



**Jubileuszowa Sesja Naukowa Polskiego
Towarzystwa Badań Radiacyjnych im.
Marii Skłodowskiej-Curie
„Promieniowanie w nauce, technologii,
medycynie i środowisku naturalnym”**



planowane



wyjątkowe



istniejące

Przegląd zasad ochrony radiologicznej w latach 1977-2017

Paweł Krajewski
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

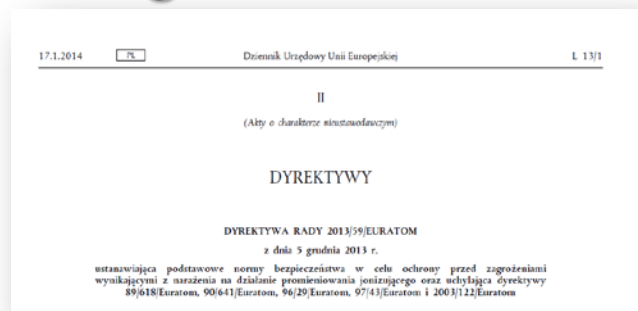
Zagadnienia wykładu

- ▶ **Czekające nas zmiany w systemie ochrony radiologicznej**
- ▶ **Historia limitów dawek**
 - ▶ Pierwsze limity
 - ▶ Hipoteza LNT -zmiana filozofii ochrony radiologicznej
- ▶ **Ewolucja zaleceń ICRP 1977, 1990, 2007**
 - ▶ zalecenia ICRP Pub. 26 (1977 r.)
 - ▶ zalecenia ICRP Pub. 60 (1990 r.)
 - ▶ ICRP Pub. 103 (2007 r.)
- ▶ **Dyrektywa Rady UE 2013/59/EURATOM**
- ▶ **Hormeza radiacyjna jako czynnik weryfikujący normy ochrony radiologicznej**
- ▶ **Podsumowanie**

Czekające nas zmiany w systemie ochrony radiologicznej

- ▶ istotne zmiany w ochronie radiologicznej które muszą być wprowadzone do prawa krajowego do lutego 2018 r.

DYREKTYWA RADY UE 2013/59/EURATOM
ustanawiająca nowe (zaostrzone ?) normy
ochrony przed promieniowaniem jonizującym



Zgodnie z art. 33 Traktat Euratom (1957) ustanawiający Europejską Wspólnotę Energii Atomowej, projekty ustaw i rozporządzeń krajów członkowskich wdrażających Dyrektywę Rady UE 2013/59/EURATOM powinny być przedstawione Komisji najpóźniej do 6 listopada 2017 r. Ponieważ ocena dokumentacji 28 członków UE w tak krótkim czasie wydaje się niemożliwa, Komisja apelowała do członków UE o wcześniejsze przesłanie projektów do września 2017 lub nawet wcześniej.

Czekające nas zmiany w systemie ochrony radiologicznej

- ▶ Zmiana ustawy prawo atomowe oraz szereg rozporządzeń Rady Ministrów.

Projekt z dnia 29 maja 2017 r.

U S T A W A

z dnia.....2017 r.

o zmianie ustawy - Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej¹⁾²⁾

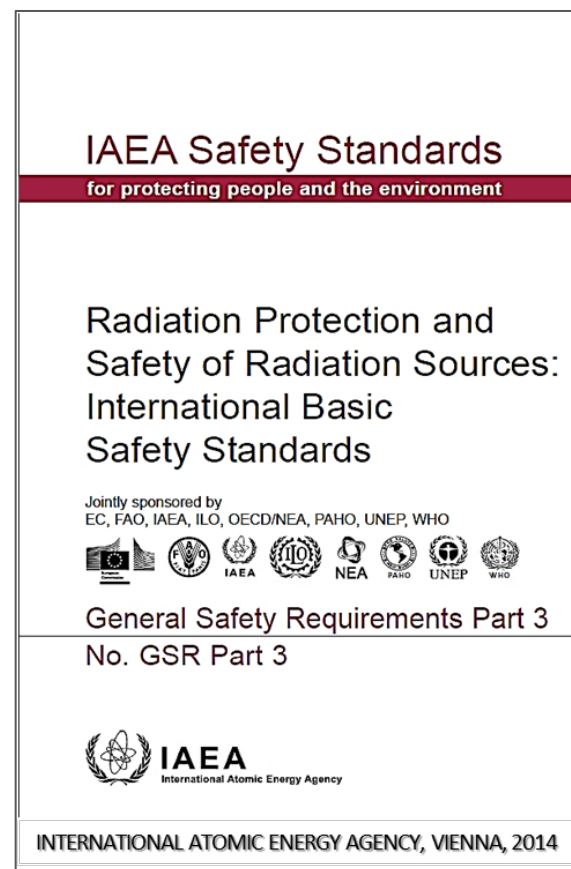
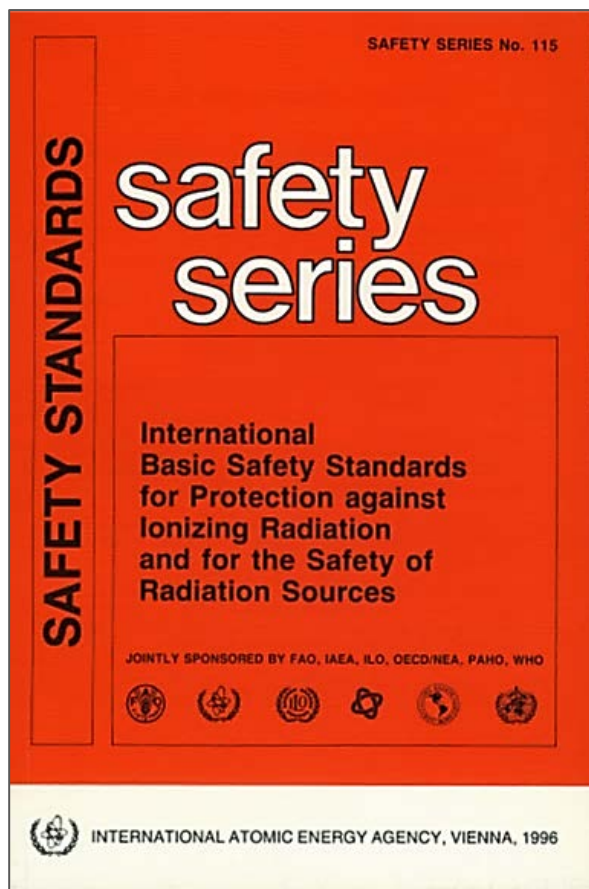
Art. 1. W ustawie z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe (Dz. U. z 2017 r. poz. 576) wprowadza się następujące zmiany:

rozpoczęcie: 30-05-2017
zakończenie: 07-06-2017



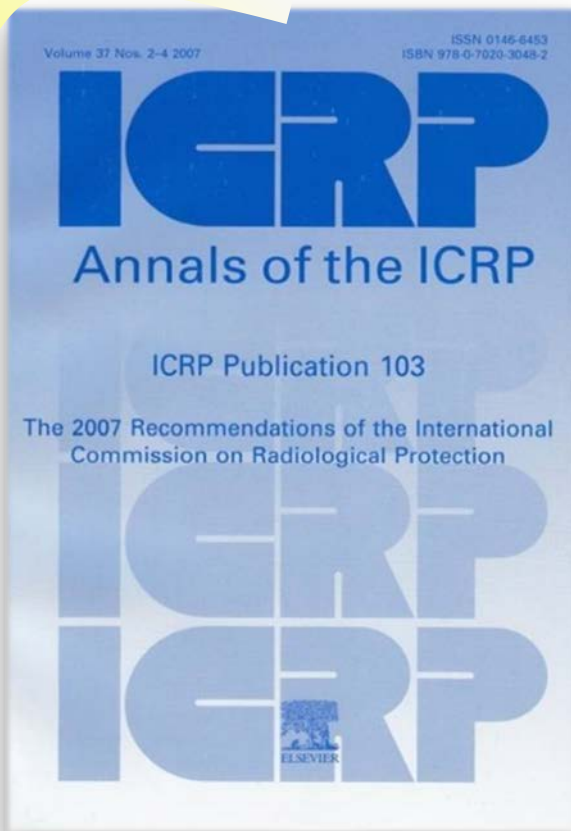
Czekające nas zmiany w systemie ochrony radiologicznej

- ▶ Nastąpiły również zmiany w rekomendacjach międzynarodowych



Czekające nas zmiany w systemie ochrony radiologicznej

► Zalecenia ICRP z 2007 Pub.103



*ICRP Międzynarodowa
Komisja Ochrony
Radiologicznej
(od 1928 r.)*

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Ochrona przed promieniowaniem

- ▶ Środki związane z ograniczaniem **szkodliwych** skutków działania promieniowania jonizującego na człowieka.
- ▶ Ograniczanie napromieniowania zewnętrznego i wniknięcia nuklidów promieniotwórczych do organizmu oraz profilaktyka mająca na celu **ograniczenie wszelkich szkód** dla organizmu wynikających z napromienienia lub skażeń.

[ISO 9211/97 (radiological protection)]

- ▶ Od odkrycia promieniowania i promieniotwórczości minęło ponad 120 lat, a standardy ochrony przed promieniowaniem oraz filozofia rządząca tymi standardami ewoluowały skokowo.

Historia limitów dawek



radiograf ręki prezentowany w 1986 roku na wykładzie W. Roentgena o wykryciu promieniowania X

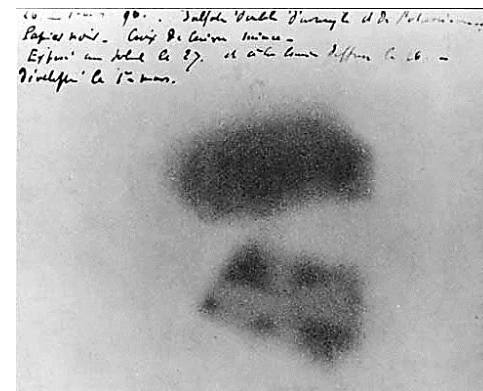


promienie x, odkryte przez niemieckiego fizyka Wilhelma Konrada Roentgen'a
8 listopada 1895 (122 lata)



Antoine Henri Becquerel odkrył promieniotwórczość w 1896 w Paryżu.

W swoim laboratorium



kulisza fotograficzna należąca do Becquerela, która została zaciemniona przez promieniowanie jądrowe soli uranu.

HISTORIA LIMITÓW DAWEK



radiografia w 1910 r

Aparat rentgenowski

200 kV;

dawka w wiązce 0.3 Gy/min

Po 20 min zaczerwienienie skóry 6 Gy

I 10 min oparzenie III stopnia (~30 Gy)

dla porównania średnia dawka roczna od
tła promieniowania

10 000 razy mniejsza



ręce wczesnych radiologów po
otrzymaniu wysokich dawek
promieniowania

Kalibracja aparatów rentgenowskich na podstawie stopnia zaczerwienienia skóry ręki
operatora bezpośrednio wkładanej w wiązkę

HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Pierwsze limity

- ▶ 1902 r. zaczernienie płytki fotograficznej 100 mGy d^{-1} [30 G rok^{-1}]
- ▶ 1924 r. „tolerance dose” 20 mGy d^{-1} [$0,7 \text{ G rok}^{-1}$] – 1/100 ED
*Artur Mutsheller (American Roentgen Ray Society) „tolerance dose”
ekspozycja całego ciała bez szkodliwych efektów (wsp. bezp. 10)*
- ▶ 1934 r. pierwszy standard $\sim 10 \text{ mGy d}^{-1}$ [$0,3 \text{ G rok}^{-1}$]
U.S. Advisory Committee on X-ray and Radium protection
- ▶ 1941 r. uzupełnienie standardu o dopuszczalną zawartość radu
Ra-226 w ciele (3.7 kBq)
- ▶ 1944 r. uzupełnienie o dopuszczalną zawartość plutonu Pu-238
($\sim 11 \text{ kBq}$) - ekwiwalent Ra-226
- ▶ 1945 r. wsp. bezpieczeństwa 1/5 uzupełnienie o dopuszczalną
zawartość plutonu Pu-238 ($\sim 2.2 \text{ kBq}$) *Manhattan Engineer District
Hanford* zawartość plutonu Pu-238 ($\sim 1 \text{ kBq}$)

HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Pierwsze limity

- ▶ 1949 r. Konferencja w Chalk River, Ontario: USA, Wielka Brytania, Kanada

- ▶ Tripartie report:

nowe koncepcje odnośnie określenia dawki, RBE dla różnych typów promieniowania, dawka pochłonięta w funkcji energii fotonu i głębokości w tkance (deep dose), radiotoksyczność plutonu, człowiek standardowy (reference man), limity dawek od zewnętrznej i wewnętrznej ekspozycji:

- ▶ absorbed dose [rad],
- ▶ dose-equivalent [rem],
- ▶ relative biological effect [RBE]
- ▶ limit dawki na skórę 300 mSv rok^{-1}

HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Pierwsze limity

- ▶ lata 1950-te na podstawie analizy danych osób ocalałych po wybuchach bomb atomowych w Hiroszynie i Nagasaki (*nigdy nie zaobserwowane*) powstaje hipoteza wpływu promieniowania na zmiany genetyczne u ludzi co prowadzi do dalszego obniżania limitów dawek

1957 r. limit dawek rocznych narażonych zawodowo 50 mSv rok^{-1}

- ▶ *ICRP Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (od 1928 r.)*
- ▶ 1958 r. limit dawki życiowej dla osób narażonych zawodowo (18-65 lat)
2350 mSv
- ▶ limit rocznych dawek otrzymywanych przez ludność 5 mSv rok^{-1}

NCRP - National Committee on Radiation Protection and Measurements

1960 r. 5 mSv rok^{-1} (dla pojedynczej osoby w populacji)
oraz $1,7 \text{ mSv rok}$ jako średniej dla całej populacji

Federal Radiation Council

HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Hipoteza LNT -zmiana filozofii ochrony radiologicznej

- ▶ 1961 r. badania epidemiologiczne populacji osób ocalałych po wybuchach bomb atomowych w Hiroszynie i Nagasaki wykazały zwiększoną liczbę guzów (*litych*) rakowych i białaczki.
- ▶ prowadziło to do **radykalnej zmiany filozofii ochrony radiologicznej** od „praktycznego” stanowiska przestrzegania limitów w celu aby zabezpieczyć się przed bezpośrednim niszczącym tkanki oddziaływaniem promieniowania na organizm ludzki (tzw. skutkami deterministycznymi) do przyjęcia hipotezy liniowego bez progowego (*linear no-threshold, LNT*) oddziaływania promieniowania na zdrowie człowieka i eliminacji ryzyka raka dla narażonych zawodowo oraz ludności.

HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Hipoteza LNT -zmiana filozofii ochrony radiologicznej

- ▶ Podstawą hipotezy LNT były dwa założenia:
 - ▶ 1. nawet najmniejsza dawka promieniowania jonizującego wywołuje uszkodzenia DNA i mutacje;
 - ▶ 2. zwiększona liczba mutacji prowadzi do wzrostu liczby
 - ▶ zachorowań na raka - *model rozwoju nowotworów który zależy bezpośrednio od mutacji somatycznych*
- ▶ W latach 1977, 1990 i 2007 pojawiły się kolejne tzw. rekomendacje ICRP w których następowała dalsza „rozbudowa” systemu ograniczania (kontroli) dawek.

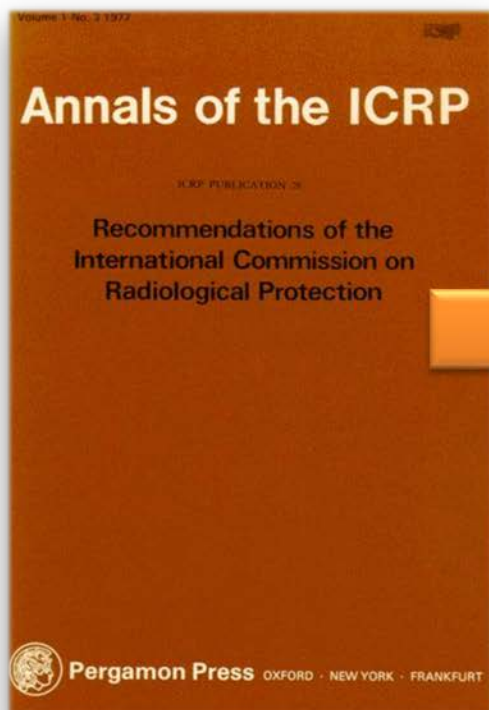
Wprowadzono współczynnik ryzyka śmierci w wyniku raka indukowanego promieniowaniem $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ na rok co przy utrzymanym limicie 50 mSv rok^{-1} daje ryzyko 5 zgonów na 10 000 osób
(w oryginale limit ten wynosił 5 rem a współczynnik ryzyka 10^{-4} rem^{-1})

Ewolucja zaleceń ICRP

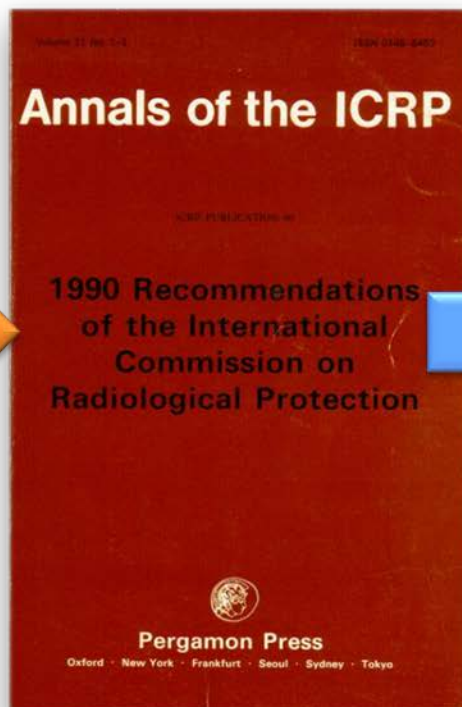
wg. zaleceń ICRP Pub. 26 (1977 r.), ICRP Pub. 60 (1990 r.),
ICRP Pub. 103 (2007 r.)

W ciągu 30 lat ICRP trzy razy wydawała zalecenia istotnie zmieniające kryteria Ochrony Radiologicznej

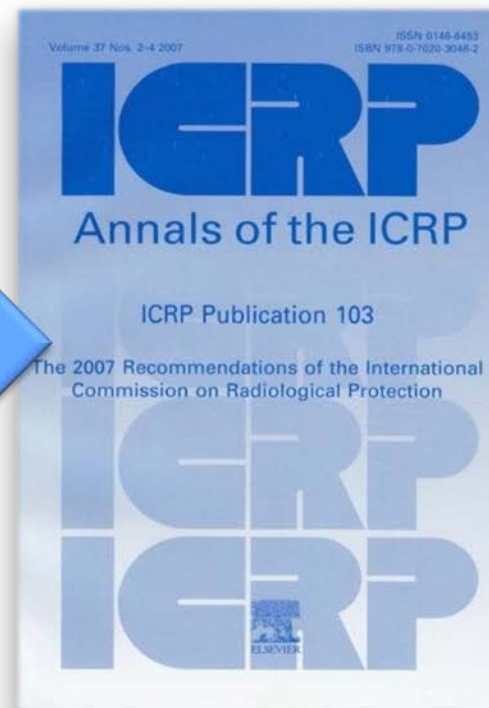
Zalecenia z 1977 Pub. 26



Zalecenia z 1990 Pub. 60

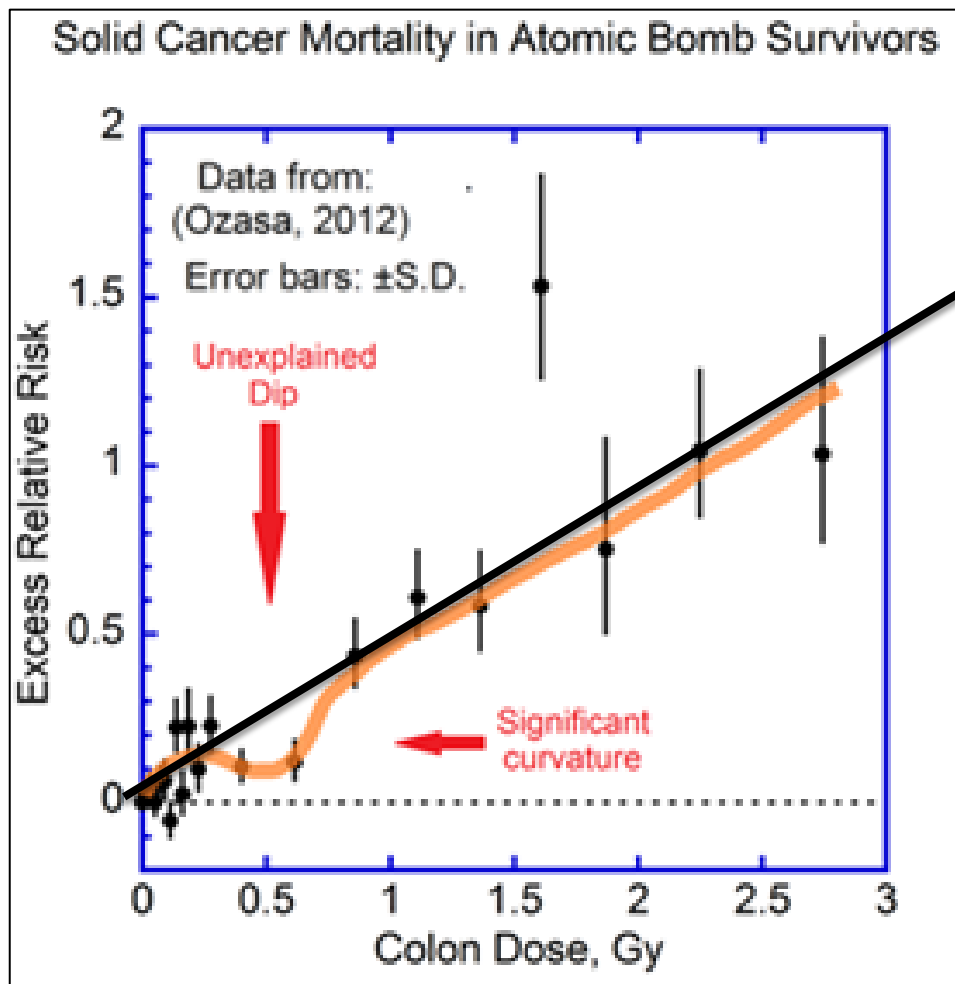


Zalecenia z 2007 Pub. 103



HISTORIA LIMITÓW DAWEK

Hipoteza LNT -zmiana filozofii ochrony radiologicznej



Umieralność na raka w kohorcie ABS wg pracy Ozasa i wsp. 2012, z przyjęciem jako zero poziomu ekstrapolowanego z umieralności przy niskich dawkach,

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 26 (1977 r.)

- ▶ po raz pierwszy wprowadzono rozróżnienie między „stochastycznymi” oraz „nie-stochastycznymi” skutkami promieniowania
- ▶ wprowadzono ilościową ocenę ryzyka nowotworów:
 - ▶ czerwony szpik
 - ▶ kości, powierzchnia kości
 - ▶ płuca
 - ▶ tarczyca
 - ▶ piersi
 - ▶ inne tkanki

współczynnik ryzyka śmierci na raka indukowanego promieniowaniem $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ na rok

przy utrzymanym z 1957 r. limicie 50 mSv rok^{-1} daje to ryzyko 5 zgonów na raka w populacji 10 000 osób

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 60 (1990 r.)

- ▶ modyfikacja terminu skutków „nie-stochastycznych” obecnie zwanych „deterministycznymi”

skutek deterministyczny to skutek zdrowotny promieniowania posiadający „w zasadzie” dawkę progową powyżej której ostrość skutku zwiększa się wraz z wartością dawki

- ▶ modyfikacja skutków „stochastycznych”: 13 organów plus gonady

podniesiono współczynnik ryzyka zgonu na raka w skutek promieniowania

dla ludności z 0.01 Sv^{-1} do 0.05 Sv^{-1}

dla narażonych zawodowo z 0.01 Sv^{-1} do 0.04 Sv^{-1}

oraz współczynnik ryzyka zmian cech dziedzicznych

dla ludności z 0.004 Sv^{-1} do 0.01 Sv^{-1}

dla narażonych zawodowo z 0.004 Sv^{-1} do 0.06 Sv^{-1}

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 60 (1990 r.)

- ▶ Szkoda radiacyjna (detriment)
- ▶ Całkowity uszczerbek zdrowia grupy osób i ich potomstwa będący wynikiem narażenia na promieniowanie tej grupy osób.
- ▶ Szkoda radiacyjna jest koncepcją wielowymiarową a jej podstawowymi składowymi są wielkości stochastyczne:
 - ▶ prawdopodobieństwo wystąpienia śmiertelnych nowotworów mogących być wynikiem napromieniowania,
 - ▶ ważne prawdopodobieństwo wystąpienia nowotworów nie powodujących śmierci,
 - ▶ ważne prawdopodobieństwo poważnych efektów dziedzicznych i skrócenie życia w wyniku powstałego uszczerbku.

Ewolucja zaleceń ICRP

Porównanie zaleceń ICRP Pub. 23 z 1977 i zaleceń ICRP 1990 pub. 60

Indywidualne Dawki Graniczne (<i>Individual Dose Limits</i>)		
Rodzaj ekspozycji	Zalecenia 1977 (ICRP Pub. 26)	Zalecenia 1990 (ICRP pub. 60)
Narażenie zawodowe (oraz akcje usuwania skutków awarii)	50 mSv/rok ⁽³⁾	20 mSv/rok ⁽¹⁾ (uśrednione w okresie 5 lat: <50 mSv/rok)
pojedynczy organ: (za wyjątkiem)	500 mSv/rok ⁽⁴⁾	wycofane
soczewki oka	300 mSv/rok	150 mSv/rok ⁽²⁾
skóry	20 Sv (w okresie życia)	500 mSv/rok ⁽²⁾
rąk oraz stóp	-	500 mSv/rok ⁽²⁾
Kobiety w ciąży		2 mSv na powierzchni podbrzusza, 1 mSv od wnikań radionuklidów
Narażenie ludności 1985 Paris Statement	5 mSv/rok ⁽³⁾ 1 mSv/rok ⁽³⁾ - dozwolony limit 5 mSv/rok o ile średnia w ciągu całego życia < 1mSv/rok)	1 mSv/rok(> wartości o ile średnia w ciągu 5 lat < 1mSv/rok)
pojedynczy organ (za wyjątkiem):	50 mSv/rok ⁽⁴⁾	wycofane
soczewki oka		15 mSv/rok
skóry	wT = 0.01	50 mSv/rok

¹ dawka efektywna (skuteczna) ² dawka równoważna ³ efektywny równoważnik dawki ⁴ równoważnik dawki

Ewolucja zaleceń ICRP

Porównanie zaleceń ICRP Pub. 23 z 1977 i zaleceń ICRP 1990 pub. 60

Współczynniki wagowe tkanek w_T

ORGAN	Zalecenia 1977 (ICRP Pub. 26)	ORGAN	Zalecenia 1990 (ICRP Pub. 60)
tarczycza, powierzchnia kości	0.03	skóra, powierzchnia kości	0.01
płuca, szpik kostny	0.12	pęcherz, piersi, wątroba, przetyk, tarczycza,	0.05
piersi	0.15	płuca, szpik kostny, jelito grube, żołądek	0.12
pozostałe	0.30	pozostałe	0.05
gonady	0.25		0.2

Porównanie zalecenia ICRP Pub. 23 z 1977 i zalecenia ICRP 1990 pub. 60

wycofano $500 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$ na pojedynczy organ ponieważ ograniczała go dawka graniczna efektów stochastycznych $= 20 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$
[$50 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$ w 1 roku]

roczne dawki graniczne dla soczewek oka

- narażeni zawodowo $150 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$
- ludność $15 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$

roczne dawki graniczne na skórę

- narażeni zawodowo $500 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$
- ludność $50 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$

dla ludności 10 razy mniejsze od dawek granicznych dla narażonych zawodowo? (czy nie powinien być jeden próg?)

Argumentacja ICRP: dawki graniczne dla ludności uwzględniają dzieci – większa promienio wrażliwość $\cong \times (2 \div 5)$
dłuższy czas ekspozycji ludności niż narażonych zawodowo $\times 2$

Dyrektywa Rady UE 2013/59/EURATOM

$20 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$, $100 \text{ mSv} \cdot 5 \text{ lat}^{-1}$ [max 50 mSv w 1 roku]

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

- ▶ Zalecenia ICRP z 1990 r, powtórzone w publikacji ICRP z 2007 r oraz wprowadzone do Dyrektywy Rady UE 2013/59/EURATOM, gdzie podtrzymano trzy kluczowe zasady ochrony radiologicznej, stosowane do wszystkich w/w warunków narażenia.

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 społeczne.

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

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

Począwszy od publikacji zaleceń z 1977 Pub. 26 zwrócono uwagę na fakt, że wdrożenie określonej technologii podlega procesowi **analizy kosztów i zysku** - oceny opłacalności dla określonej jednostki organizacyjnej lub społeczeństwa.

Podjęto próby stworzenia systemu optymalizacji w ochronie radiologicznej

Zalecenia z 1977 dotyczyły rutynowych prac ze źródłami promieniotwórczymi, a do czasu wprowadzenia nowych zaleceń w 1990 r podejmowano próby rozszerzenia systemu ochrony radiologicznej na inne rodzaje warunków narażenia:

- radon (bez określenia dawek granicznych)
- warunki dla usuwania odpadów promieniotwórczych (waste disposal) - przypadkowy charakter narażenia
- ochrona ludności w wyjątkowych warunkach narażenia (emergencies) – gdzie dawki graniczne nie mają zastosowania

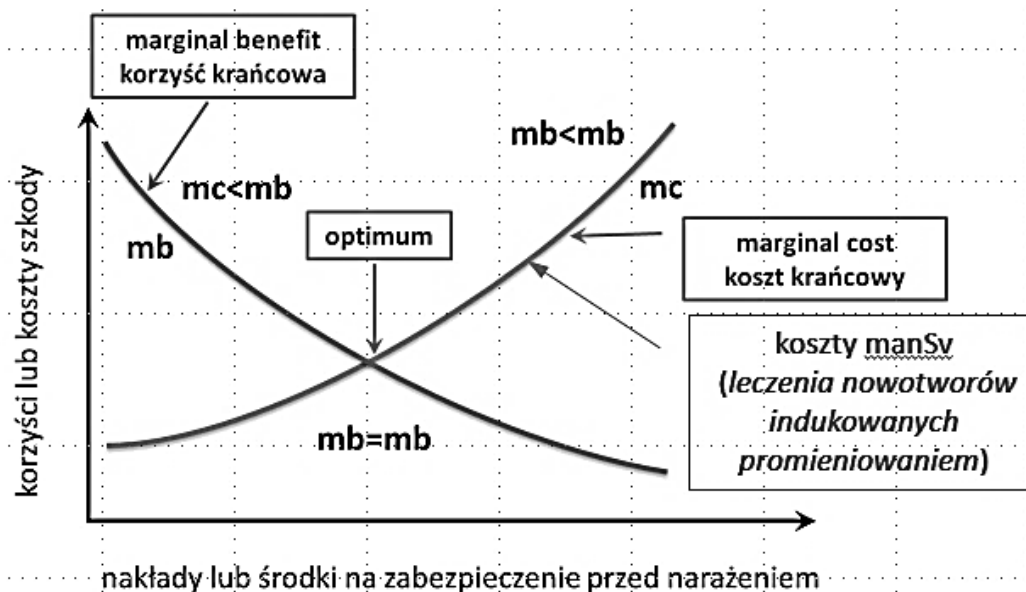
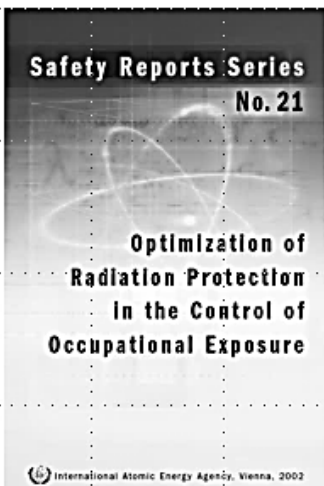
Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

Sformalizowany proces optymalizacji



francuski ekonomista
Jules Dupuit (1804-1866)



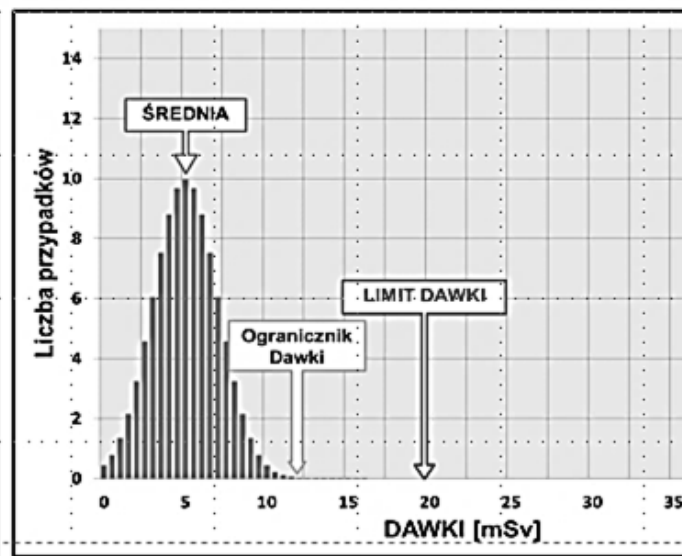
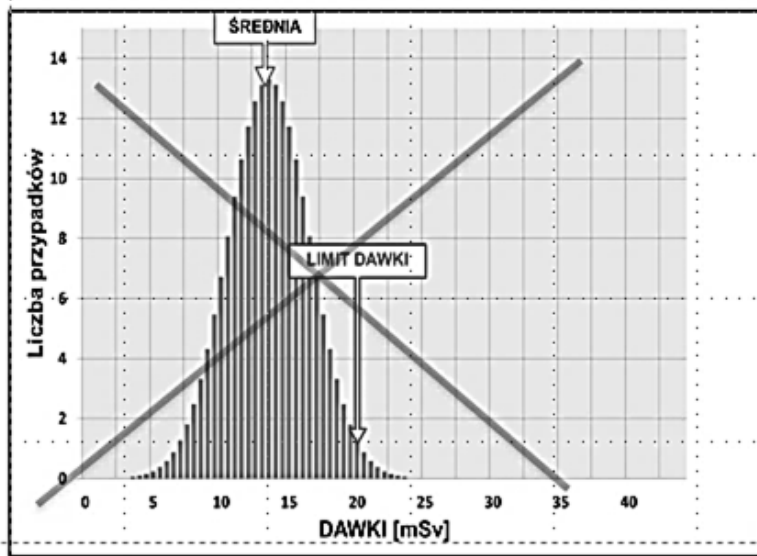
Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

- ▶ Zalecenia ICRP z 1990 r, powtórzone w publikacji ICRP z 2007 r oraz wprowadzone do Dyrektywy Rady UE 2013/59/EURATOM

Objaśnienie roli ogranicznika dawki w procesie optymalizacji

ogranicznik dawki gwarantuje że w procesie optymalizacji planowanych warunków narażenia nie tworzą się „niezgodności” (*inequities*), to znaczy nie zachodzą przypadki, że niektóre osoby w schemacie optymalizacji mogą być narażone na dawki znacznie przewyższające średnią bliskie lub przekraczające limit dawki

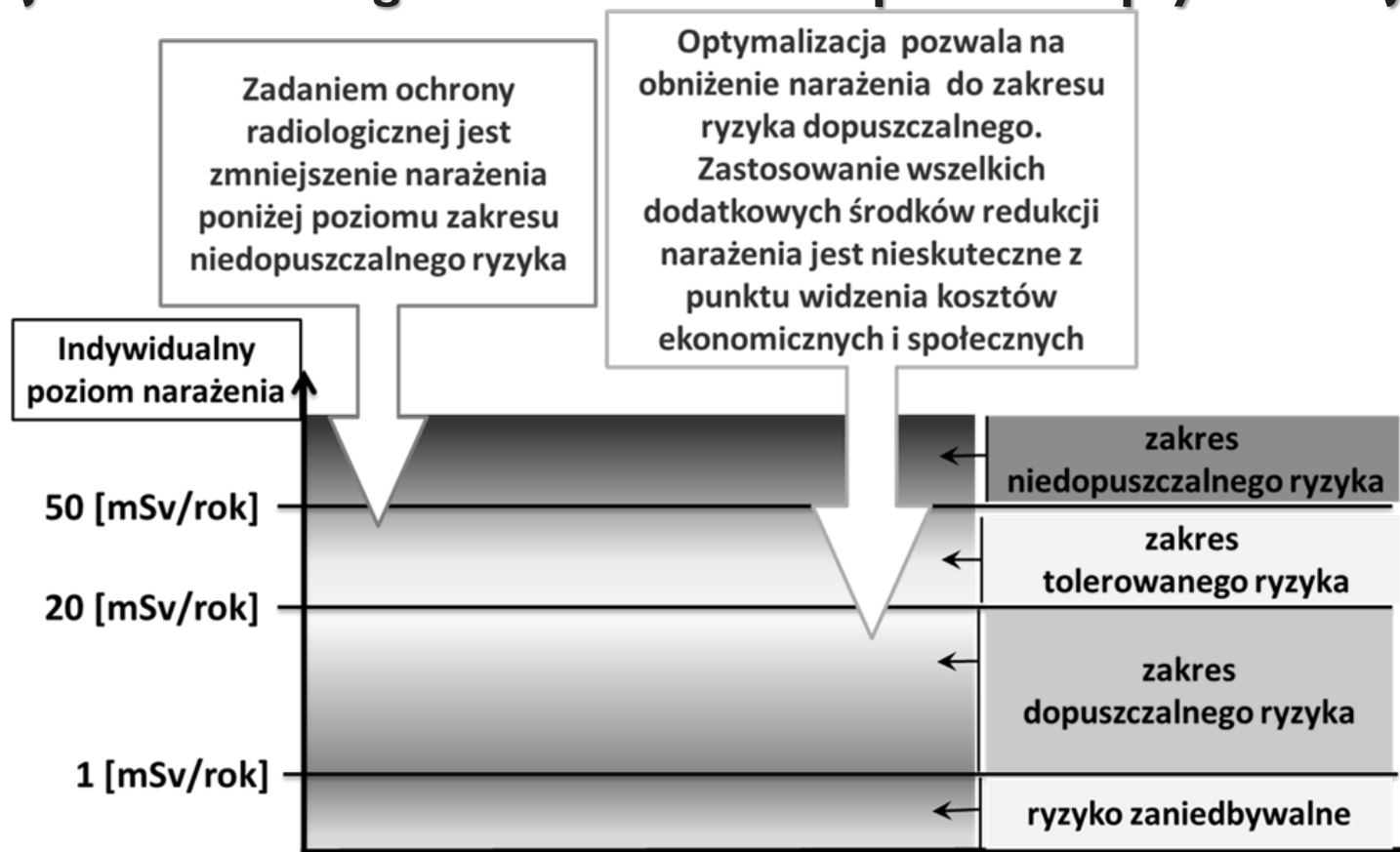


Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

- ▶ Zalecenia ICRP z 1990 r, powtórzone w publikacji ICRP z 2007 r oraz wprowadzone do Dyrektywy Rady UE 2013/59/EURATOM

Objaśnienie roli ogranicznika dawki w procesie optymalizacji



Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

Optymalizacja formie formalnej analizy finansowej kosztów i korzyści

Kraj	Rok przyjęcia	Zakres dawek indywidualnych [mSv]		Wartość pieniężna 1 man-sievert w walucie narodowej	W przeliczeniu na złotówki (1 \$ = 3.15 zł)
		od	do		
Belgia SCK-SCN	1995	<1 mSv		\$27 000	85 050 zł
		1.0 [mSv]	2.0 [mSv]	\$67 000	211 050 zł
		5.0 [mSv]	10.0 [mSv]	\$267 000	841 050 zł
		10.0 [mSv]	20.0 [mSv]	\$1 333 300	4 199 895 zł
		20.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$5 333 000	16 798 950 zł
France EDF (Electricite de France)	1993	1.0 [mSv]	5.0 [mSv]	\$17 000	53 550 zł
		5.0 [mSv]	15.0 [mSv]	\$83 000	261 450 zł
		15.0 [mSv]	30.0 [mSv]	\$1 117 000	3 518 550 zł
		30.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$2 500 000	7 875 000.00 zł
Germany Proposal of VGB under trial lineary	1996	1.0 [mSv]		\$0	0.00 zł
		1.0 [mSv]	10.0 [mSv]	\$170 000	535 500.00 zł
		10.0 [mSv]	20.0 [mSv]	\$1 665 000	5 244 750.00 zł
Netherlands	1995	1.0 [mSv]	15.0 [mSv]	\$500 000	1 575 000.00 zł
		15.0 [mSv]	50.0 [mSv]	1 000 000	3 150 000.00 zł
Spain	1994	1.0 [mSv]	3.0 [mSv]	\$667 000	2 101 050.00 zł
		3.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$1 000 000	3 150 000.00 zł
Sizewell UK	1995	1.0 [mSv]	5.0 [mSv]	\$17 000	53 550.00 zł
		5.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$85 000	267 750.00 zł
USA (NRC) South Texas	1995	1.0 [mSv]	10.0 [mSv]	\$500 000	1 575 000.00 zł
		10.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$25 000 000	78 750 000.00 zł
Polska	Wartości proponowane oszacowane CLOR 2014	1.0 [mSv]	5.0 [mSv]	\$17 000	50 000.00 zł
		5.0 [mSv]	15.0 [mSv]	\$83 000	260 000.00 zł
		15.0 [mSv]	20.0 [mSv]	\$1 117 000	3 500 000.00 zł
		20.0 [mSv]	50.0 [mSv]	\$2 500 000	7 800 000.00 zł

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

► Wyróżnienie wagi procesu optymalizacji

- **ZASADA OPTYMALIZACJI** (odnosi się do określonego źródła promieniowania)- postępowanie w celu:
 - ograniczenia wartości dawek indywidualnych,
 - zmniejszenia liczby narażonych ludzi jak również
 - prawdopodobieństwa potencjalnego narażenia na promieniowanie do 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 zaleceń ICRP 1977, 1990, 2007

- ▶ Zalecenia ICRP z 2007 r. -> Dyr. UE 2013/59/EURATOM -> Prawo Krajowe

ETAPY PROCESU OPTYMALIZACJI:

- ocena sytuacji narażenia uwzględniająca wszystkie potencjalne źródła narażenia
- wybór odpowiednich wartości dla ogranicznika dawki (dose constraint) lub poziomów odniesienia wyrażonych jako dawka skuteczna roczna
- Identyfikacja możliwych opcji ochrony
- Wybór najlepszej opcji w zakresie ustalonych warunków
- Implementacja wybranej opcji

sytuacje narażenia	kryterium optymalizacji	narażenia zawodowo	Ludność (grupa referencyjna)
planowane	ogranicznik dawki	$< 20 \text{ mSv}$	$< 1 \text{ mSv}$
wyjątkowe	poziom odniesienia	$< 100 \text{ mSv}$ $< 500 \text{ mSv!}$	$20(>) \div 100 \text{ mSv}$
istniejące	poziom odniesienia	$< 20 \text{ mSv}$	$1 \div 20 \text{ mSv}$
radon	średnie roczne stężenie	$< 300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	$< 300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

- ▶ Kontrowersje związane z procesem optymalizacji:
 - ▶ brak odpowiednich zaleceń i poradników jak ocenić poziom rozsądnie osiągalny czyli ustalić odpowiedni ogranicznik dawki z uwzględnieniem czynników ekonomicznych i socjalnych.
 - ▶ W ICRP pub. 103 (2007 r.) jak również w Dyrektywie Rady UE 2013/59/EURATOM ogranicznik dawki zyskał status limitu użytkowego ustalanego przez **organ nadzorczy**
 - ▶ Pomimo tego, że Komisja ICRP nie sugerowała formalnej analizy finansowej kosztów i korzyści na podstawie zbiorowego równoważnika dawki (collective dose equivalent) i nie zaleca tego podejścia jako rozstrzygającego, subiektywna ocena organu nadzorczego z pominięciem rachunków ekonomicznych może prowadzić do nadmiernych kosztów działalności ze źródłami promieniotwórczymi.

Ewolucja zaleceń ICRP

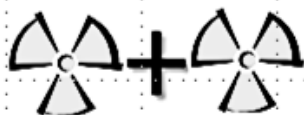
ICRP Pub. 60 (1990 r.)

- Kategoryzacja działalności ze źródłami promieniotwórczymi i podejmowanych środków ochrony na podstawie procesu postępowania

PROCESS-BASED PROTECTION APPROACH

■ działalność (practices)

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



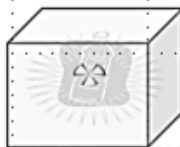
wewnętrzne inh.

zewnętrzne inh.



■ działania interwencyjne (interventions)

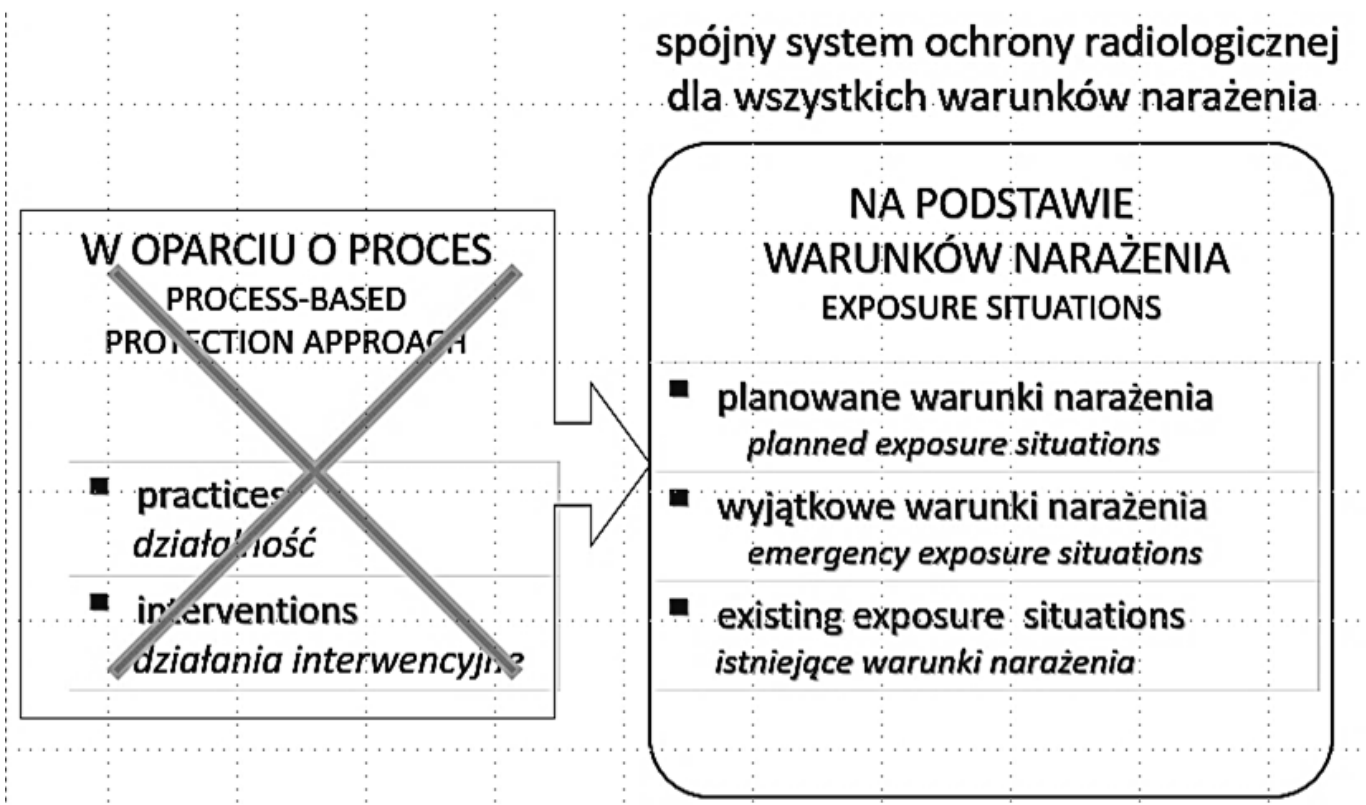
zmniejszenie potencjalnego narażenia przez usunięcie źródeł, dróg narażenia i/lub zmniejszenie liczby narażonych osób



Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

- Kategoryzacja działalności ze źródłami promieniotwórczymi i podejmowanych środków ochrony na podstawie warunków narażenia



Ewolucja zaleceń ICRP

ICRP Pub. 103 (2007 r.)

Trzy rodzaje warunków narażenia obejmujące cały zakres możliwych scenariuszy narażenia:

- 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)**

Na podstawie Dziennika Urzędowego Unii Europejskiej L 13/1(wydanie polskie)

Jubileuszowa Sesja Naukowa PTBR, Warszawa 29 czerwca 2017 r.

Dyrektywa Rady UE 2013/59/EURATOM

Zalecenia ICRP z 2007 r. -> Dyr. UE 2013/59/EURATOM -> Prawo Krajowe

■ Wspólne i jednolite normy bezpieczeństwa dotyczące promieniowania jonizującego, obejmujące:

- wszystkie rodzaje źródeł promieniowania łącznie z tzw. naturalnymi
- wszystkie sytuacje narażenia:
 - planowanego,
 - istniejącego oraz
 - wyjątkowego
- wszystkich potencjalnie narażonych na promieniowanie jonizujące tzn.:
 - pracowników narażonych zawodowo (w tym również załogi samolotów pasażerskich),
 - przedstawicieli ludności,
 - pacjentów poddanych medycznej procedurze radiologicznej,
 - jak również środowisko, gdzie przez środowisko rozumie się rozmaite gatunki roślin i zwierząt.

Dyrektywa Rady UE 2013/59/EURATOM

Zalecenia ICRP z 2007 r. → Dyr. UE 2013/59/EURATOM → Prawo Krajowe

Istniejące warunki narażenia		
Warunki narażenia	Zalecenia 1990 (ICRP Pub. 60)	Zalecenia 2007 (ICRP pub. 101)
	Poziomy interwencyjne	Poziomy odniesienia
Radon (65)		
- w domach	3-10 mSv/rok (200-600 Bq m ⁻³)	<10 mSv/rok (300 Bq m ⁻³)
-w miejscach pracy	3-10 mSv/rok (500-1500 Bq m ⁻³)	10 mSv/rok (1000 Bq m ⁻³)

W oparciu o „Lung cancer risks from indoor exposures to radon daughters, ICRP Publication 50, Ann. ICRP 17, 1987”

współczynnik $20 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \cdot \text{rok}^{-1} \sim 1 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$

Stworzenie odpowiedniego systemu krajowego ograniczenia dawek od radonu.

Hormeza radiacyjna jako czynnik weryfikujący normy ochrony radiologicznej

Inicjatywa Stowarzyszenie Naukowców dla
Rzetelnej Informacji o Promieniowaniu
(Scientists for Accurate Radiation Information- SARI)

S.A.R.I. Scientists for Accurate
Radiation Information
Effects of Radiation, the Truth Behind the Myths

- ▶ Ryzyko zachorowań na raka dla napromieniowań sporadycznych wzrasta powyżej dawki $> 0,75 \text{ Gy}$ (Rys. 1)

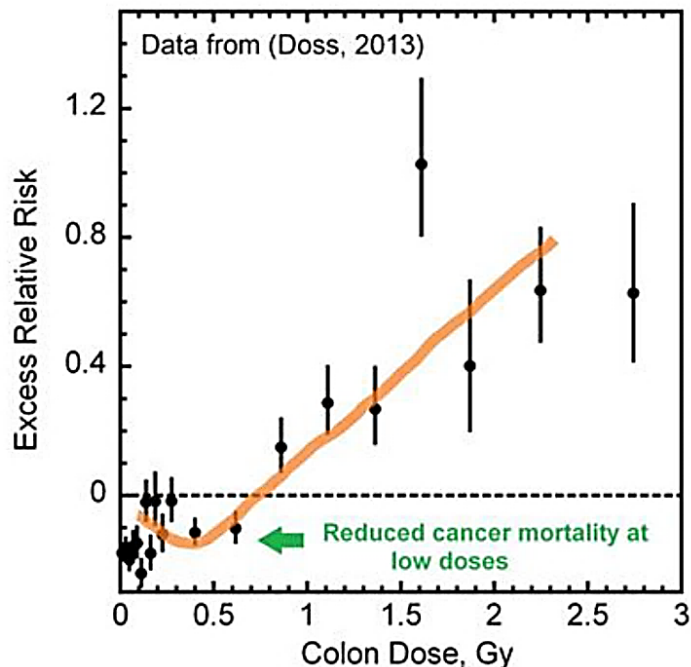
Przy współczynniku bezpieczeństwa 5,

ograniczenie dla sporadycznych napromieniowań $0,15 \text{ Gy}$ (limit ??)

- ▶ Ryzyko zachorowań na raka dla napromieniowań rozciągniętych w czasie - dawka w ciągu 5 tygodni $1,5 \text{ Gy}$ ma efekt terapeutyczny
- ▶ Dawka $> 2 \text{ Gy}$ / 5 tygodni - potencjalne ryzyko zachorowań na białaczkę
 - ▶ Przy współczynniku bezpieczeństwa 5, ograniczenie dla napromieniowań rozciągniętych $0,4 \text{ Gy} / 5 \text{ tygodni}$, 4 Gy rok^{-1}

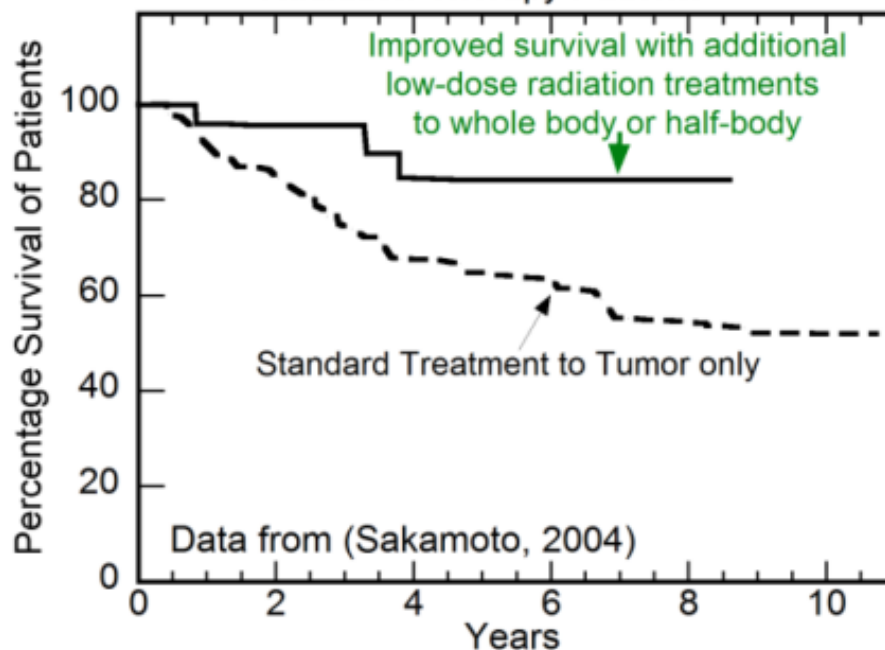
Hormeza radiacyjna jako czynnik weryfikujący normy ochrony radiologicznej

Atomic Bomb Survivor Solid Cancer Mortality (Ozasa, 2012)
Corrected for -20% assumed bias in baseline cancer mortality rate



Umieralność na raka w kohorcie ABS wg pracy Ozasa i wsp. 2012, z przyjęciem jako zero poziomu ekstrapolowanego z umieralności przy niskich dawkach,

Non-Hodgkin's Lymphoma
Radiation Therapy Patients

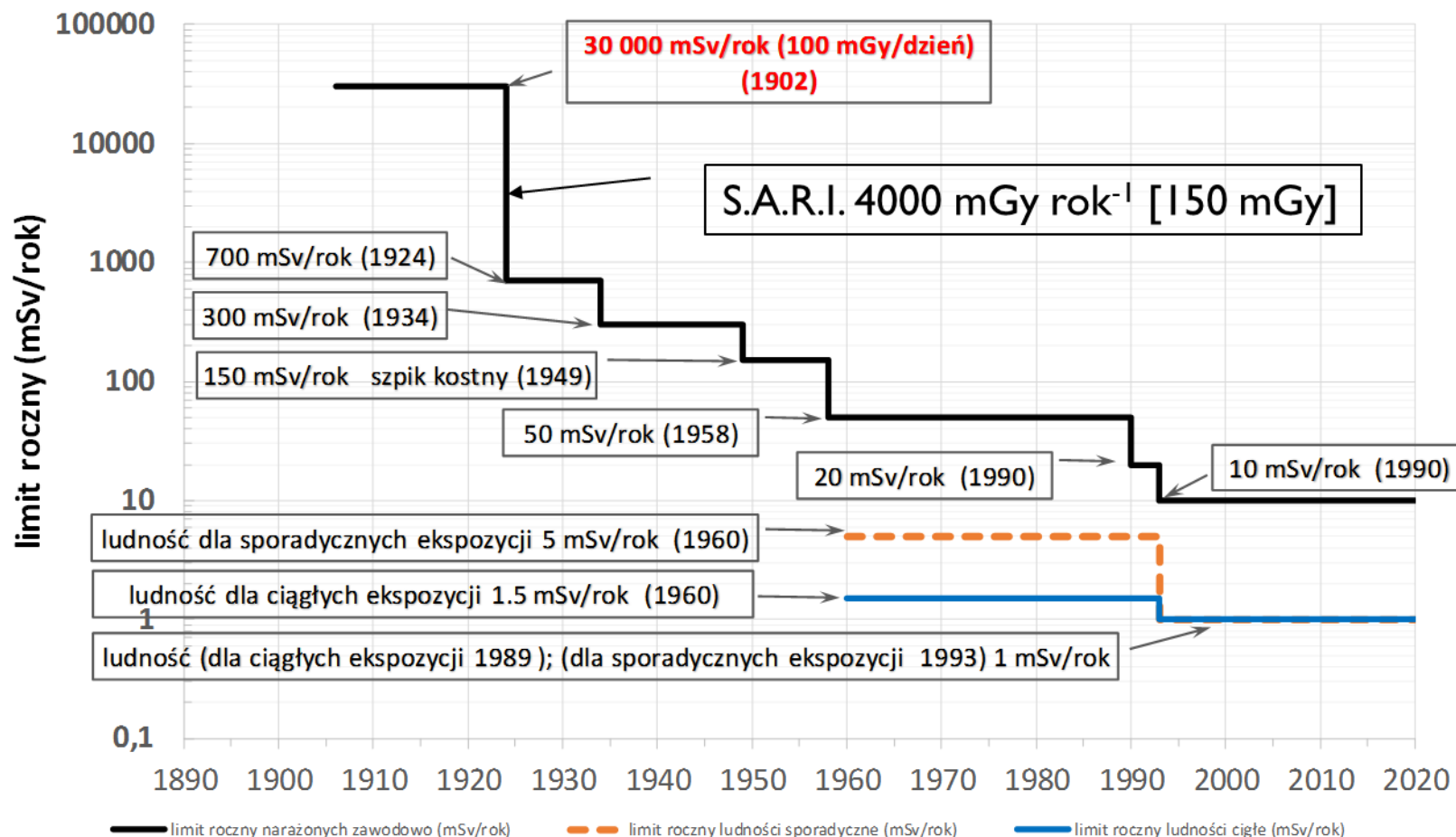


Zwiększona przeżywalność chorych z chłoniakiem nieziarniczym (non-Hodgkin lymphoma), poddanych standardowej radioterapii po dodatkowych ekspozycjach całego lub połowy ciała na niskie dawki promieniowania (dane z pracy Sakamoto 2004)

Podsumowanie

historia limitów dawek (graficznie)

Limity dawek (narażeni zawodowo i ludność) w okresie ubiegłego wieku
(przeliczone na obecnie obowiązujące jednostki mSv/rok)



Podsumowanie

- ▶ Pierwsze limity dawek były tak ustalane, aby zapobiec pojawiającym się licznym wypadkom widocznych efektów promieniowania, jak np. zaczerwienienie skóry po silnych ekspozycjach w więzce promieniowania, później limity ustalano w celu zapobieżeniu późnym skutkom pojawienia się raka, obserwowanego w populacjach ludności, które otrzymały wysokie dawki szczególnie przy ekspozycjach medycznych i wybuchach bomb atomowych w Hieroshimie i Nagassaki.
- ▶ Zmiany limitów dawek jak również zasad ochrony radiologicznej następowały w wyniku dwóch czynników:
 - ▶ i) nowych informacji o skutkach oddziaływania promieniowania żywą materią
 - ▶ ii) oraz zmianą nastawienia społecznego na akceptowalne ryzyko, a w szczególności kierowanie się zasadą przezorności

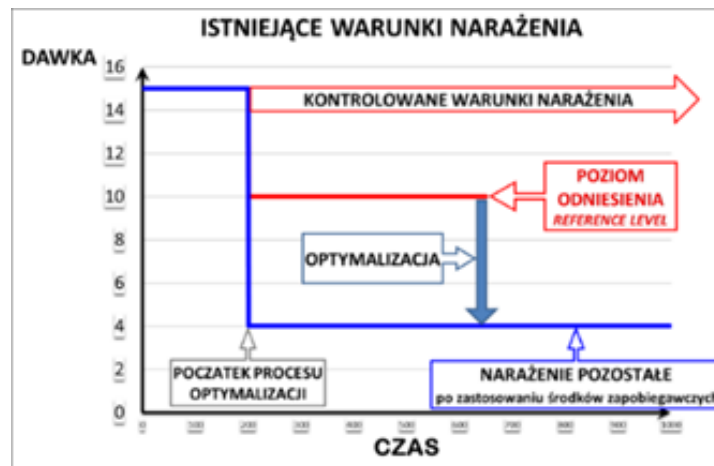
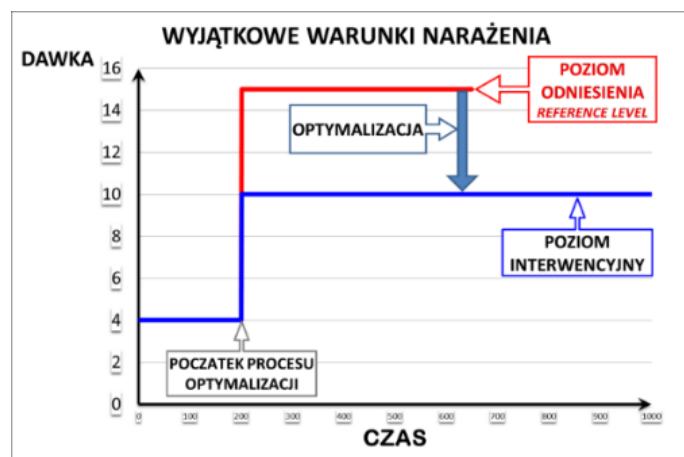
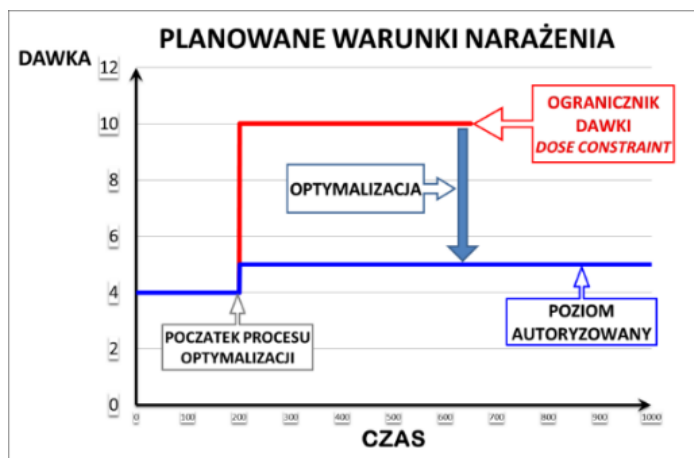


Podsumowanie

- ▶ Od 2018 r. będą obowiązywać nowe przepisy Ochrony Radiologicznej wprowadzone obligatoryjną dla państw członkowskich **DYREKTYWĄ RADY UE 2013/59/EURATOM**
- ▶ **DYREKTYWA RADY UE 2013/59/EURATOM** ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego
 - ▶ będzie wymagała radykalnych zmian w ustawach oraz wykonawczych przepisach krajowych, ze względu na zaostrzony wymóg optymalizacji dawek dla wszystkich warunków narażenia
 - ▶ wprowadza nowe trudności interpretacyjne limitów dawek:
 - ▶ ogranicznik dawki (dose constraint),
 - ▶ poziomy pochodne (reference levels)
 - ▶ kosztowne limity stężeń radonu w mieszkaniach i miejscach pracy
 - ▶ kontrolę narażenia zawodowego załóg lotniczych
- ▶ Przepisy te raczej będą utrzymywać radiofobię, której skutkiem były np.. szkody gospodarcze i która doprowadziła do wielu niepotrzebnych cierpień i zgonów spowodowanych przez wymuszone ewakuacje ludności po awariach reaktorowych w Czarnoblu i Fukushima

Podsumowanie

Zalecenia ICRP z 2007 r. → Dyr. UE 2013/59/EURATOM → Prawo Krajowe



Referencje

- ▶ William C. Inkret, Charles B. Meinhold, and John C. Taschner, Protection of Standards, Radiation and Risk- A Hard Look at the Data, *Los Alamos Science Number 23* 1995
- ▶ Roger H. Clarke, Changes in underlying science and protection policy, *Radiological Protection 201, OECD 20111, NEA No. 6920*
- ▶ Radiation Hormesis Should be the Basis for Establishing Radiation Protection Standards - Comments to EPA - 5/14/2017, SARI (Scientists for Accurate Radiation Information, <http://radiationeffects.org/>)
- ▶ Mohan Doss, PhD, MCCPM, Fox Chase Cancer Center, Philadelphia, PA (mohan.doss@fccc.edu)
- ▶ Joseph John Bevelacqua, PhD, CHP, RRPT, Bevelacqua Resources, Richland, WA
- ▶ Jeffrey Mahn, MS, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (Retired)
- ▶ Scott Dube, MS, Morton Plant Hospital, Clearwater, FL-7-
- ▶ Andrzej Strupczewski, DSc, National Centre for Nuclear Research, Poland
- ▶ Madhava Bhat, PhD, Chief Physicist, Adelaide Radiotherapy Centre, Adelaide, Australia
- ▶ Michael PR Waligorski, PhD, DSc, Institute of Nuclear Physics and Centre of Oncology, Krakow, Poland
- ▶ Charles W. Pennington, MS, MBA, Executive Nuclear Energy Consultant, Alpharetta, GA
- ▶ Ludwik Dobrzynski, DSc, National Centre for Nuclear Research, Poland
- ▶ Shizuyo Sutou, PhD, Professor emeritus, Shujitsu University, Okayama, Japan
- ▶ Vincent J. Esposito, ScD, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA



**Jubileuszowa Sesja Naukowa Polskiego
Towarzystwa Badań Radiacyjnych im.
Marii Skłodowskiej-Curie
„Promieniowanie w nauce, technologii,
medycynie i środowisku naturalnym”**



Dziękuję z uwagą

Przegląd zasad ochrony radiologicznej w latach 1977-2017

Paweł Krajewski
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
www.clor.waw.pl