

# Vývoj radiační ochrany

**Seminář ČSOZ 4.10.2023**

**Irena Malátová**

Vývoj radiační ochrany závisí na stinné stránce vývoji objevů a vynálezů ve vědě a technice, projevující se v poškození lidského zdraví. Posláním radiační ochrany je pokud možno zabránit těmto nepříznivým vlivům.

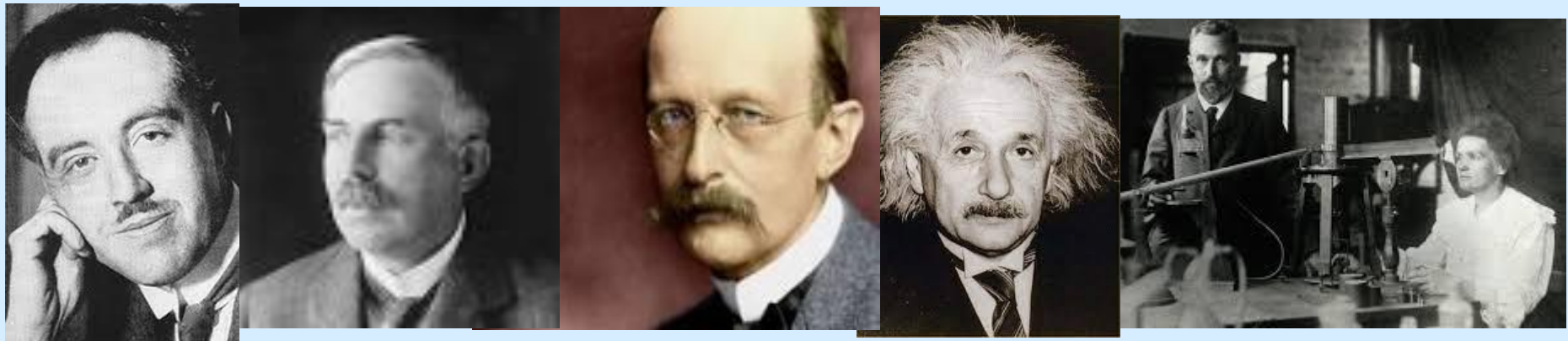
# Období před r. 1895

- Nebylo známo, že existuje ionizující záření
- V Krušných horách známá nemoc u horníků stříbrných dolů – „Bergsucht“ (Jáchymovská nemoc)
- Lékař Georg Bauer ( 1494 – 1555) , známý pod jménem Agricola doporučuje větrání dolů a roušky s jemnou sítí
- Šlo o první intuitivní doporučení z radiační ochrany



# Období 1895 – 1914

Velké objevy v experimentální i teoretické fyzice a v chemii



# Objev paprsků X a jejich využití a první doporučení k ochraně před ionizujícím zářením

1895 – W.C. Roentgen objevil paprsky X

v krátké době pozorovány účinky na kůži a podráždění očí

1896 - zformulována doporučení na ochranu při použití roentgenu (W.Fuchs)

- Zkrátit expozici co nejvíce
- Neumísťovat rentgenovou lampu blíže k tělu než 30 cm
- Ruce krýt ochrannou vrstvou (vazelína apod.)

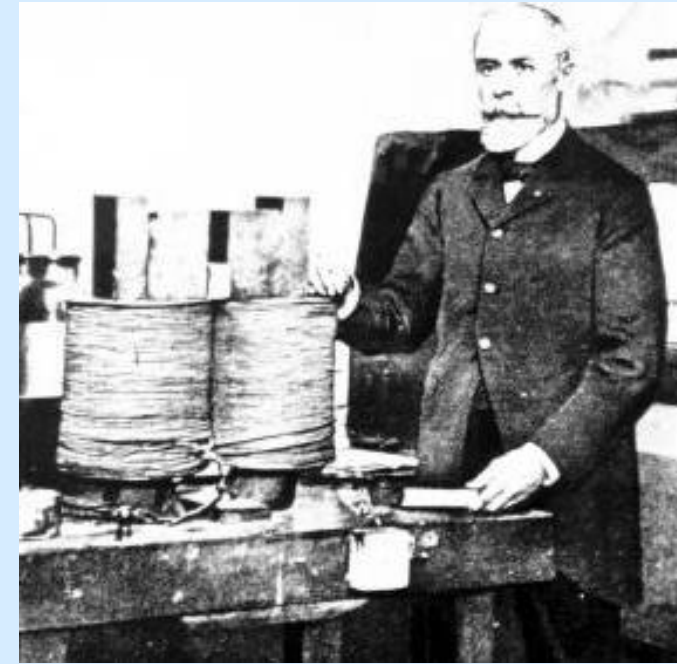
1897 – Winston Churchill (válečný zpravodaj v Indii) – zmínka o použití rentgenu v mobilní jednotce

1898 – Hliníkové filtry v primárním svazku, olověný kryt rentgenky, kolimátory



# Objev přírodní radioaktivity

- 1896 – Henry Becquerel objevil neznámé paprsky
- 1898 – Marie a Pierre Curie objev radia a polonia, popsána přírodní radioaktivita
- **Výskyt radiační dermatitidy**
- **Zjištěno, že radioaktivní paprsky mohou likvidovat rakovinnou tkáň**
- **Nezdokumentované výskyty leukémie, rakoviny – podezření, že jsou způsobeny ionizujícím zářením**
- Kromě využití radia v medicíně začíná éra zneužívání radia ve všech možných výrobcích.



## Období 1915 – 1939

Charakterizováno rozšířeným, ale nedbalým použitím a někdy i zneužitím ionizujícího záření. Vznik organizací radiační ochrany (vznik předchůdců ICRU, ICRP)



# Použití $^{226}\text{Ra}$ v luminiscenčních barvách rozšířilo se zejména za 1.světové války

- Velmi vážná poškození kostí, i fatální případy. V kostech zemřelých nalezeno 2 až  $180\mu\text{g}$   $^{226}\text{Ra}$ , akutní nebo subakutní poškození čelisti
- Odhady – při 1 číselníku zašpičatovaly ústy za 6 měsíců mohlo dojít k ingesci asi  $4000\mu\text{g}$   $^{226}\text{Ra}$  - **(odpovídá asi 41 Sv)** ( praxe zašpičatování ústy již v r. 1926)
- Mnoho osob se dožilo vysokého věku bez zdravotních následků





# Neoprávněné použití radia v medicíně a v předmětech denní spotřeby

- V letech 1914 – 1932 – použití Ra na vše, na co nebyly známy léky (léčeny tisíce pacientů např. na dnu, artritidu, rakovinu, leukemii, kostní tbc)
- Dokumentován 1 lékař v Chicagu: obvykle aplikoval 1 x týdně 10μCi <sup>226</sup>Ra po celý rok (odpovídá asi 5,4Sv)
- Radiothor – směs 1 μCi <sup>226</sup>Ra a 1 μCi <sup>228</sup>Ra ve 2 ml vody – prodáváno v kartonech, mělo podporovat zdraví – dokonce i po zlomeninách, fatální následky

12 New York Tribune November 10, 1918

## Radium and Beauty

HERE are the first toilet preparations to embody Actual Radium, an astonishing new force for betterment, applied as an aid to Beauty. Learn how the amazing Energy of Radium has proved a boon to the human skin. Learn what Radium actually means to Beauty and how its power is employed in "Rador" Preparations. Study our \$5,000 guarantee. Then turn to "Rador" Toilet Requisites. When you have used, enjoyed and tested them you will adopt them as your own first aid to Beauty.

**PREHISTORIC** woman first discovered her design in some quiet jungle pool. Ever since Beauty has straggled the world's attention.

Radium, though new to the world is no less of a beauty force. Its source has been found and harnessed to all.

Who would have imagined that these two subjects would ever go hand in hand? Yes, in Radium Science has discovered a certain Beauty force in Radium activity. Any number of them are in our public domain. They will show you that Radium possesses an enormous power for human betterment.

The latest particle of Radium throws off a continuous stream of Energy Rays. As Energy rays are emitted every minute, day or night, year in, year out. A Radium atom never wears out and never loses its power.

These Radium Rays are particularly valuable in their effect upon the human skin. Dr. Linn Wilham and Dr. Dugan, specialists in the skin, found that the Radium element of the human body was the same as that of the skin. This discovery has divided this disease.

Each and every "Rador" Beauty Aid is the formula of a famous Parisian cosmetician. Radium, with its power of Actual Radium, the highest form of Beauty Culture is needed.

Every "Rador" Beauty Aid is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Face Powder is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Toilet Requisites are made with the highest quality of ingredients.

When in this perfection, as toilet preparations, it adds the power of Actual Radium, the highest form of Beauty Culture is needed.

Every "Rador" Beauty Aid is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Face Powder is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Toilet Requisites are made with the highest quality of ingredients.

This wonderful force for betterment has now been included in "Rador" Toilet Requisites, thus placing the power of Radium at the service of every woman who uses a face cream or "Rador" Toilet Requisites, and delightfully daily and distinctively. They have an exquisite and exclusive fragrance all their own, a perfume not to be met in any market. They are the first and only preparations for the toilet to contain Actual Radium—Radium's greatest aid to Beauty.

Every "Rador" Preparation is guaranteed, under \$5,000, to make a definite, desirable amount of Actual Radium, and to retain its Radio-activity for at least twelve years. Our Guarantee stands.

Every "Rador" Preparation is a good, useful, and beautiful. They are used by noted women of this and fashion. They are the new way to the toilet.

We present them in the United States as the greatest beauty ever offered to those who value perfection of complexion, youthful beauty, a healthy skin and beautiful hair.

Each and every "Rador" Beauty Aid is the formula of a famous Parisian cosmetician. Radium, with its power of Actual Radium, the highest form of Beauty Culture is needed.

Every "Rador" Beauty Aid is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Face Powder is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Toilet Requisites are made with the highest quality of ingredients.

When in this perfection, as toilet preparations, it adds the power of Actual Radium, the highest form of Beauty Culture is needed.

Every "Rador" Beauty Aid is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Face Powder is made with the highest quality of ingredients. The "Rador" Toilet Requisites are made with the highest quality of ingredients.

This wonderful force for betterment has now been included in "Rador" Toilet Requisites, thus placing the power of Radium at the service of every woman who uses a face cream or "Rador" Toilet Requisites, and delightfully daily and distinctively. They have an exquisite and exclusive fragrance all their own, a perfume not to be met in any market. They are the first and only preparations for the toilet to contain Actual Radium—Radium's greatest aid to Beauty.

Write Today for This Vitaly Interesting Booklet

This is probably the most revolutionary booklet in the subject of Beauty ever published. You who have imagined that all had been done, Beauty will find in this booklet all of the "new knowledge" involved in the subject of "Radium and Beauty."

The booklet is written from the book "Radium—Its Discovery and Power" by U. S. Army, one hundred and twenty thousand copies of which have been distributed in England. It is a new work, not merely before our first edition is re-issued, and will supply you.

**RADIOR TOILET REQUISITES**  
CONTAINABLE AT  
Leading Department Stores of  
New York, Brooklyn and Newark  
and  
Liggett's Drug Stores

Sole Manufacturers  
**Rador Co., Ltd., of London**  
235 Fifth Avenue, New York 187 Oxford St., London, W. 1.  
If your Dealer cannot supply you communicate with us.

1 Face Cream, 4oz.	\$2
1 Face Cream, 2oz.	\$1
1 Face Powder, 4oz.	\$1
1 Face Powder, 2oz.	\$1
1 Soap, 4oz.	\$1
1 Soap, 2oz.	\$1
1 Cream, 4oz.	\$1
1 Cream, 2oz.	\$1
1 Lotion, 4oz.	\$1
1 Lotion, 2oz.	\$1
1 Hair Oil, 4oz.	\$1
1 Hair Oil, 2oz.	\$1
1 Hair Cream, 4oz.	\$1
1 Hair Cream, 2oz.	\$1
1 Hair Lotion, 4oz.	\$1
1 Hair Lotion, 2oz.	\$1
1 Hair Shampoo, 4oz.	\$1
1 Hair Shampoo, 2oz.	\$1



## RADIUM EMANATION WATER

### Drives Out Uric Acid

Suffering from too much uric acid and diseases caused by faulty elimination—Rheumatism, Gout, Periodical Headaches, Neuralgia, Constipation, Neurasthenia, Auto-intoxication and Lack of Bodily Vigor—quickly relieved in a natural way without drugs or chemicals by our new discovery

**THE WAY TO MAKE RADIUM WATER IN YOUR OWN HOME**

with our Rayode. A little device containing Radium enough to supply 2,700 Mache Units of Radio-activity, in two quarts of water every twenty-four hours, for less than 10c a day. The Rayode will last a lifetime.

**SEND FOR FREE LITERATURE**

Tell how you can buy or rent a Rayode to make Radium Water in your own home, with your own ordinary drinking water. Address:

**THE COLORADO RADIUM PRODUCTS COMPANY**  
535 First National Bank Building Denver, Colo

## Další použití radioaktivních látek v medicíně v letech 1920 - 1950

Thorotrast – kontrastní látka pro rentgenové vyšetření, stabilizovaný 25% koloidní roztok kysličníku thoričitého  $\text{ThO}_2$ .

- Vynikající vlastnosti k zobrazení (vysoké Z), nezpůsobil alergické reakce. Celkový počet aplikací ve světě asi 1 milión (Evropa, USA, Japonsko)
- Zdravotní následky – zvýšený počet rakovin jater, leukémií, neprokázány osteosarkomy – epidemiologické studie do nedávné doby

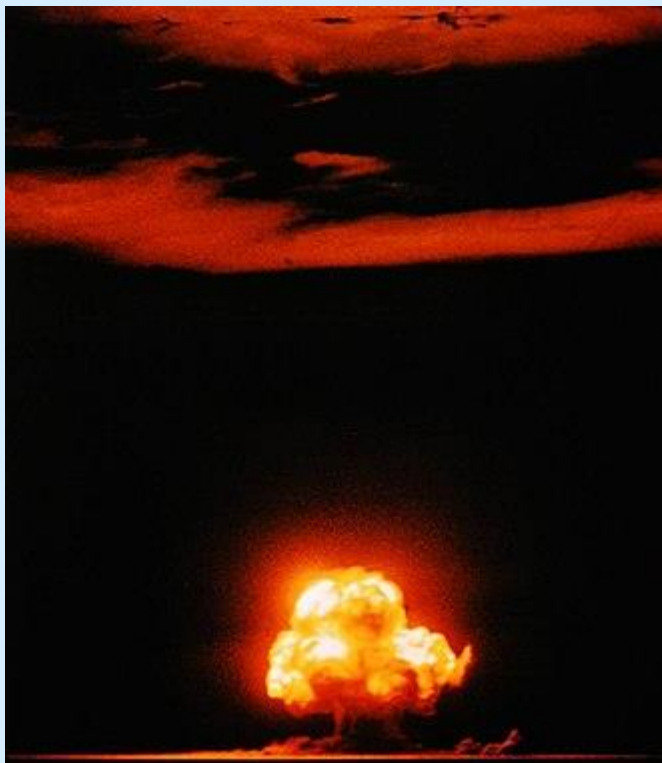
$^{224}\text{Ra}$  (Poločas  $T_{1/2} = 3,64$  dne) - opakované aplikace používány zejména v Německu k léčbě Bechtěrevovy choroby aj., také u dětí k léčbě kostní tuberkulózy (Spiess – výskyt osteosarkomů). Výskyt osteosarkomů vyšší než při stejné průměrné dávce na kost z  $^{226}\text{Ra}$ ! Sledován větší počet případů v epidemiologické studii

# Opatření k ochraně před zářením

- 1925 „toleranční dávka“ – **dávka, kterou může člověk tolerovat, aniž by utrpěl poškození** 1/100 erytémové kožní dávky za 30 dní tj. asi 0,2 R denně - navrhl Arnold Mutscheller, USA, totéž ve Švédsku (R.Sievert).
- 1927 Holandsko toleranční dávka 15 R ročně
- 1931 USA Národní komise radiační ochrany (NCRP) 0,2R/d
- 1932 – G.Failla doporučuje limit pro celé tělo 0,1R/d a pro prsty 5R/d
- 1934 – totéž zavádí NCRP USA
- 1934 - více než 200 radiologů zemřelo na rakovinu



# Období 1940 - 1949



Tato doba je charakterizována úsilím o výrobu a použití jaderné bomby. O biologických účincích panoval názor, že jsou deterministické povahy a že riziko a poškození existuje pouze tehdy, když dávka záření překročí určité prahové hodnoty



# Stanovení prvních limitů pro vnitřní kontaminaci

- začátkem 2.světové války se velmi zvýšila výroba číselníků pro zbraňové systémy (letadla , tanky atd),pro pracovníky s luminiscenčními barvami musel být stanoven limit
- tím pověřen r. 1940 R.D. Evans - přístup obdobný toleranční dávce
- podle tehdy dostupných údajů se nevyskytovaly zdravotní následky u osob, u nichž byl „ body burden“ pod  $0.5\mu\text{Ci } ^{226}\text{Ra}$ , z toho odvodili bezpečnou hranici  $0.1\mu\text{Ci (3.7kBq)}$  (MPBB – maximum permissible body burden), podle dnešních znalostí by to zhruba odpovídalo dennímu příjmu  $550\text{Bq}$ , tj. asi  $46\text{mSv}$
- Ostatní bone – seeking radionuklidy (předmětem zájmu zejména plutonium – šlo o výrobu atomové bomby) limitovány srovnáním efektů (zejména vznik osteosarkomů) s  $^{226}\text{Ra}$  u pokusných zvířat (používání zejména psi druhu beagle



- Radiační ochrana se po válce principiálně změnila. Před válkou byla hlavním cílem ochrana lékařů a sester a pacientů před škodlivými účinky rentgenových paprsků a radia. Výbory , ustavené pro ochranu před zářením, sestávaly z lékařů a fyziků se zkušeností z medicínského použití záření.
- Po válce a se začátkem studené války byly nové zúčastněné strany -vědci, inženýři, dělníci ale i obyvatelstvo. Vládní zdroje na ochranu před zářením byly mohutnější, ale šíření znalostí bylo omezeno, mnohdy zcela tajné.
- V USA již v projektu Manhattan vymyšlen název pro radiační ochranu kvůli utajení Health Physics, používá se dodnes
- Po válce se rekonstruuje ICRU a ICRP

# Opatření k ochraně před zářením

- 1941 - nejvyšší přípustně depo  $^{226}\text{Ra}$  v těle  $0,1\mu\text{g}$  (asi  $46\text{mSv}$ )
- 1950 –  $0,3$  rem týdně na celé tělo
- 1956 – 58 ICRP doporučuje snížení limitu pro celé tělo a gonády na  $5$  rem ročně,  $0,5$  rem pro obyvatele



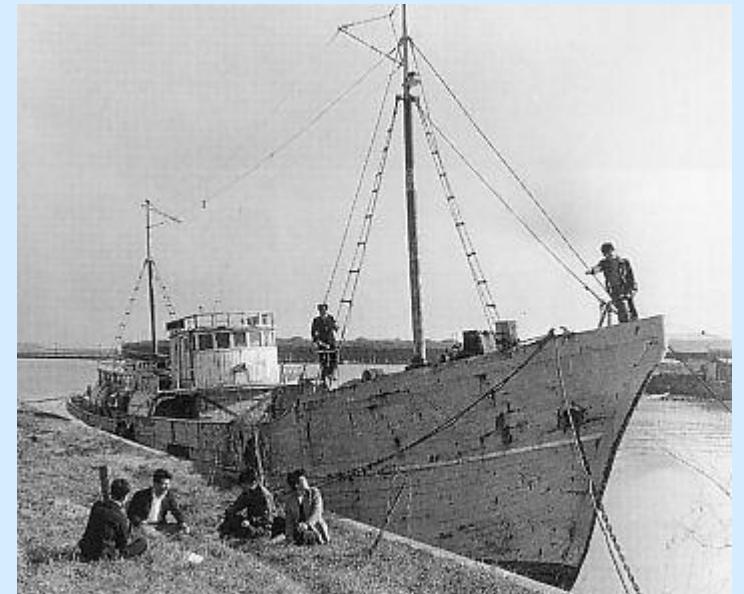
# Období 1950 - 1956



V tomto období změnila  
studená válka  
pozornost veřejnosti k  
důsledkům velkých zkoušek  
jaderných zbraní

The [mushroom cloud](#) from the [Castle Bravo thermonuclear weapon](#) test in 1954, the largest nuclear weapons test ever conducted by the [United States](#)

Castle Bravo – důsledky největší jaderné zkoušky USA na Marshallových ostrovech – zasažení japonské rybářské lodi spadem, u posádky se projevil radiální popáleniny a nemoc z ozáření  
Zasaženy též některé obydlené ostrovy, domorodci přesídleni.



# Hereditární účinky

- Pokusy s drozofilou (pravděpodobně 1927 Muller, 1929 Hanson – Winkelman) nejen viditelné mutace, ale i sterilita a genetické mutace
- Od té doby velký důraz na hereditární účinky a z toho plynoucí, důraz na gonádovou dávku (v některých publikacích a přístupech do dnešní doby)
- Obavy japonské populace po výbuších atomových bomb v Hirošimě a Nagasaki – přeživší „hibakuša“ tento fakt utajovali, protože jejich potomci byli považováni za geneticky poškození. Strach z publicity rovněž u rybářů, zasažených spadem z Castle Bravo
- Až v posledních desetiletích se tento účinek na základě humánních epidemiologických studií ukázal mnohem menší (ICRP 103), z toho plynoucí změna tkáňových dávkových faktorů

1952 - společná schůze ICRP, ICRU a společný výbor pro Radiobiologii při UNESCO ve Stockholmu (setkání mj. Harolda Graye a Rolfa Sieverta)

- hlavní bod diskuse přípustná dávka z hlediska genetiky a užitečnost sledování krevního obrazu za normálních pracovních podmínek
- genetik Hermann Muller doporučoval limit per caput dávku na gonády méně než 20 R přes všechny reprodukční roky
- 1953- doporučení udržovat veškeré dávky ionizujícího záření na nejnižší možné úrovni

- Po celém světě byl měřitelný spad ze zkoušek jaderných zbraní
- 1955 Ženeva, mezinárodní konference OSN o mírovém využití jaderné energie
- 1956 – C.E.Miller a L.Marinelli změřili obsah  $^{137}\text{Cs}$  v lidské těle u obyvatel Chicaga
- 1956 – založen UNSCEAR (Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření)
- Objeveno zvýšené přírodní ozáření v některých budovách (Hultquist 1956)

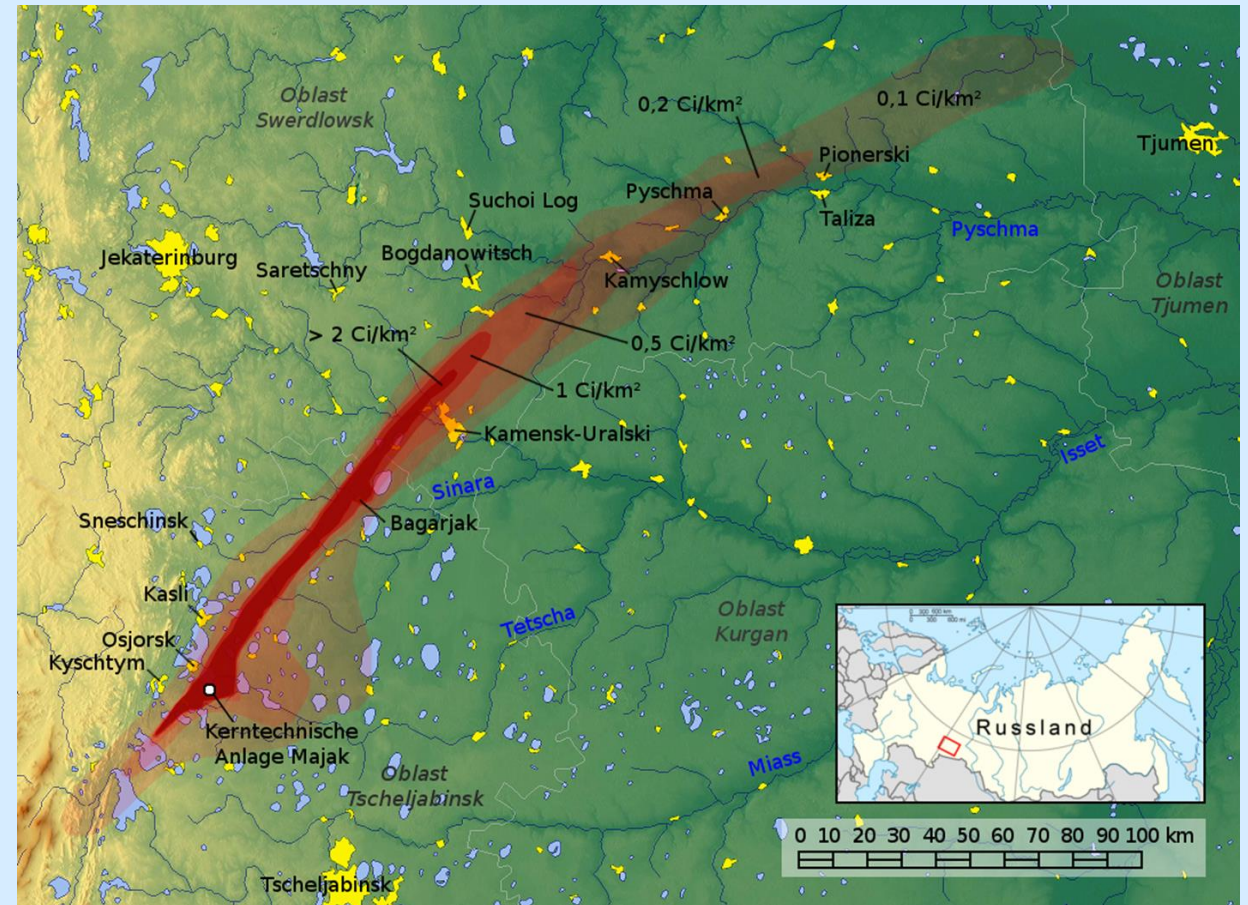


- Odhady „GSD“ – geneticky signifikantní dávky – první překonání přístupu k omezení deterministickými efekty a existenci prahové dávky
- Potvrzen výskyt leukémie u dětí ozářených in utero
- Výskyt leukémie u přeživších v Hirošimě a Nagasaki (za 2 až 10 let)
- Zjištění, že leukémie i hereditární účinky mají pravděpodobně stochastickou povahu

# Období 1957 – 1965

rozvoj jaderného průmyslu, velkých zkoušek jaderných zbraní a prvních havárií

- 1957 – požár grafitového reaktoru ve Windscale únik radionuklidů, zejména  $^{131}\text{I}$  na území okolo  $500\text{km}^2$
- 1957 – exploze nádrže s vysokoaktivním odpadem chemického závodu Maják (výroba Pu) poblíž Kyštymu. Utajeno po mnoho let.



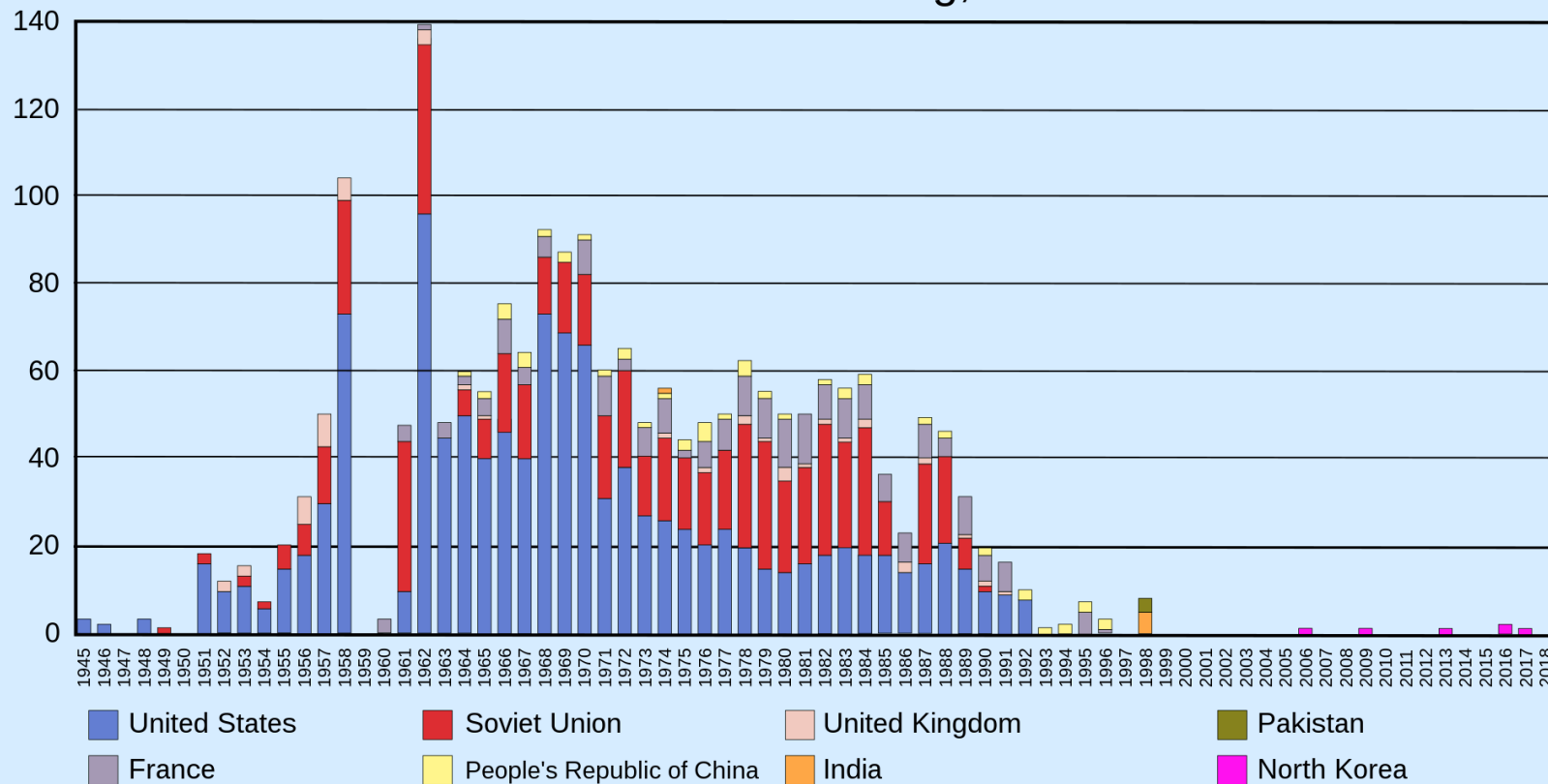


# Car – bomba 50 000 kt TNT, 30.10.1961, Suchoj Nos Severnyj Ostrov, Novaja Zemlja



# Testy jaderných zbraní 1945 – 2018. Od r. 1963 moratorium na zkoušky v atmosféře, pokračují podzemní zkoušky (na obrázku počet zkoušek, nikoliv jejich mocnost)

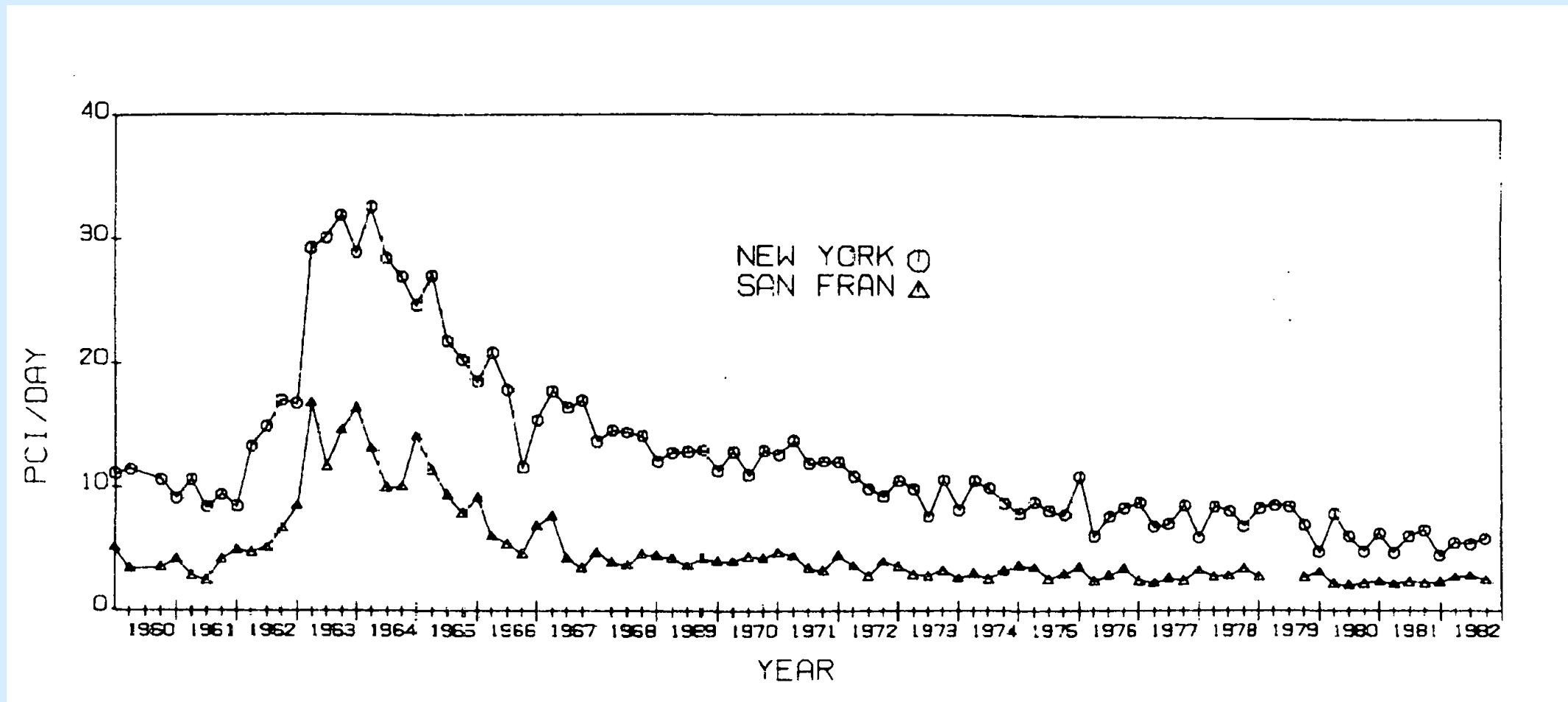
Worldwide nuclear testing, 1945 - 2018



Castle Bravo, největší test USA, 15000kt, 1.5.1954

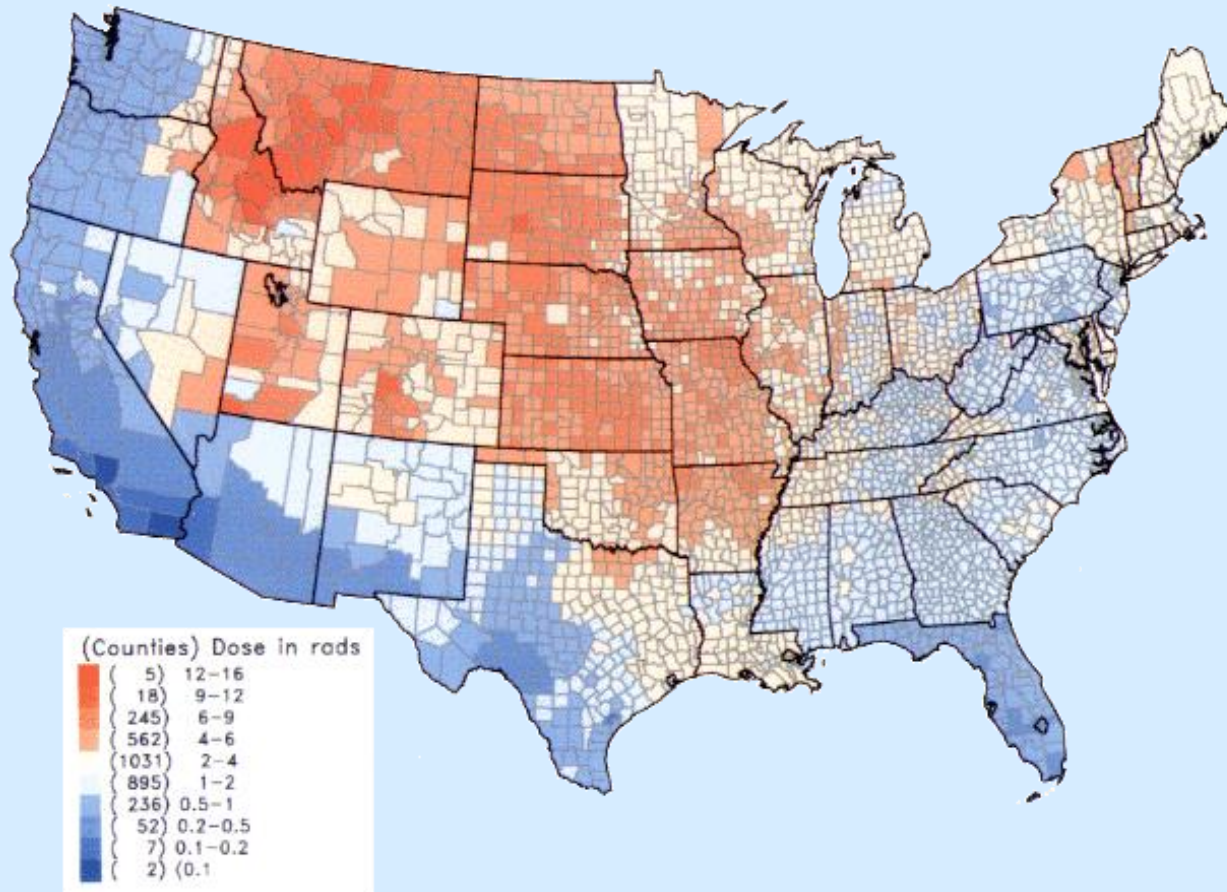
Tsar Bomba, největší SSSR, 50000kt. 31.10.1961

# Sr90 v celkové denní dietě – čtvrtletní sběr v New Yorku a v San Franciscu (pCi/den), 1 pCi= 0,037Bq



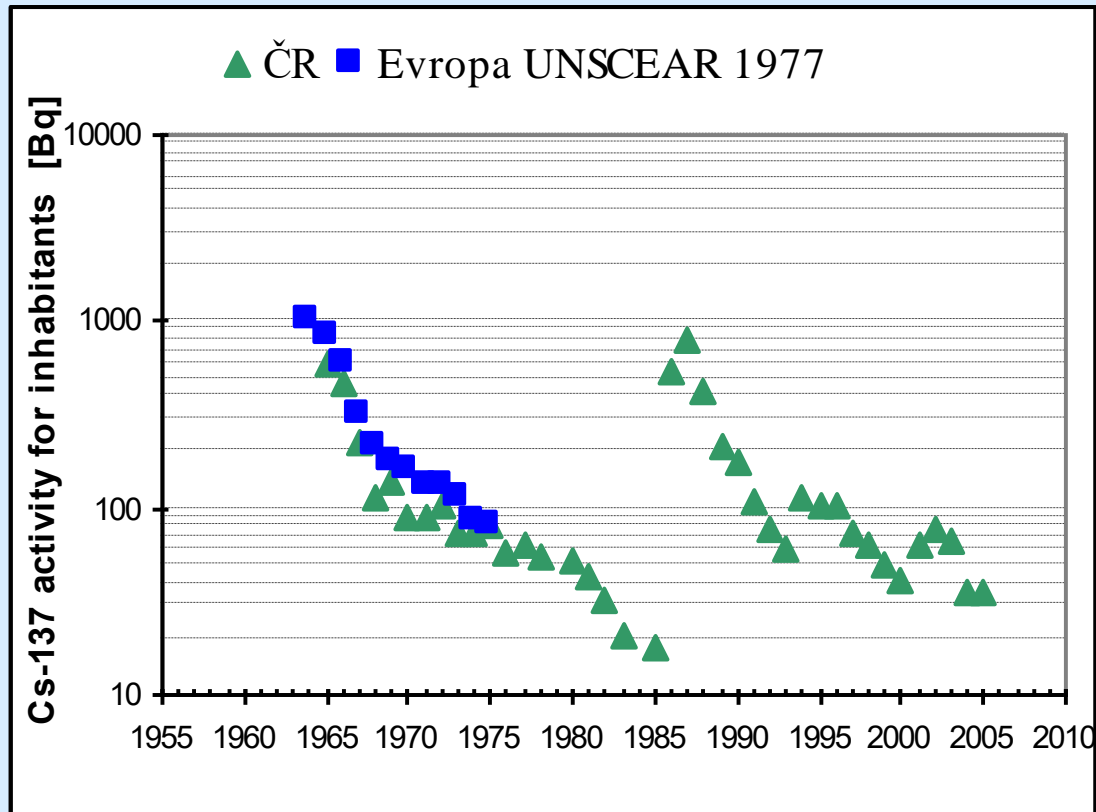


# Dávky na štítnou žlázu jednotlivce u obyvatelstva USA jako výsledek všech zkoušek v Nevadě od r. 1951 do r. 1962 (rad, 1 rad = 0,01Gy)



Because of concerns about worldwide fallout levels, the [Partial Test Ban Treaty](#) was signed in 1963. Above are the per capita [thyroid](#) doses (in [rads](#)) in the continental United States resulting from all exposure routes from all atmospheric nuclear tests conducted at the [Nevada Test Site](#) from 1951 to 1962.

# $^{137}\text{Cs}$ v lidském těle ve světě, zejména na severní polokouli



$^{137}\text{Cs}$  bylo měřitelné všude na severní polokouli, v Evropě, v USA a asijské části SSSR zejména na severu ve všech složkách životního prostředí i v lidském těle. Vyšší aktivity  $^{137}\text{Cs}$  se vyskytovaly zejména v populaci se speciálními stravovacími návyky (Inuité - Aljaška, Sami – Finsko, Norsko, Švédsko. Rusko)

- 1957 – založena Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA)
- 1958 - publikován první report UNSCEAR
- 1958 - ICRP vydalo publikaci, později nazývanou Publikace 1, v níž je po prvé diskutován dávkový práh vs. bezprahový lineární vztah dávka – účinek
- 1964 – založena IRPA
- Od r. 1958 vychází časopis Health Physics
- Inovace Publikace ICRP 1 vychází v r. 1965 jako Publikace 9, v níž je na rozdíl od dřívější doby zdůrazněna existence stochastických účinků
- **1963 – Moratorium na zkoušky jaderných zbraní v atmosféře**

# Období 1966 - 1977

- 1977 Publikace ICRP 26 – zavedeny 3 principy radiační ochrany –  
obecně: vyloučení akutních účinků, omezení stochastických účinků na co nejmenší úroveň
    - ✓ Zdůvodnění praxe
    - ✓ Optimalizace ochrany
    - ✓ Limity dávek
  
  - ✓ Termín dávkový limit nahradil maximální přípustnou dávku
  - ✓ Roční limit 50mSv pro pracovníky
  - ✓ Roční limit 5mSv pro obyvatelstvo
- Publikace ICRP 30 s Dodatky – pro jednotlivé radionuklidy místo MPBB zaveden pojem ALI



- Rozvíjí se jaderný průmysl
- V USA 1966 – 1967 – zakázky na 51 jaderných elektráren
- V Evropě Francie, Velká Británie, Švédsko
- Cena srovnatelná s uhelnými elektrárnami
- Pro životní prostředí mnohem čistší
- Začátek obav o vlivu na okolí z výpustí (některé radionuklidy nelze odstranit –  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , vzácné plyny)
- Přístup k ozáření – as low as practicable



# Období 1978 - 1990

- 1979 Three Mile Island – tavení aktivní zóny, úniky do prostředí zanedbatelné (zafungoval kontejnment)
- Významný vliv na přijatelnost jaderné energetiky veřejností
- Vznik havarijních plánů pro „nadprojektové“ havárie ( do té doby přesvědčení o naprosté bezpečnosti jaderných elektráren)
- Diskuse o vlivu nízkých dávek ozáření
- Vysoké expozice v budovách způsobené radonem
- Diskuse o přístupu „ cost – benefit“, zda je přípustné uvažovat cenu lidského života ( tento přístup již dlouho používán v pojišťovnictví, v dopravě)



# Černobylská havárie 26.4.1986

- Spad zasáhl velké území nejen na Ukrajině, Bělorusku a v Rusku, ale i ve východní a střední Evropě
- Zdravotní následky, včetně úmrtí hasičů a pracovníků elektrárny
- Následky u obyvatelstva - rakoviny štítné žlázy u dětí a mladistvých
- Přetrvávající problémy s kontaminací potravin v bližších oblastech Černobylu
- Mise IAEA a UNSCEAR v postižených oblastech





# Důsledky černobylské havárie

- Havarijní plány do této doby jen pro blízké okolí JE, nyní i pro vzdálenější území, mezinárodní koordinace
- Postupně zaváděno citlivé monitorování celých území
- U nás principiálně tak, jak existuje dodnes
- Rozšířila se výroba citlivých přístrojů



# Goiania, Brazilie, 1987

- Opuštěný radioterapeutický zdroj  $^{137}\text{Cs}$  (74 TBq v r. 1971), 50,9 TBq k datu události. 44 TBq bylo shromážděno při dekontaminaci území, 7 TBq zůstalo v prostředí
- 4 lidé zemřeli, 6 osob akutní radiační syndrom, 19 osob radiační popáleniny, 112 000 lidí měřeno na vnitřní kontaminaci celotělovým počítačem
- Dávky z externího ozáření odhadovány cytogenetickou analýzou
- Důsledek – ochrana zdrojů, je zahrnuta v Basic Safety Standards

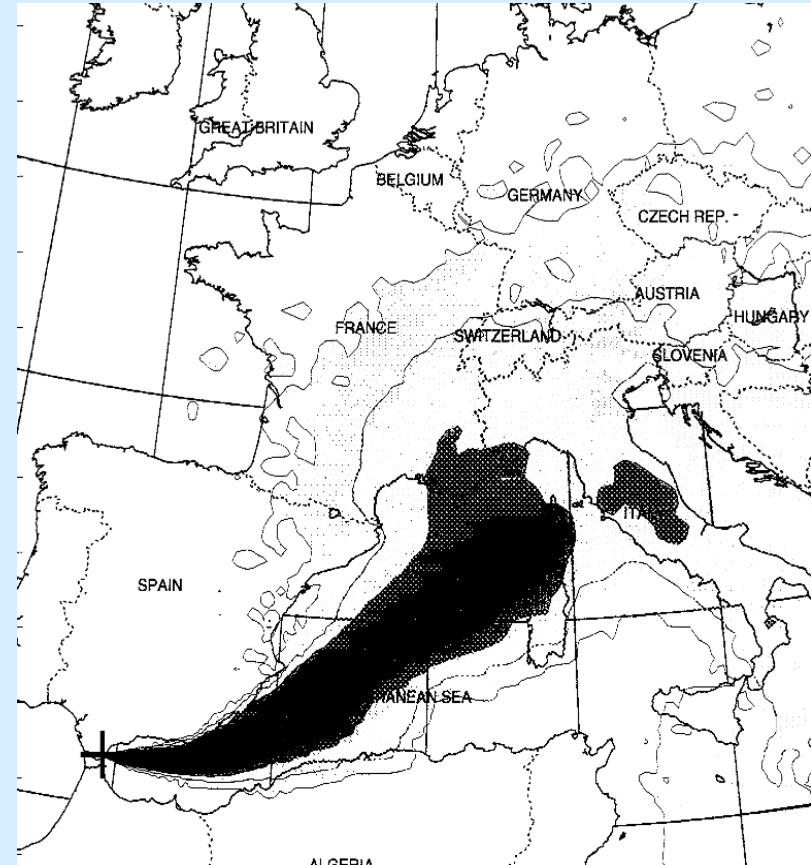
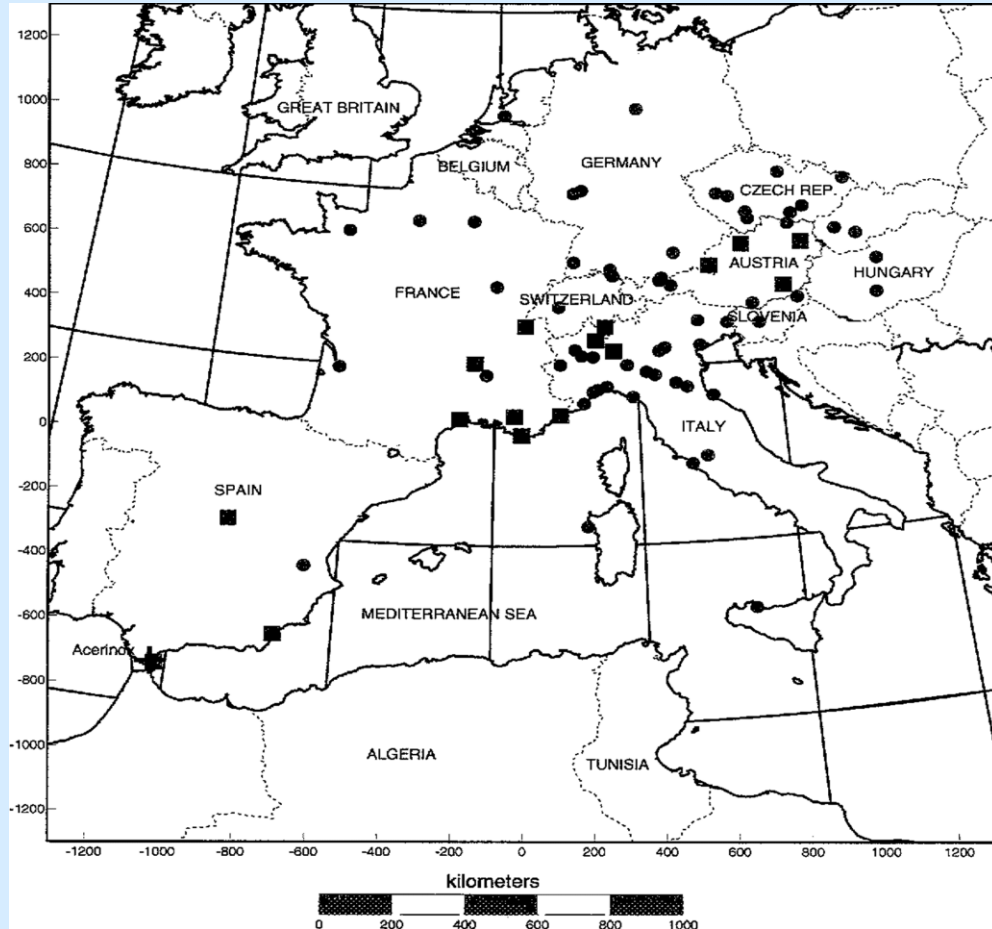


# Období 1990 -2007

- Přehodnoceny výsledky epidemiologických studií z Hirošimy a Nagasaki zejména v důsledku revize dozimetrie ( tzv. Nová dozimetrie)
- Výsledky dalších epidemiologických studií působení radonu – horníci uranových dolů (spojené studie Kanada, Francie, Česká republika, Německo)
- Epidemiologické studie výskytu rakoviny plic u obyvatelstva z domů s vyšším obsahem radonu
- Epidemiologické studie pracovníků v jaderném průmyslu
- Riziko z expozice vyšší než v předcházejících publikacích ICRP
- Publikace ICRP 60 (1990) – zaveden pojem dose constraint- dávková mez
- Dávkové limity platí dodnes
- Zdůrazněna ochrana jednotlivce

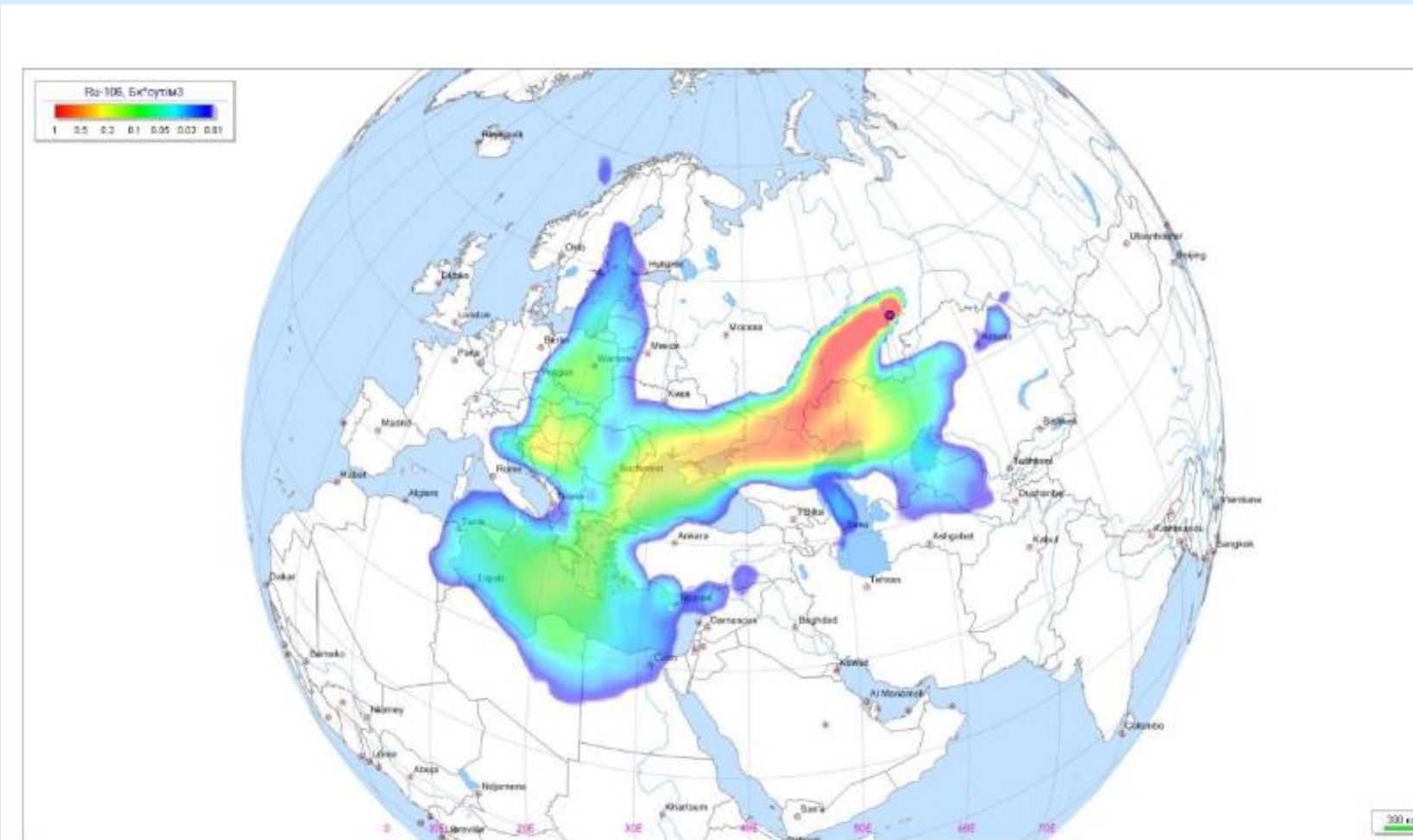


Po černobylské havárii byly zřízeny v téměř všech evropských zemích citlivé monitorovací sítě s velkoobjemovými odběry aerosolů a následným měřením polovodičovou gama spektrometrií . Několikrát nalezeny zvýšení aktivity radionuklidů z neznámého zdroje - zpětnými modely stanovena poloha zdroje. Příklad Algeciras,  $^{137}\text{Cs}$  , 1998





# Přítomnost $^{106}\text{Ru}$ ve vzdušném aerosolu 2017 – výsledek měření citlivých monitorovacích sítí výpočtu reverzních trajektorií



**Figure 2.** The ground level concentration of Ru-106 integrated over 10 days according to the results of simulating Ru-106 dissemination in the atmosphere.

- Po teroristických útocích 11.zář 2001 zaměřena pozornost na možnost útoku pomocí tzv. špinavé bomby
- Zkoumáno šíření aerosolů v městském prostředí – modely šíření
- Útok na jednotlivce  $^{210}\text{Po}$ , případ Litviněnko 2006  
 $^{210}\text{Po}$ , poločas přeměny  $T_{1/2}$  138 dní, energie alfa záření 5,4 MeV, 1  $\mu\text{g}$  smrtelná dávka pro člověka

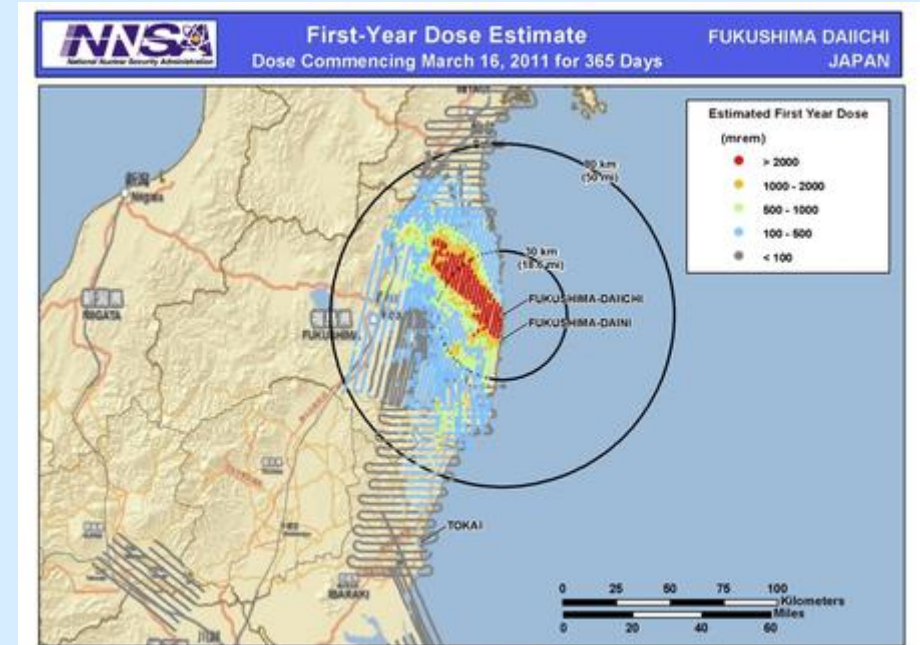
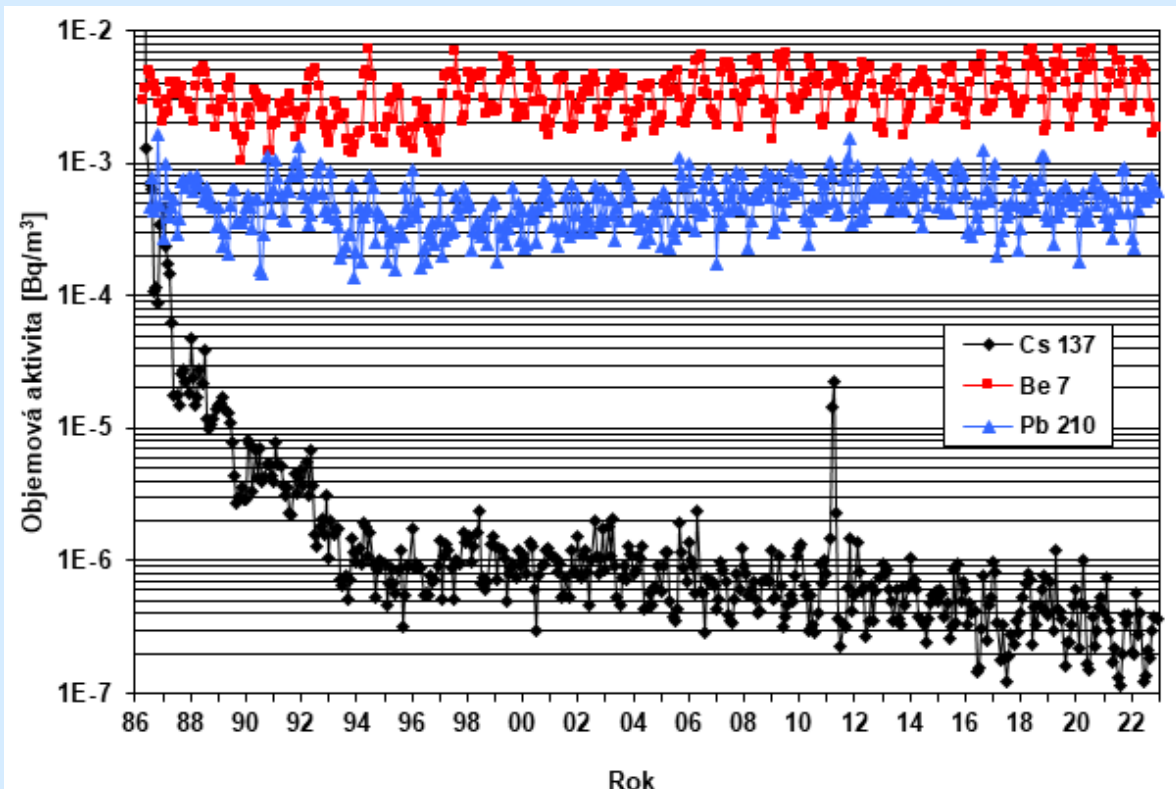


# ICRP Publikace 103 - 2007

- Zachovává přístupy včetně dávkových limitů z ICRP 60
- Mění se tkáňové a radiační váhové faktory
- Vysvětleno podrobněji použití kolektivní dávky
- Radiologická ochrana životního prostředí (na toto téma vydáno 6 Publikací ICRP)
- Jako základ pro výpočet dávek z externího i interního ozáření použit fantom vzniklý z počítačové tomografie
- I pro velmi nízké dávky platí lineární bezprahový model dávky a účinku
- Dose constraints
- „By-stander efekt“
- Zkoumány účinky jiné než karcinogenní

# Fukušima – březen 2011

- V důsledku zemětřesení a tsunami výpadek chlazení reaktorů a skladů vyhořelého paliva s následnými explozemi způsobených vodíkem
- Evakuace obyvatelstva
- Globální modely šíření radionuklidů předpověděly správně, kdy se ve světě vzdušná kontaminace objeví

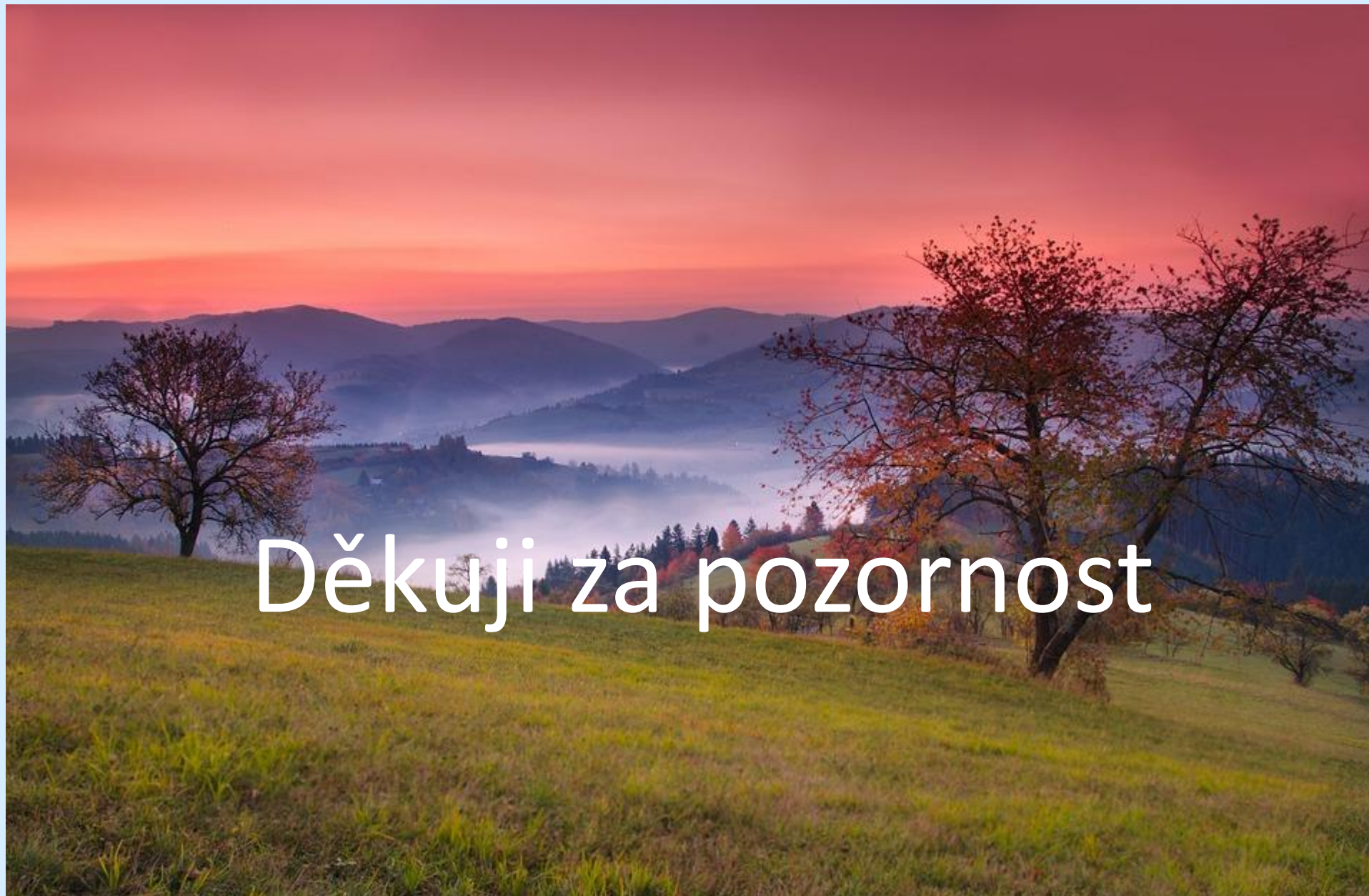




# Vývoj doporučení ICRP

Analyzovaný faktor	Raná doporučení	Prostřední doporučení	Současná doporučení
Okolnosti ozáření	Profesionální ozáření v medicíně	Všechna profesionální ozáření, potom ozáření celého lidstva	Ozáření veškerých druhů
Kdo/co je ochraňováno	Člověk samotný	Prostředí je ochráněno, když je ochráněn člověk	Demonstrace, že je prostředí ochráněno
Známé efekty ozáření, cíl radiační ochrany	Předcházení deterministických efektů	... a zabránění stochastickým efektům....	... a uvážení necílených (non-targeted) efektů
Metody ochrany	Rady k praktickým ochranným opatčením	Aplikace dávkových limitů, později optimalizace	Optimalizace ochrany při horních mezích dávky a rizika





Děkuji za pozornost