Vývoj radiační ochrany

Seminář ČSOZ 4.10.2023

Irena Malátová

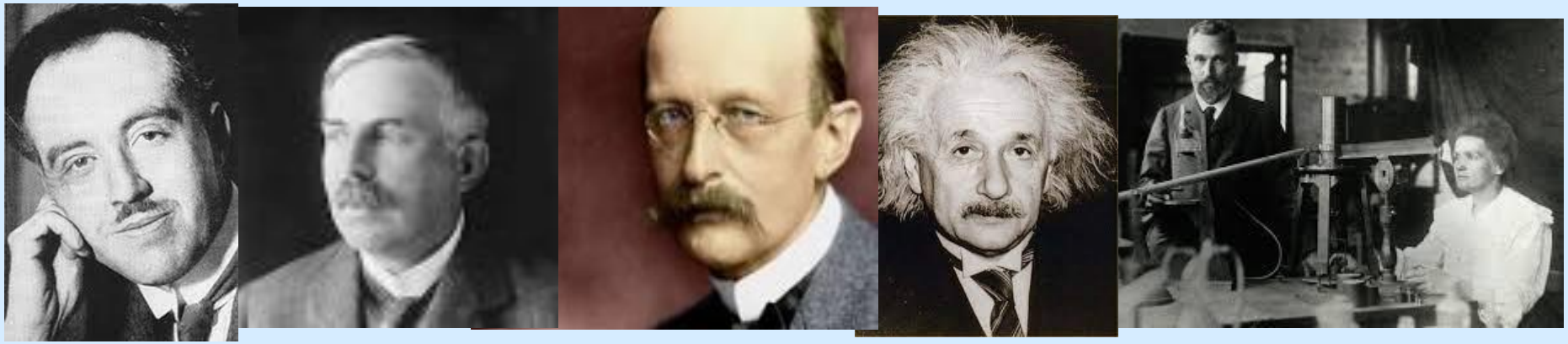
Vývoj radiační ochrany závisí na stinné stránce vývoji objevů a vynálezů ve vědě a technice, projevující se v poškozeni lidského zdraví. Posláním radiační ochrany je pokud možno zabránit těmto nepříznivým vlivům.

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}Ra v luminiscenčních barvách

rozšířilo se zejména za 1.světové války

- Velmi vážná poškození kostí, i fatální případy. V kostech zemřelých nalezeno 2 až 180µg ^{226}Ra, akutní nebo subakutní poškození čelisti
- Odhady – při 1 číselníku zašpičaťovaly ústy za 6 měsíců mohlo dojít k ingesci asi 4000 µg ^{226}Ra - (odpovídá asi 41 Sv) (praxe zašpičaťováni 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 ^{226}Ra po celý rok (odpovídá asi 5,4Sv)
- Radiothor – směs 1 µCi ^{226}Ra a 1 µCi ^{228}Ra ve 2 ml vody – prodáváno v kartonech, mělo podporovat zdraví – dokonce i po zlomeninách, fatální následky

Další použití radioaktivních látek v medicíně v letech 1920 - 1950

Thorotrast – kontrastní látka pro rentgenové vyšetření, stabilizovaný 25% koloidní roztok kysličníku thoričitého ThO_2.

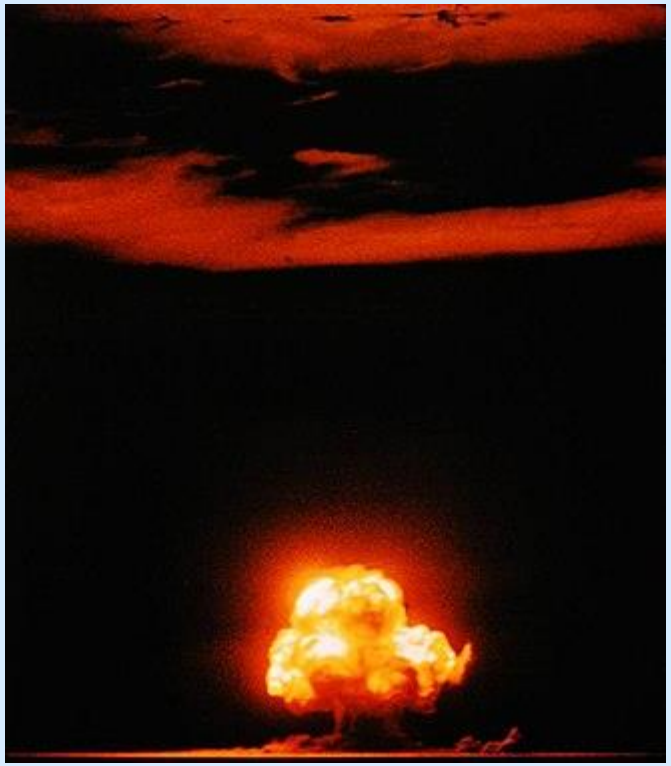
- Vynikající vlastnosti k zobrazení (vysoké Z), nezpůsoboval alergické reakce. Celkový počet aplikací ve světě asi 1 milión (Evropa, USA, Japonsko)
- Zdravotní následky – zvýšený počet rakovin jater, leukémií, neprokázány osteosarkomy – epidemiologické studie do nedávné doby

^{224}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 tuberkulosy (Spiess – výskyt osteosarkomů). Výskyt osteosarkomů vyšší než při stejné průměrné dávce na kost z ^{226}Ra! Sledován větší počet případů v epidemiologické studii

Opatření k ochraně před zářením

- 1925 „toleranční dávka“ – dávka, kterou může člověk tolerovat, aniž by utrpěl poškození1/100 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 0.5µCi ^{226}Ra, z toho odvodili bezpečnou hranici 0.1µCi (3.7kBq) (MPBB – maximum permissible body burden), podle dnešních znalostí by to zhruba odpovídalo dennímu příjmu 550Bq, tj. asi 46mSv
- Ostatní bone – seeking radionuklidy (předmětem zájmu zejména plutonium – šlo o výrobu atomové bomby) limitovány srovnáním efektů (zejména vznik osteosarkomů) s ^{226}Ra u pokusných zvířat (používáni 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 rekonstituuje ICRU a ICRP

Opatření k ochraně před zářením

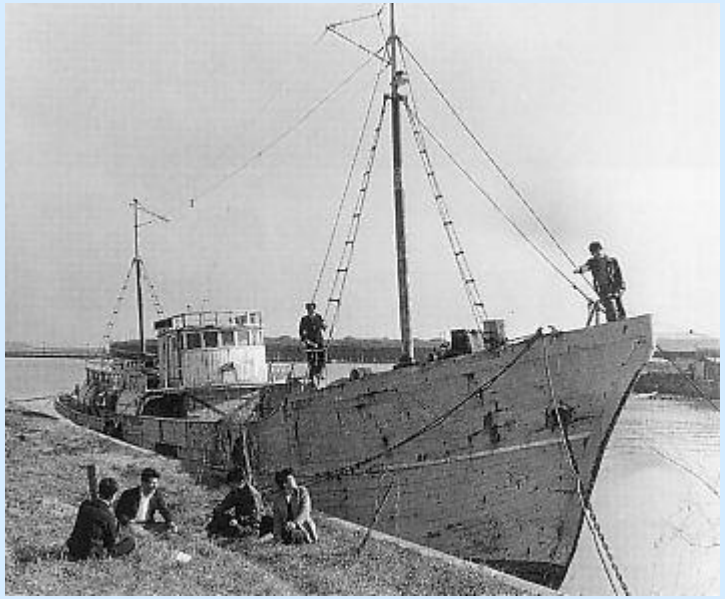
- 1941 - nejvyšší přípustně depo ^{226}Ra v těle 0,1µg (asi 46mSv)
- 1950 – 0,3 rem týdně na celé tělo
- 1956 – 58 ICRP doporučuje snížení limitu pro celé tělo a gonády na 5 rem ročně, 0,5 rem pro obyvatele

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 projevily radiační 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 považování 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 reproduktivní roky
- 1953- doporučení udržovat veškeré dávky ionizujícího záření na nejnižší možné úrovni

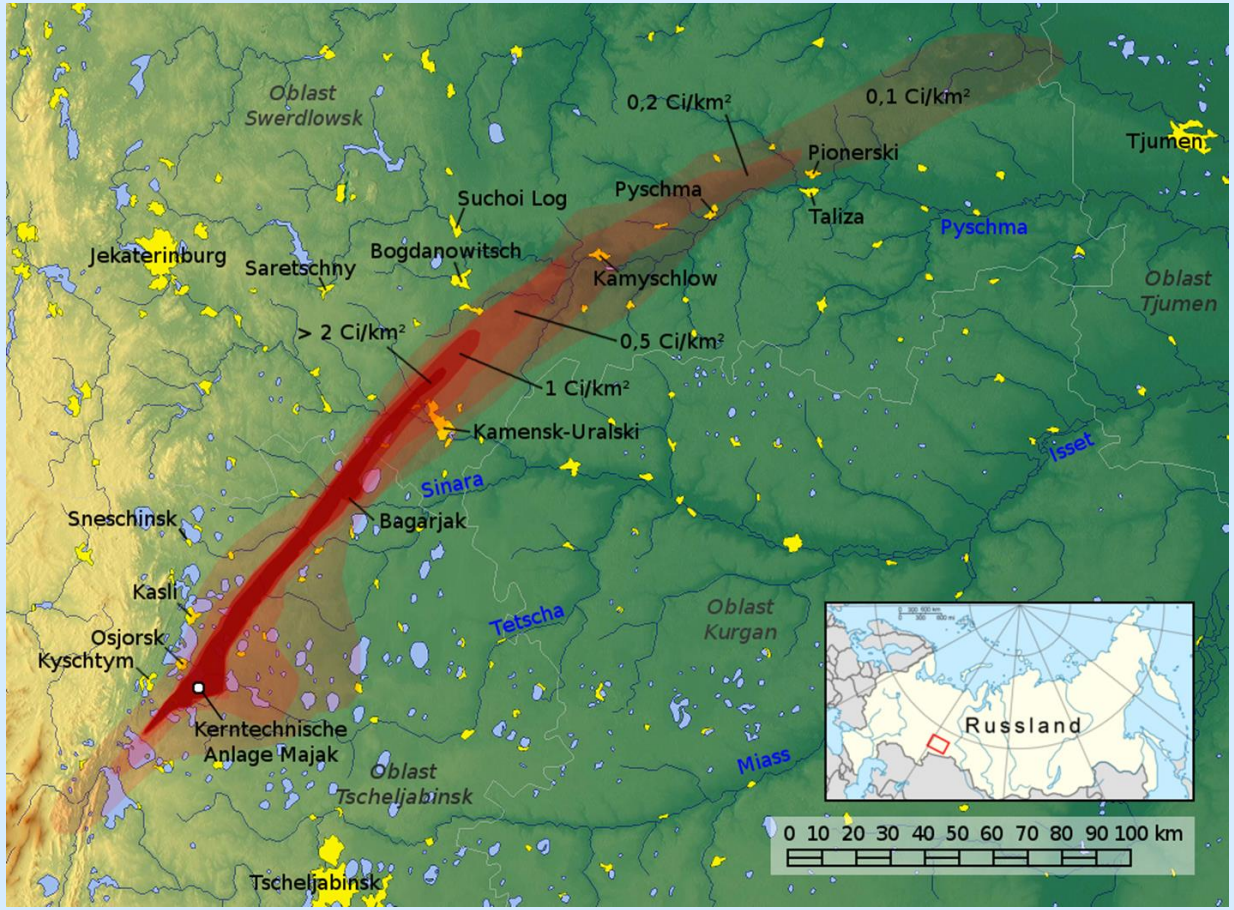
- Po celém světě byl měřitelný spad ze zkoušek jaderných zbraní
- 1955 Ženeva, mezinárodní konference OSN o mírovém využití jaderné energie
- 1956 – C.E.Miller a L.Marinelli změřili obsah ^{137}Cs v lidské těle u obyvatel Chicaga
- 1956 – založen UNSCEAR (Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření)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

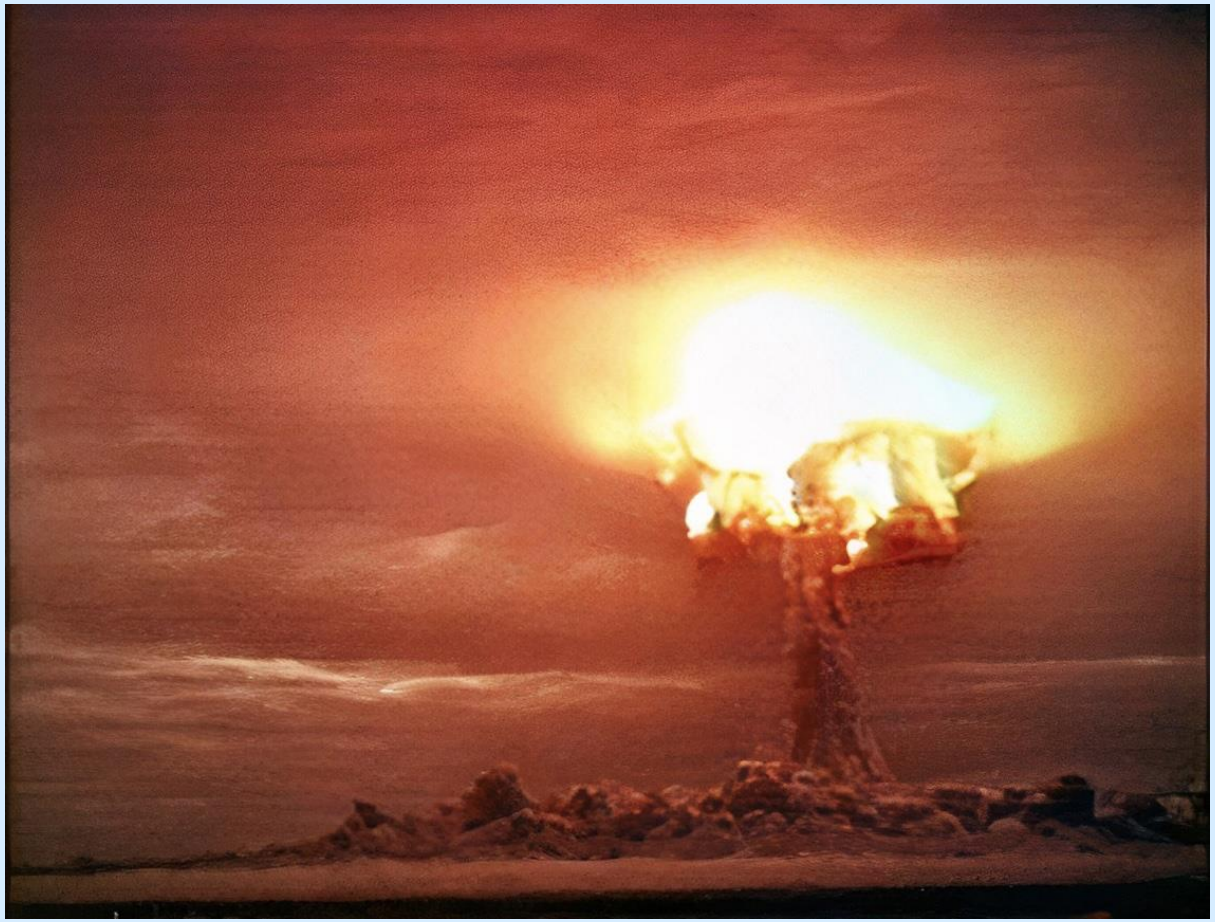
Období 1957 – 1965

rozvoj jaderného průmyslu, velkých zkoušek jaderných zbraní a prvních havárií

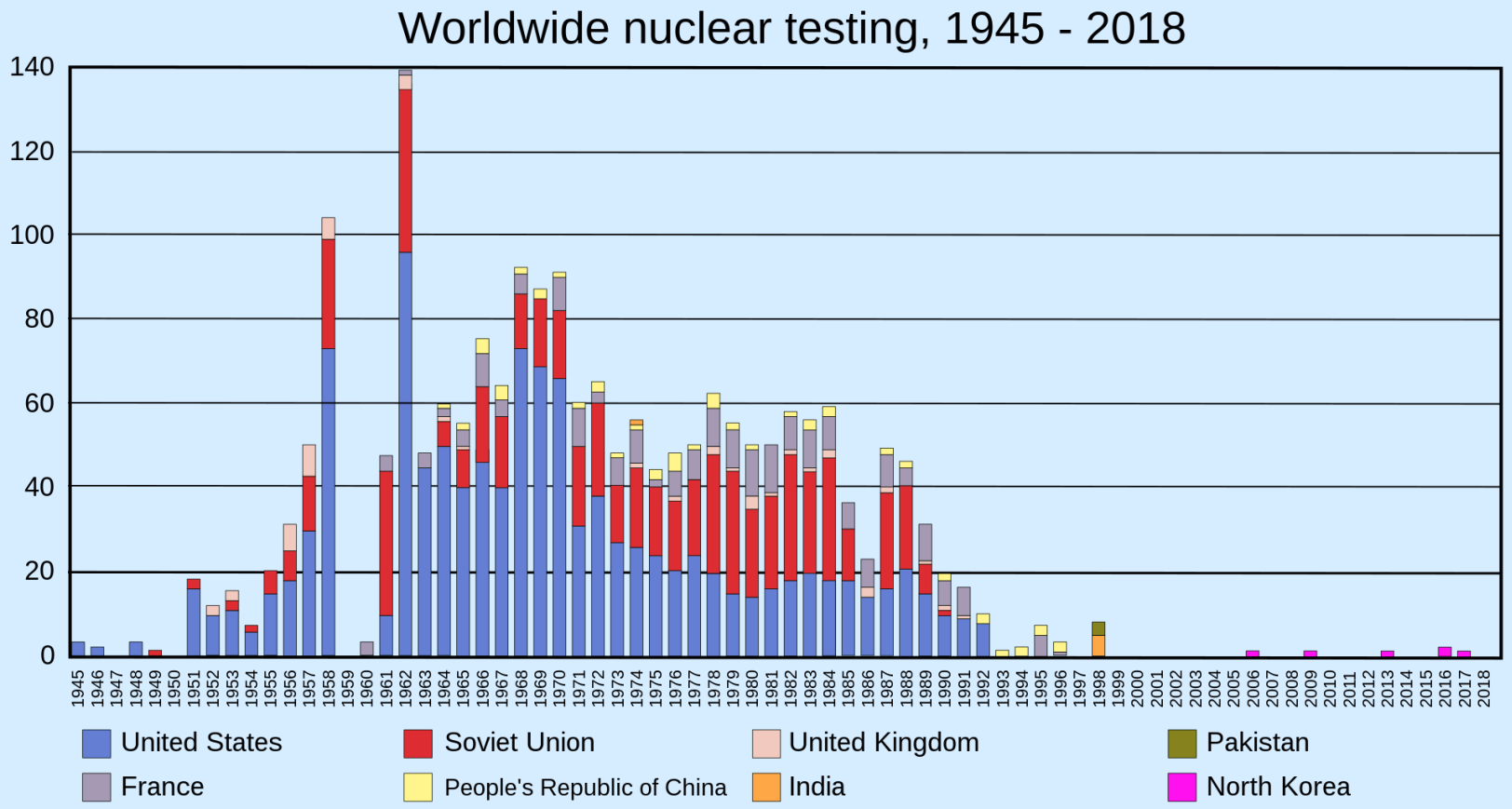
- 1957 – požár grafitového reaktoru ve Windscale únik radionuklidů, zejména ^{131}I na území okolo 500km^2
- 1957 – exploze nádrže s vysokoaktivním odpadem chemického závodu Maják (výroba Pu) poblíž Kyštymu. Utajeno po mnoho let.



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



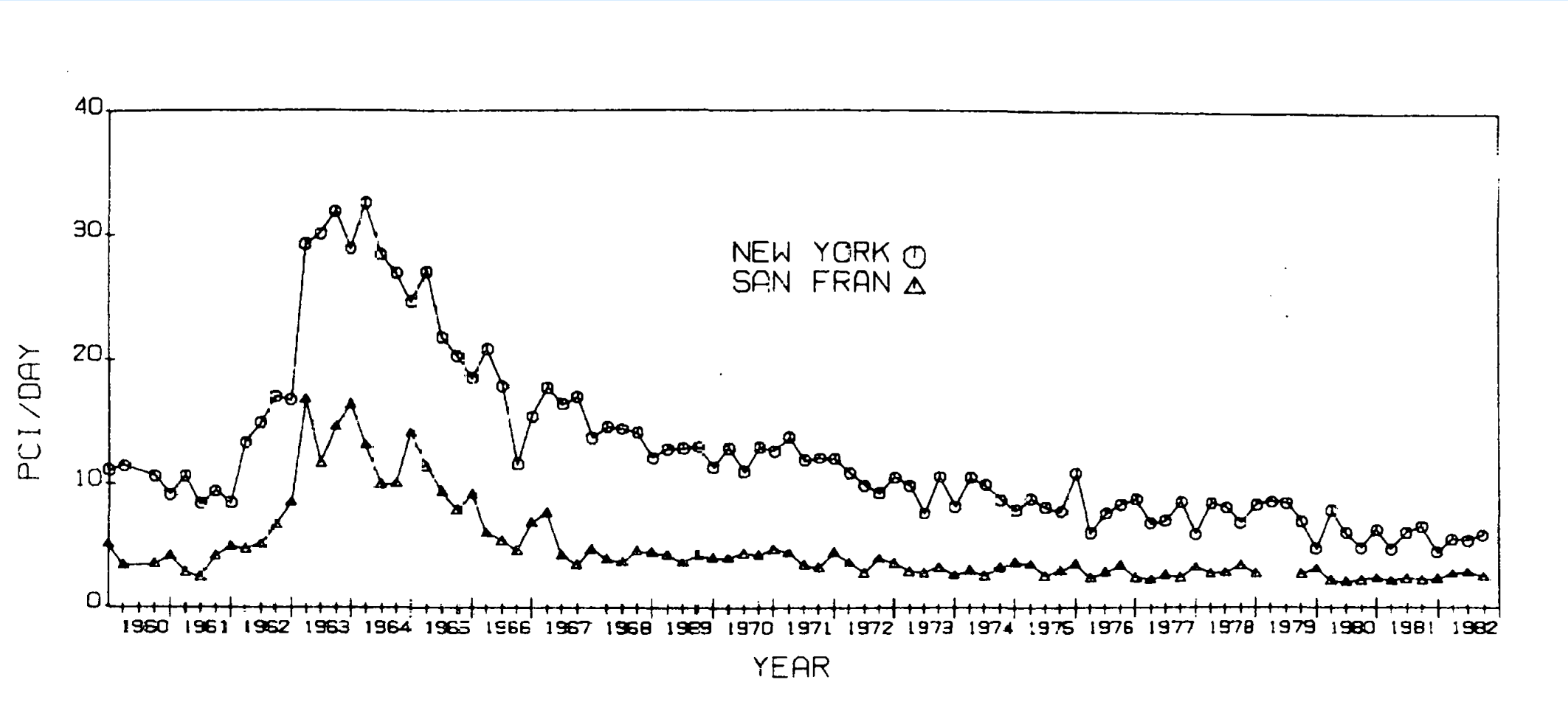
Testy jaderných zbraní 1945 – 2018. Od r. 1963 moratorium na zkoušky v atmosféře, pokračují podzemní zkoušky (na obrázku počet zkoušek, nikoliv jejich mocnost)



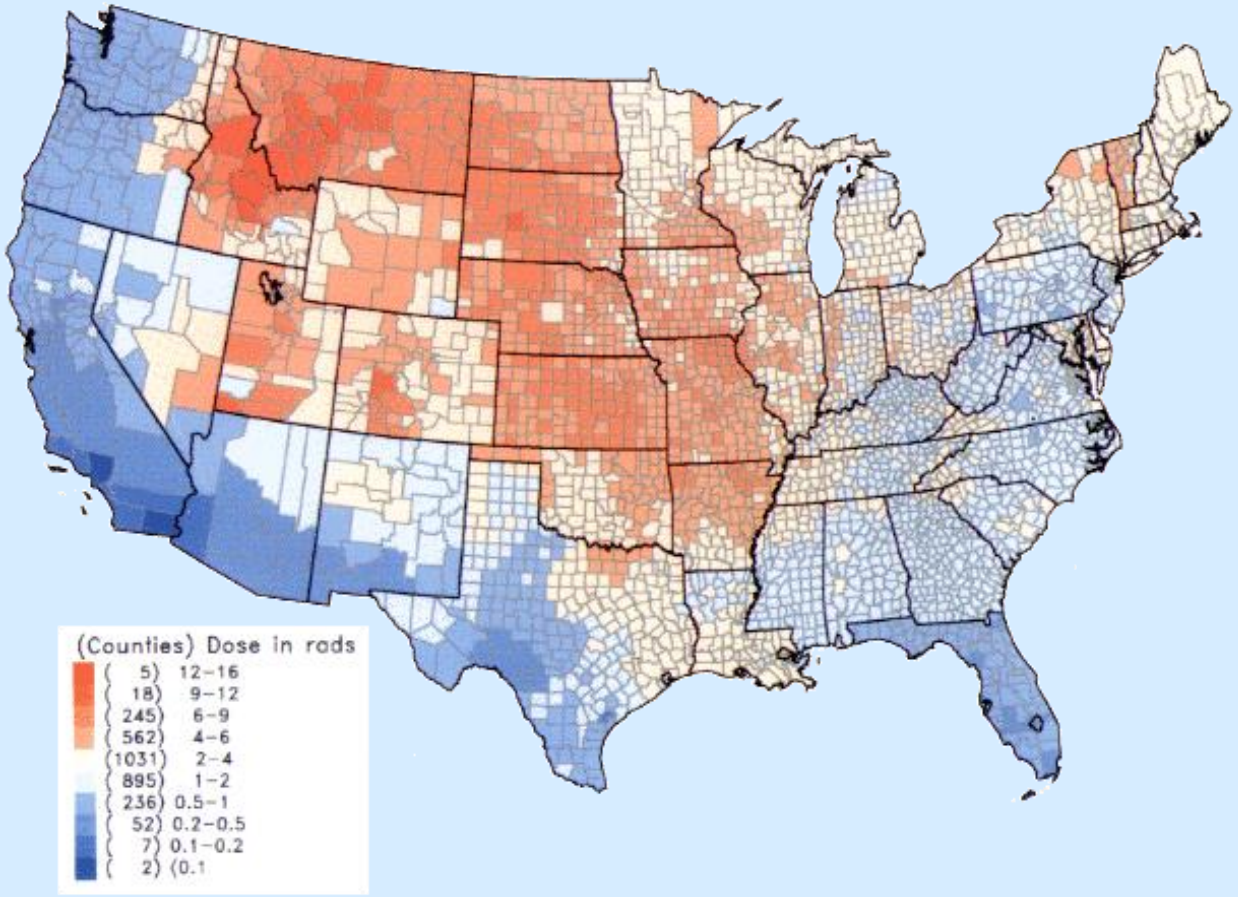
Castle Bravo, největší test USA, 15000kt, 1.5.1954

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

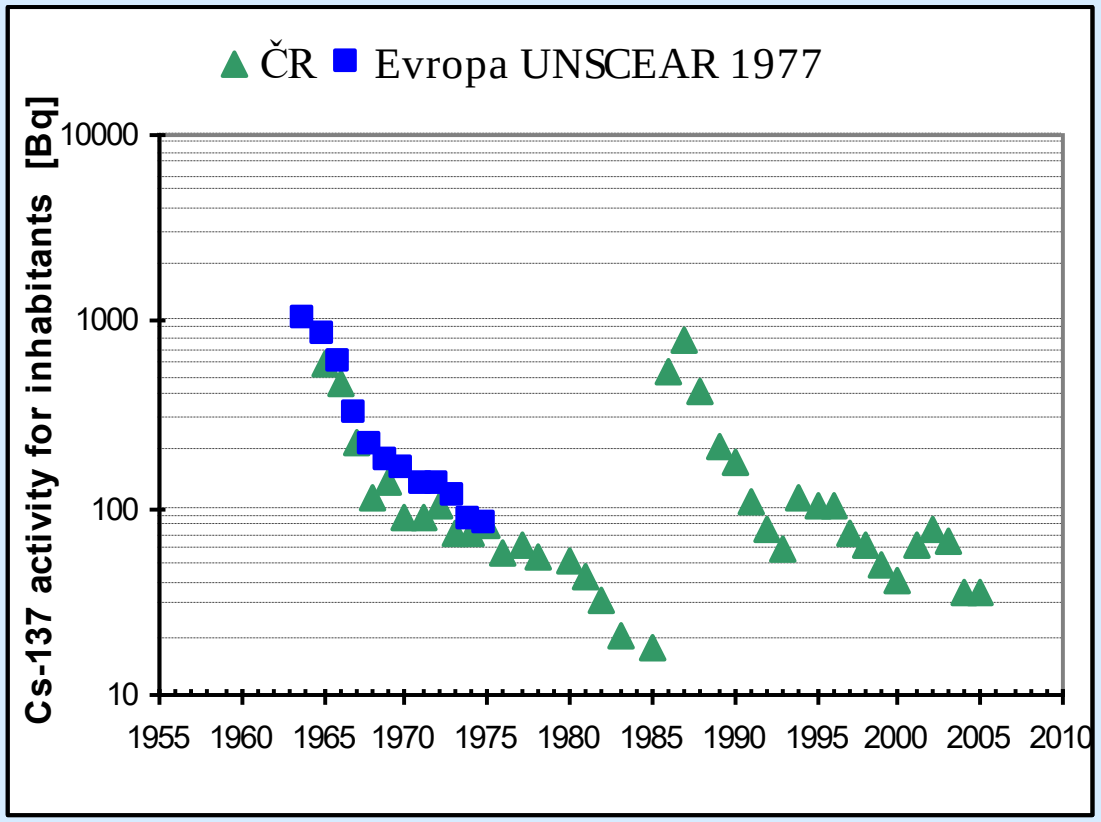


Dávky na štítnou žlázu jednotlivce u obyvatelstva USA jako výsledek všech zkoušek v Nevadě od r. 1951 do r. 1962 (rad, 1 rad =0,01Gy)



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}Cs v lidském těle ve světě, zejména na severní polokouli



^{137}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}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}H, ^{14}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 přistup 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

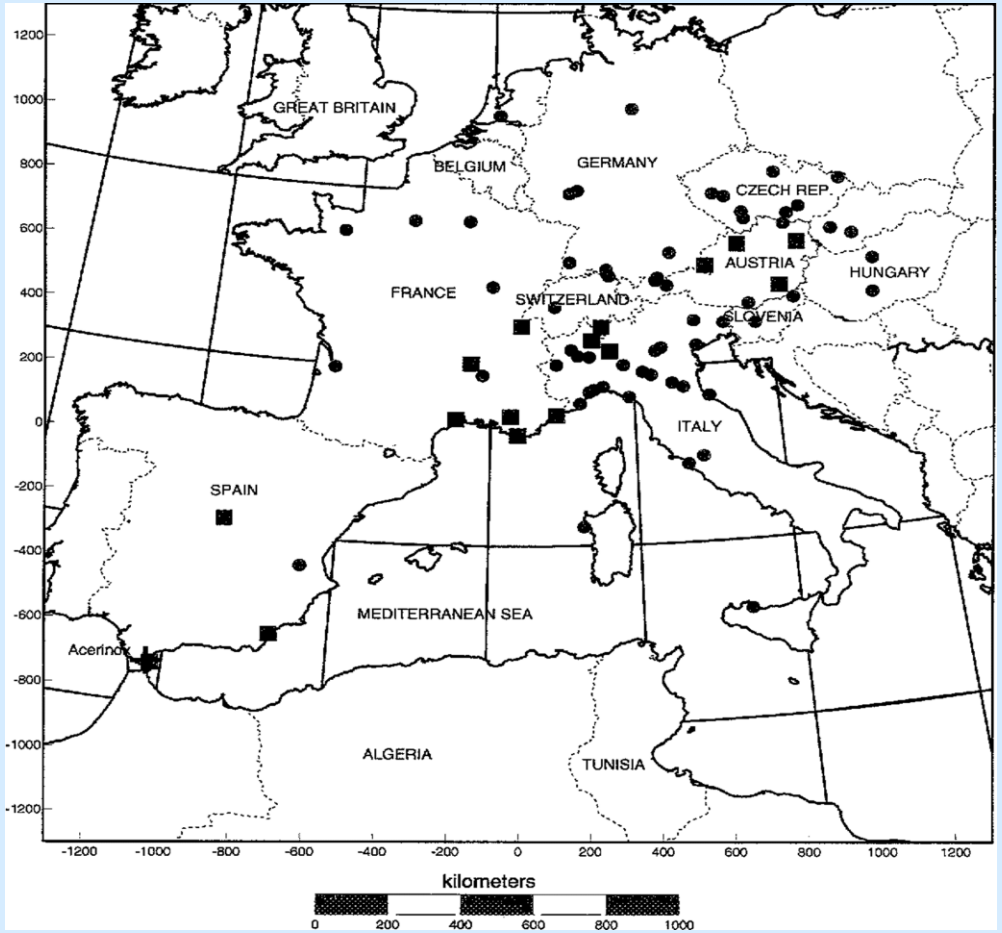
Goiania, Brazílie, 1987

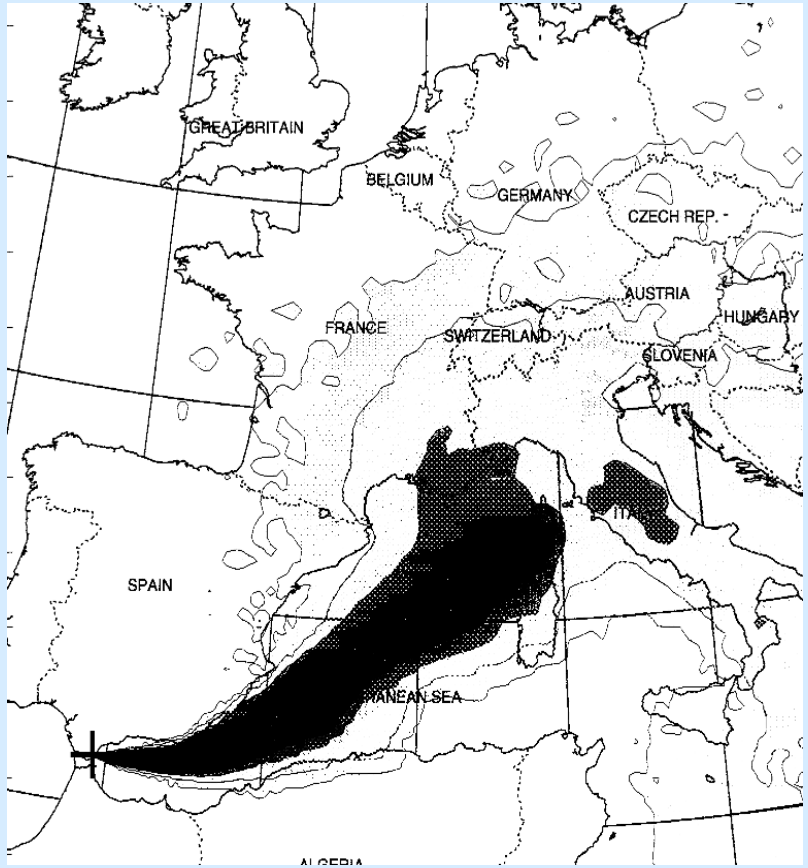
- Opuštěný radioterapeutický zdroj ^{137}Cs (74 TBq v r. 1971), 50,9 TBq k datu události. 44 TBq bylo shromážděno při dekontaminaci území, 7 TBq zůstalo v prostředí
- 4 lidé zemřeli, 6 osob akutní radiační syndrom, 19 osob radiační popáleniny, 112 000 lidé měřeno na vnitřní kontaminaci celotělovým počítačem
- 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}Cs , 1998





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

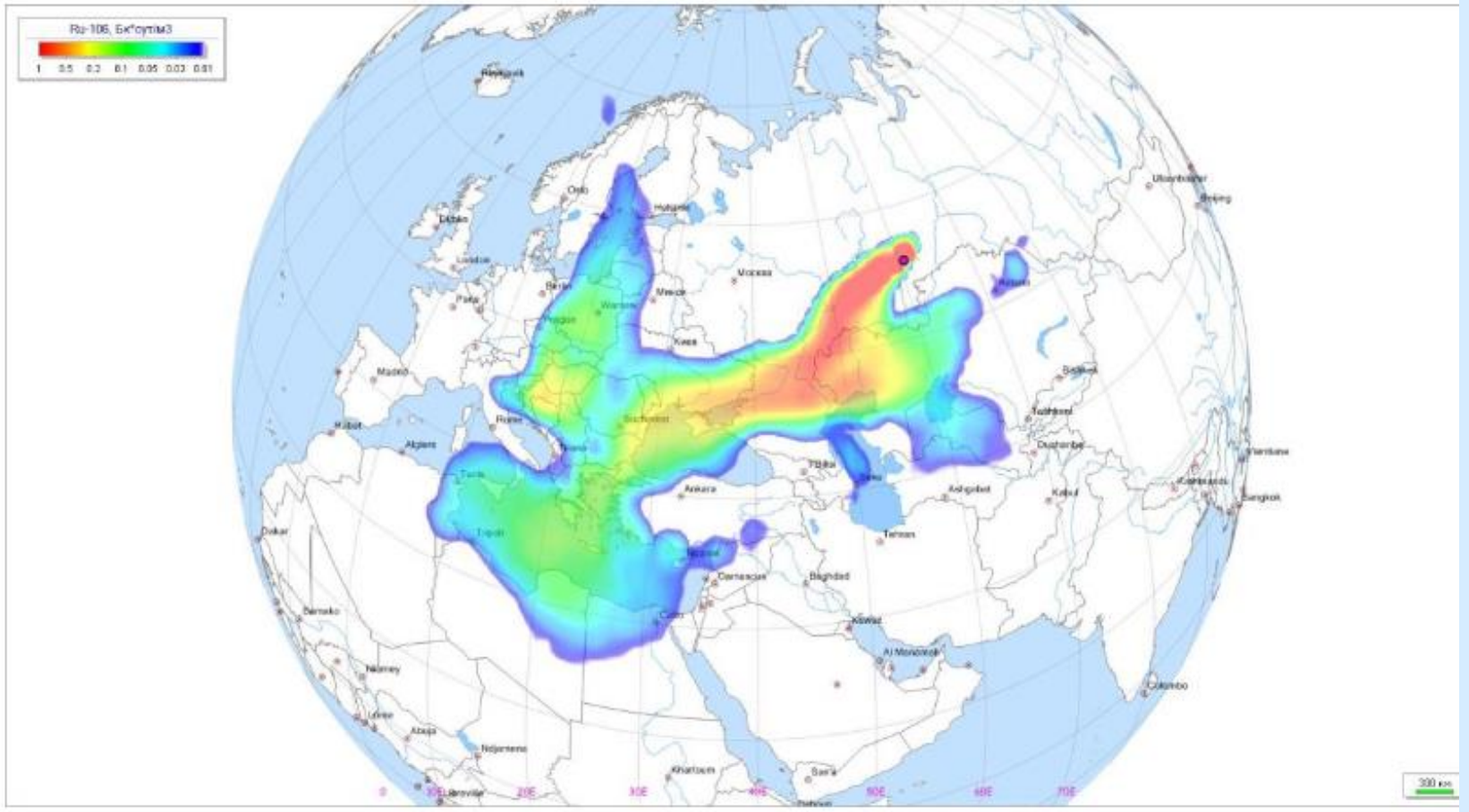


Figure 2. The ground level concentration of Ru-106 integrated over 10 days according to the results of simulating Ru-106 dissemination in the atmosphere.

- Po teroristických útocích 11.září 2001 zaměřena pozornost na možnost útoku pomocí tzv. špinavé bomby
- Zkoumáno šíření aerosolů v městském prostředí – modely šíření
- Útok na jednotlivce ^{210}Po, případ Litviněnko 2006

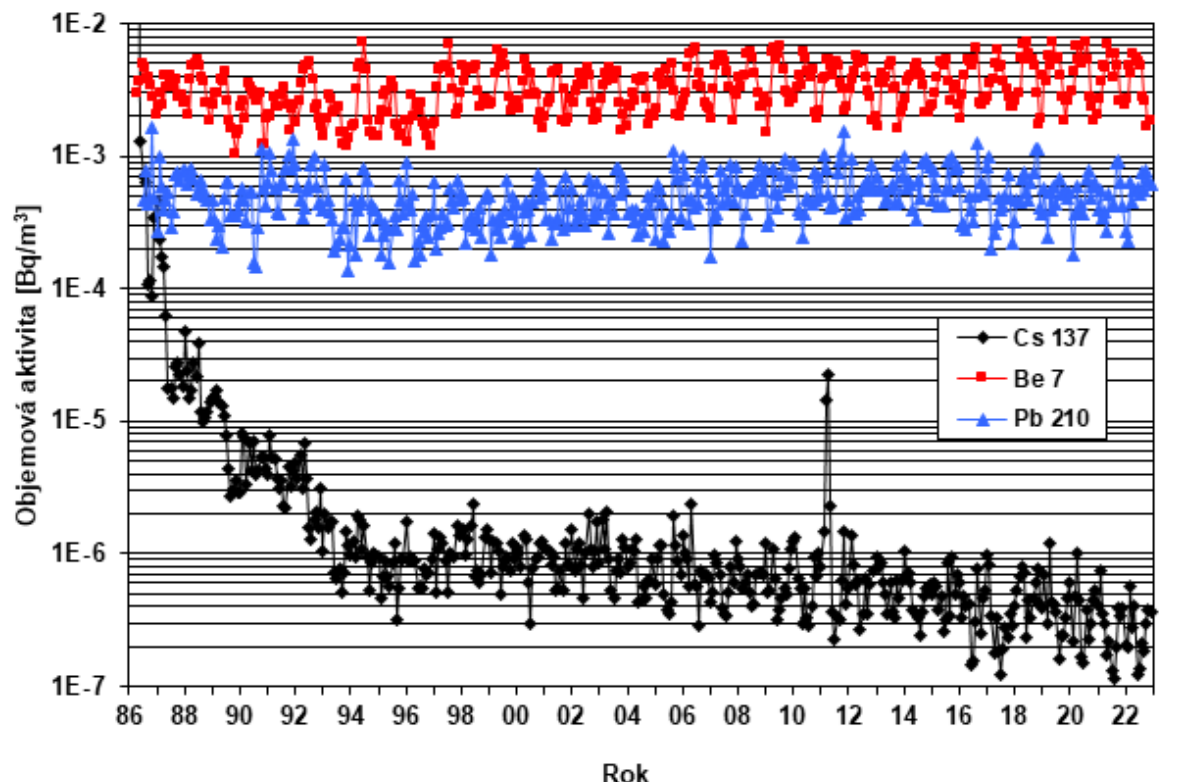
  ^{210} Po, poločas přeměny $T_{1/2}$ 138 dní, energie alfa záření 5,4 MeV, 1 µg smrtelná dávka pro člověka

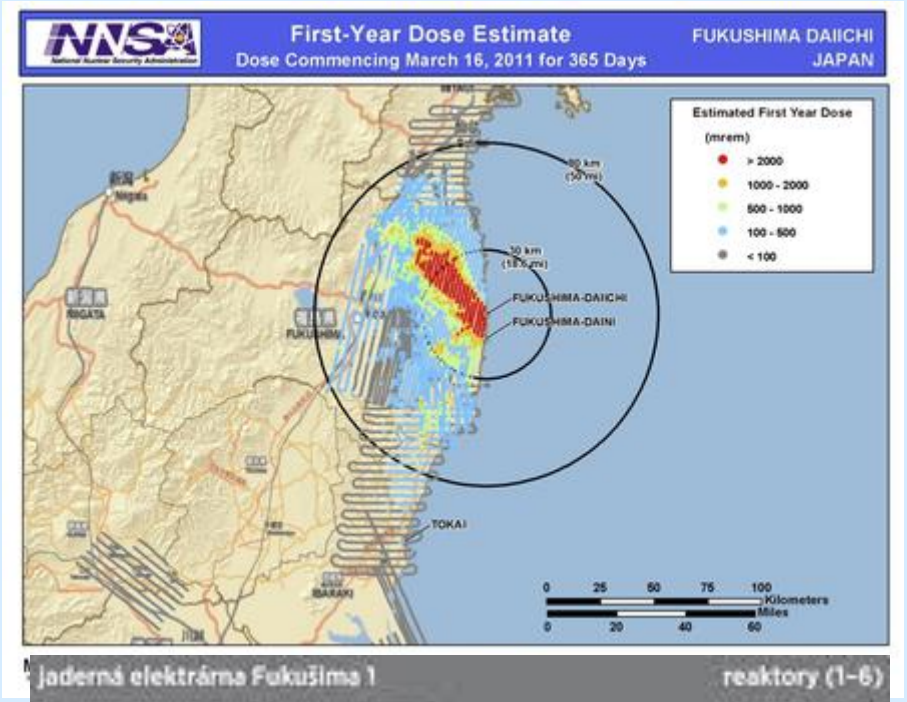
ICRP Publikace 103 - 2007

- 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 linearní bezprahový model dávky a účinku
- Dose constraints
- „By-stander efekt“
- Zkoumány účinky jiné než karcinogenní

Fukušima – březen 2011

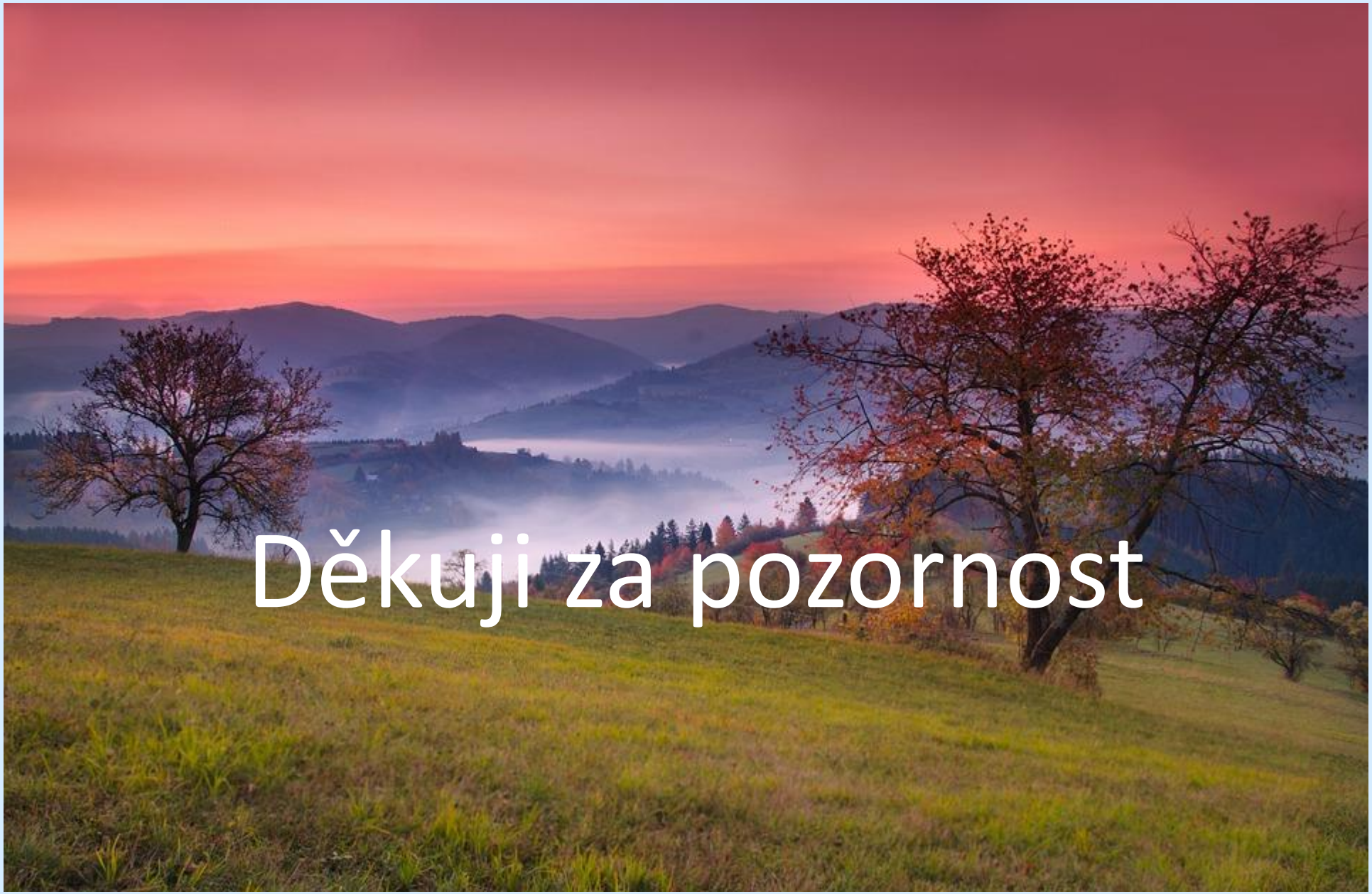
- V důsledku zemětřesení a tsunami výpadek chlazení reaktorů a skladů vyhořelého paliva s následnými explozemi způsobených vodíkem
- Evakuace obyvatelstva
- Globální modely šíření radionuklidů předpověděly správně, kdy se ve světě vzdušná kontaminace objeví





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 efekt	… 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 mezí dávky a rizika


Děkuji za pozornost