł
promieniowania 2460 μSv

Całkowita dawka
efektywna 3860 μSv



NARAŻENIE WEWNĘTRZNE CZŁOWIEKA OD RADIONUKLIDÓW WNIKAJĄCYCH DO ORGANIZMU Z POŻYWIENIEM

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

miejsce	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}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}Ra , ^{210}Pb i ^{210}Po W POLSCE I W INNYCH KRAJACH [$\text{Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$]

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

NARAŻENIE WEWNĘTRZNE CZŁOWIEKA OD RADIONUKLIDÓW WNIKAJĄCYCH DO ORGANIZMU Z POŻYWIENIEM

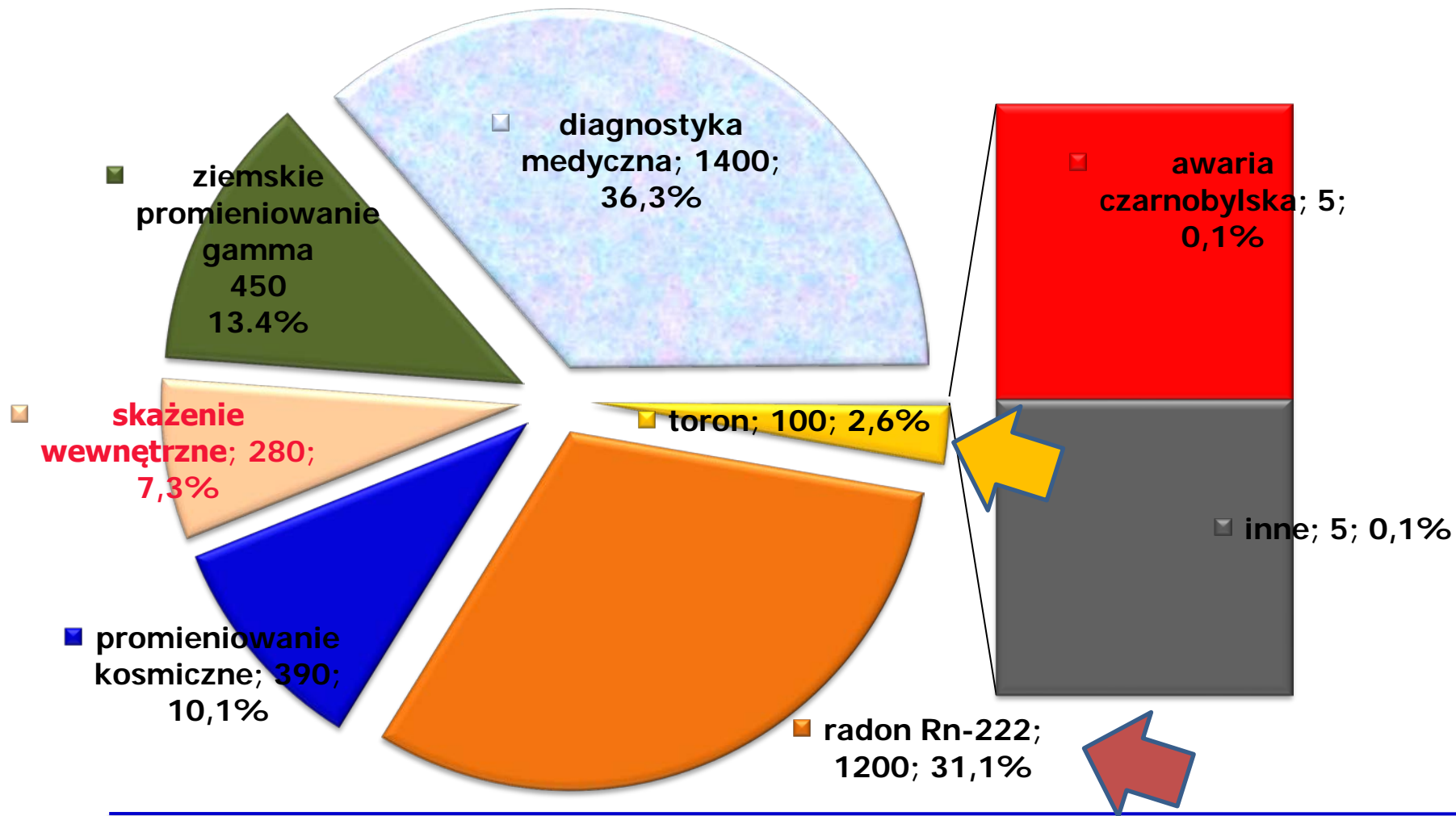
ROCZNE DAWKI SKUTECZNE OD WNIKNIĘĆ NATURALNYCH RADIONUKLIDÓW W POLSCE [μSv]

$^{238}, ^{234}\text{U}$	$^{232}, ^{232}, ^{228}\text{Th}$	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	SUMA	^{40}K	DAWKA CAŁKOWITA
0.70	1.12	5.24	30.4	52.8	90	180	280

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

Od naturalnych źródeł
promieniowania 2460 μSv

Całkowita dawka
efektywna 3860 μSv



RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA

(antropogeniczne)

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

RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA

(antropogeniczne)

WAŻNIEJSZE SZTUCZNE RADIONUKLIDY

RADIONUKLID	OKRES POŁOWICZNEGO ZANIKU	RADIONUKLID	OKRES POŁOWICZNEGO 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

RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA

(antropogeniczne)

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

Próbne wybuchy jądrowe w Ałtajskim

INNE UWOLNIENIA

Skazenia rejonu Czelabińskiego

Uwolnienia do Rzeki Tjeczi (1949 –1956)	2000 km ²	124 000 ludzi
Awaria Kysztyńska 1957	1000 km ²	300 000 ludzi
Resuspeńcja z Jeziora Karjeczy 1967	1 800 km ²	40 000 ludzi

RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA

(antropogeniczne)

PRÓBNE WYBUCHY JADROWE (1945 – 1980) 423 testy

ZSRR (142);

USA(193);

CHINY (22);

FRANCJA (45);

UK (21)

RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA (*antropogeniczne*)

PRÓBNE WYBUCHY JADROWE (1945 – 1980) 423 testy

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

RADIONUKLID	AKTYWNOŚĆ [Bq/m ²]
Sr-89	2.0×10 ⁴
Sr-90	3.23 ×10 ³
I-131	1.9 ×10 ⁴
Cs-137	5.2 ×10 ³
Ba-140	2.3 ×10 ⁴
Pu-238	1.5
Pu-239	35
Pu-240	23
Pu-241	730
Am-241	25

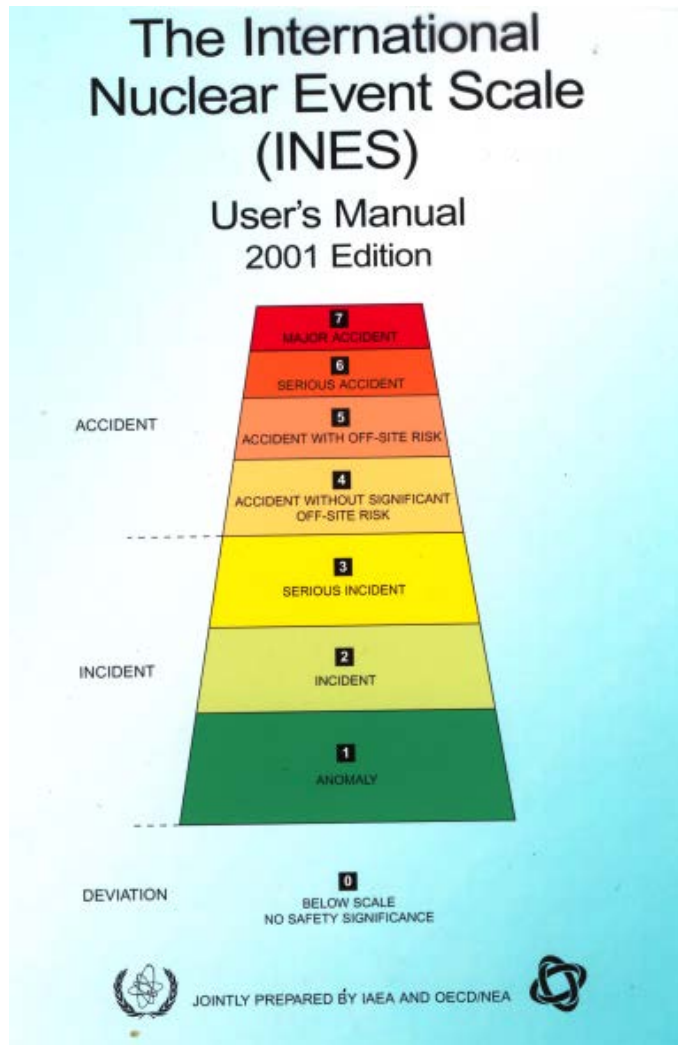
RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA

(antropogeniczne)

AWARIE JĄDROWE

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

RADIONUKLIDY SZTUCZNEGO POCHODZENIA (*antropogeniczne*)



Chernobyl: **Level 7**

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

DAWKI EFEKTYWNE

DAWKA EFEKTYWNA W PRZELICZENIU NA JEDNO BADANIE [mSv]		DAWKA EFEKTYWNA W PRZELICZENIU NA JEDNEGO MIESZKAŃCA [mSv]				
1986	1995	1995	2017	2016	2018	2019
1.4	1.2	0.80	0.86	0.86	1.201	1.102

DANE



**KRAJOWE CENTRUM
OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
W OCHRONIE ZDROWIA**

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

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

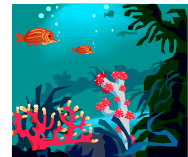
człowiek jest nieobecny i narażenie człowieka nie stanowi
kryterium oceny



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

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

EKOSTEM	ERICA TOOL	Poziom odniesienia mocy dawki	ICRP	Poziom odniesienia mocy dawki	
	 ERICA ASSESSMENT TOOL	mGy×d ⁻¹	 ICRP	mGy×d ⁻¹	
	Typ rośliny lub zwierzęcia		Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny)		
Lądowy	duży ssak 	~ 1	duży ssak (jeleń)	0.1 - 1	
	mały ssak podziemny 		mały ssak(szczur)		
	ptak 				
	gad 				
	płaz 				
	owady latające 			owad (pszczola)	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

EKOSTSTEM	ERICA TOOL	Poziom odniesienia mocy dawki	ICRP	Poziom odniesienia mocy dawki
	 Typ rośliny lub zwierzęcia	mGy×d ⁻¹	 Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny)	mGy×d ⁻¹
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 			
	maź 			
	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 ⁻¹	Typ rośliny lub zwierzęcia (gatunek referencyjny)	mGy×d ⁻¹
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 Gy rok^{-1} (10 mGy d^{-1}) [$417 \mu\text{Gy h}^{-1}$]
- flora lądowa - 3.6 Gy rok^{-1} (10 mGy d^{-1})
- fauna lądowa - 0.36 Gy rok^{-1} (1 mGy d^{-1})
- fauna przybrzeżna (*riparian*) 0.36 Gy rok^{-1} (1 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 mSv rok^{-1}

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

proponowane limity dawek dla fauny i flory

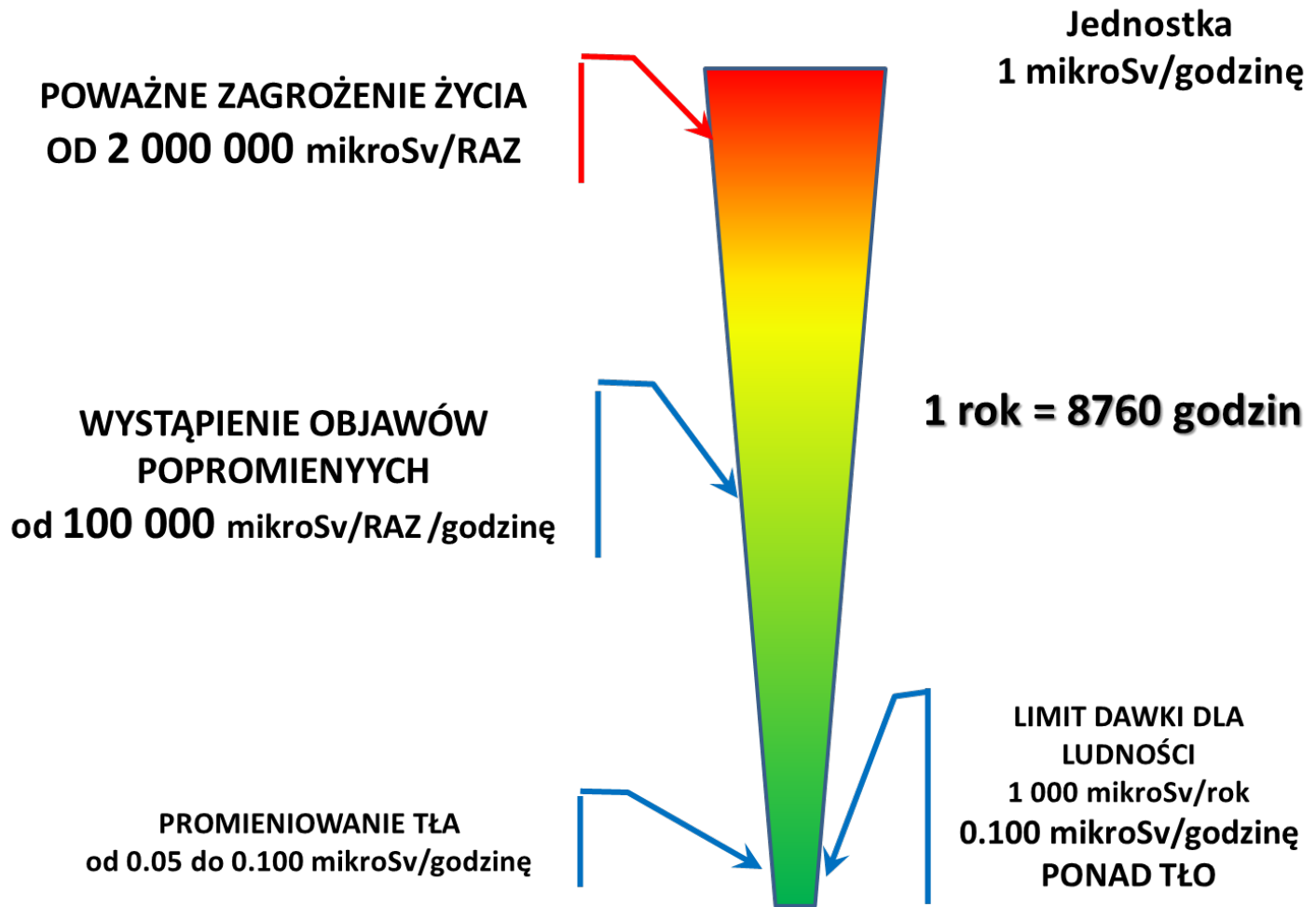
Department of Energy USA

$\approx \times 100$; 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!

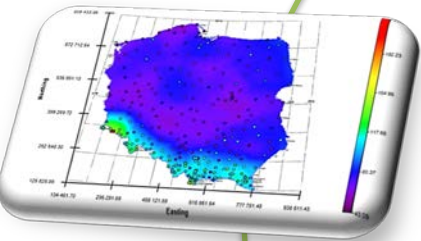
Zjawisko to jest szczególnie widoczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, gdzie najwyższe notowane stężenia ^{226}Ra w wodach niektórych kopalni dochodziły do:

390 000 Bq/m³ (x 200 000)

Dla porównania stężenie Ra-226 w wodzie ze studni 1.7 Bq/m³

WARTO (TYLKO) 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 ZMYSŁU 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 (NAUKOWYCH) PRZESŁANEK ABY OBAWIAĆ SIĘ DAWEK MIESZCZACYCH SIĘ W ZAKRESIE PROMIENIOWANIA NATURALNEGO (3- 100 miliSv/rok)**



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ



Paweł KRAJEWSKI
krajewski@clor.waw.pl

CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

