

Přírodní a umělá radioaktivita a jejich vliv na životní prostředí

Ing. Daniel SAS, Ph.D.
Daniel.Sas@unob.cz

Ústav OPZHN Vyškov
Oddělení ochrany proti jaderným zbraním

Přírodní radioaktivita

- Po celou dobu své existence je lidstvo vystaveno malým dávkám ionizujícího záření z přírodních radioaktivních nuklidů a z kosmického záření.

Přírodní nuklidy

- Primární – tvoří nuklidy, které se na zemi nacházejí od doby jejího vzniku (^{60}Ni , ^{87}Sr , $^{206,207,208}\text{Pb}$, ^{209}Bi)
- Sekundární – tvoří nuklidy s relativně krátkým poločasem rozpadu nepřesahujícím 10^8 let. Tyto nuklidy vznikají jako produkty přeměny primárních radionuklidů (^{234}U , ^{226}Ra , ^{14}C , ^3H)

Kosmogenní nuklidy

- Třetí složkou přírodní radioaktivity jsou kosmogenní radionuklidy, vznikající na zemi jadernými reakcemi převážně účinkem kosmického záření. Jsou to např. (^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{37}Ar , ^{85}Kr)
- Kosmické záření je složeno převážně z protonů, jader ^4He a menšího množství elektronů a jader těžších prvků.

Kosmogenní nuklidy

- Vznikají v zemské atmosféře jadernými reakcemi.
- Mezi nejvýznamnější patří: ^{14}C , ^3H .
- Jejich příspěvek k ozáření člověka je velmi malý.

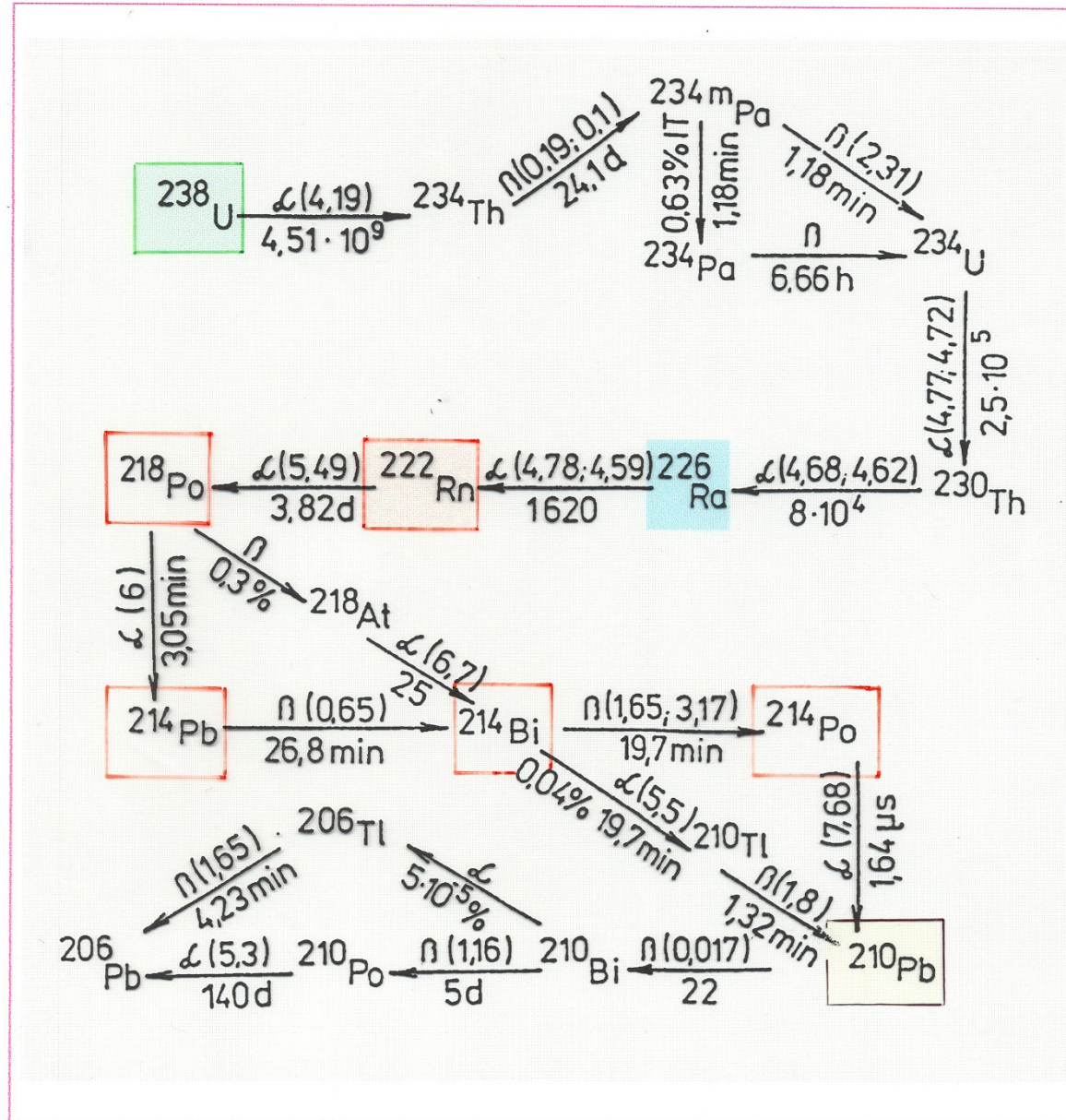
Kosmické záření

- Intenzita kosmického záření není na všech místech Země stejná. Závisí na zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Největší intenzita je na pólech a nejmenší u rovníku. Zároveň se zvyšuje s nadmořskou výškou. Je to způsobeno vychylováním částic kosmického záření magnetickým polem Země.

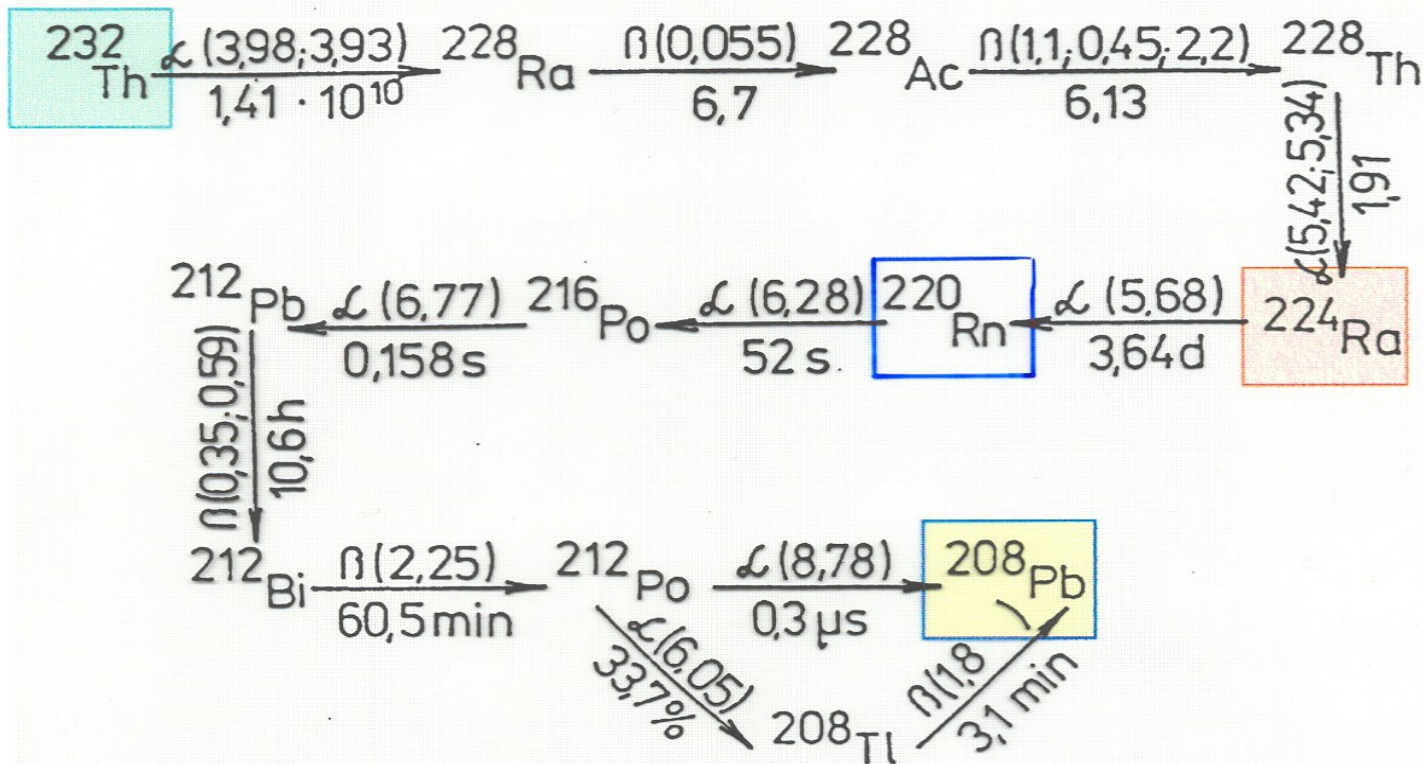
Přírodní radionuklidy s dlouhým poločasem přeměny

- Zemská kůra obsahuje asi třicet radionuklidů s poločasem přeměny delším než 10^9 roků.
- Významné jsou především ^{232}Th , ^{238}U a ^{40}K .
- První dva jsou obsaženy v zemské kůře v množství 6 mg U ($70\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) a 12 mg Th ($50\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) na 1kg zemské kůry. Oba jsou členy přírodních přeměnových řad.

Uranová přeměnová řada



Thoriová přeměnová řada



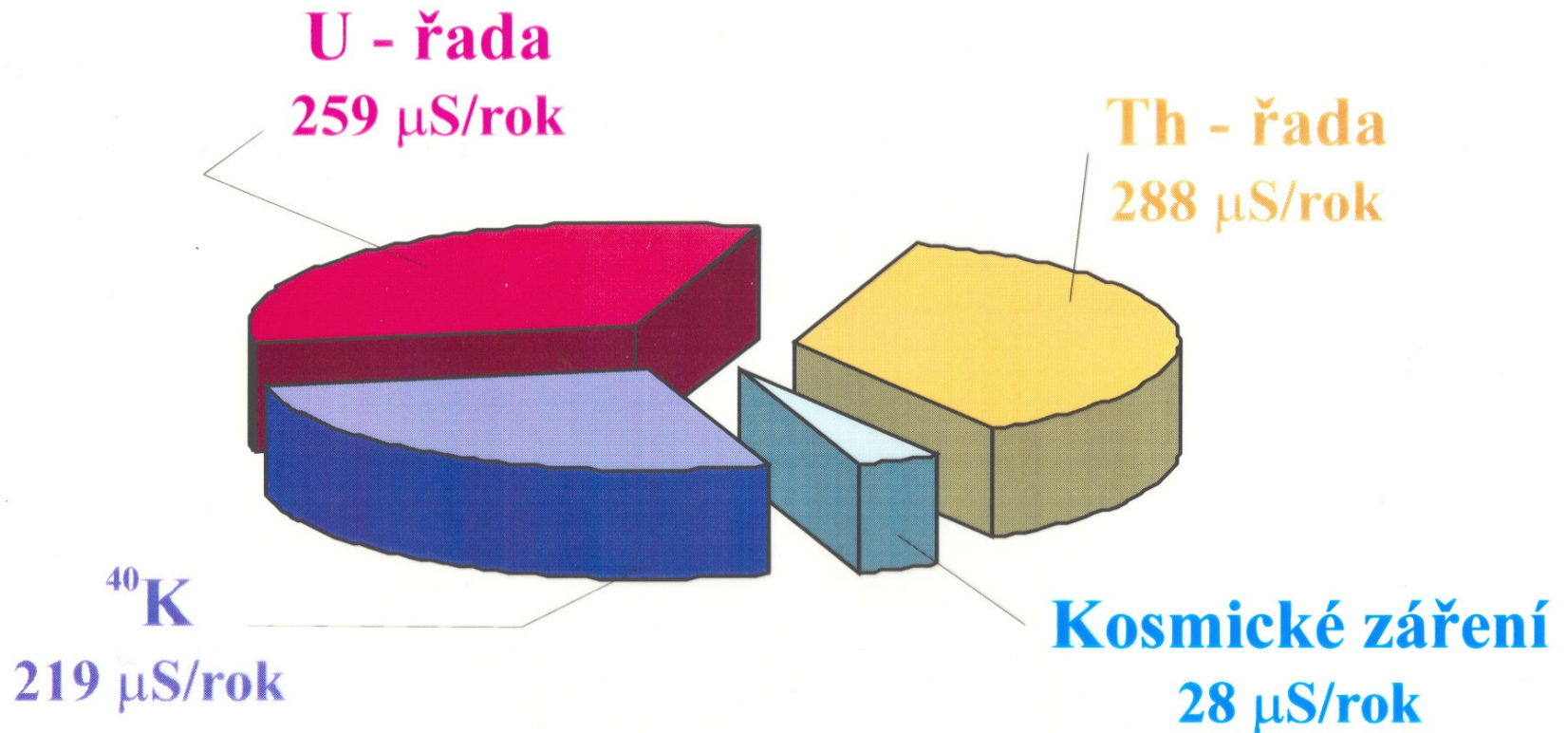
Draslík ^{40}K

- Je biogenní prvek, v přírodě značně rozšířen.
- Nachází se v mnoha minerálech, horninách a půdě. Zastoupení izotopu ^{40}K v draslíku je 0,012% ($313\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).
- Aktivita ^{40}K v zemské kůře je vyšší než aktivita všech ostatních přírodních radioaktivních izotopů dohromady.

Přírodní radionuklidy

- Produkty přeměny uranu, thoria a draslíku se podílejí na zevním a vnitřním ozáření lidského organismu.
- Zevní ozáření je způsobeno především pronikavým gama zářením ^{40}K a některých produktů přeměny ^{238}U a ^{232}Th .
- Vnitřní ozáření způsobují především produkty přeměny ^{238}U a ^{232}Th svým alfa, beta a gama zářením, především je to radioaktivní plyn radon.

Přírodní zdroje ozáření gama



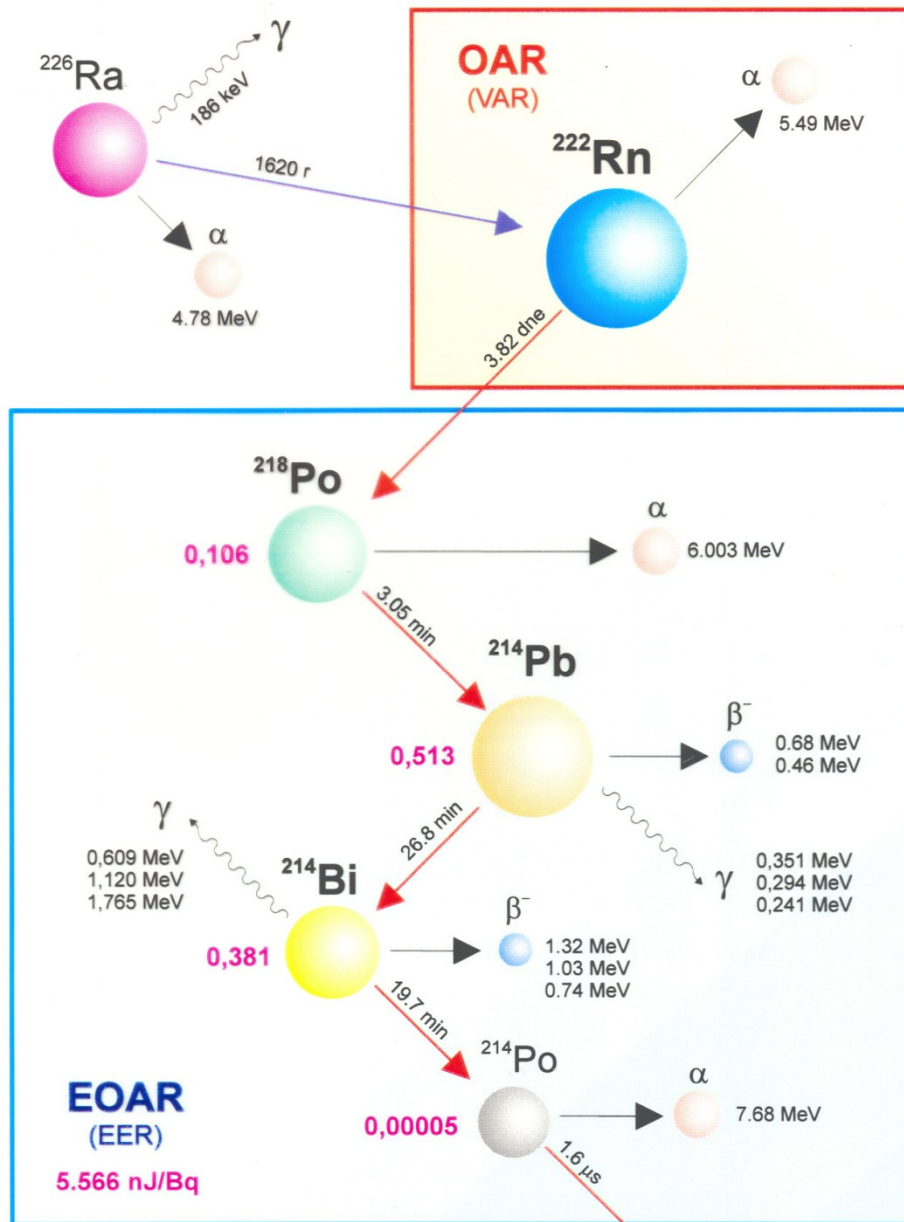
Celkem Efektivní. Dávka (přírodní zdroje) 796 $\mu\text{S}/\text{rok}$

Efektivní. Dávka (přírodní zdroje a ozáření ze staveb) 947 $\mu\text{S}/\text{rok}$

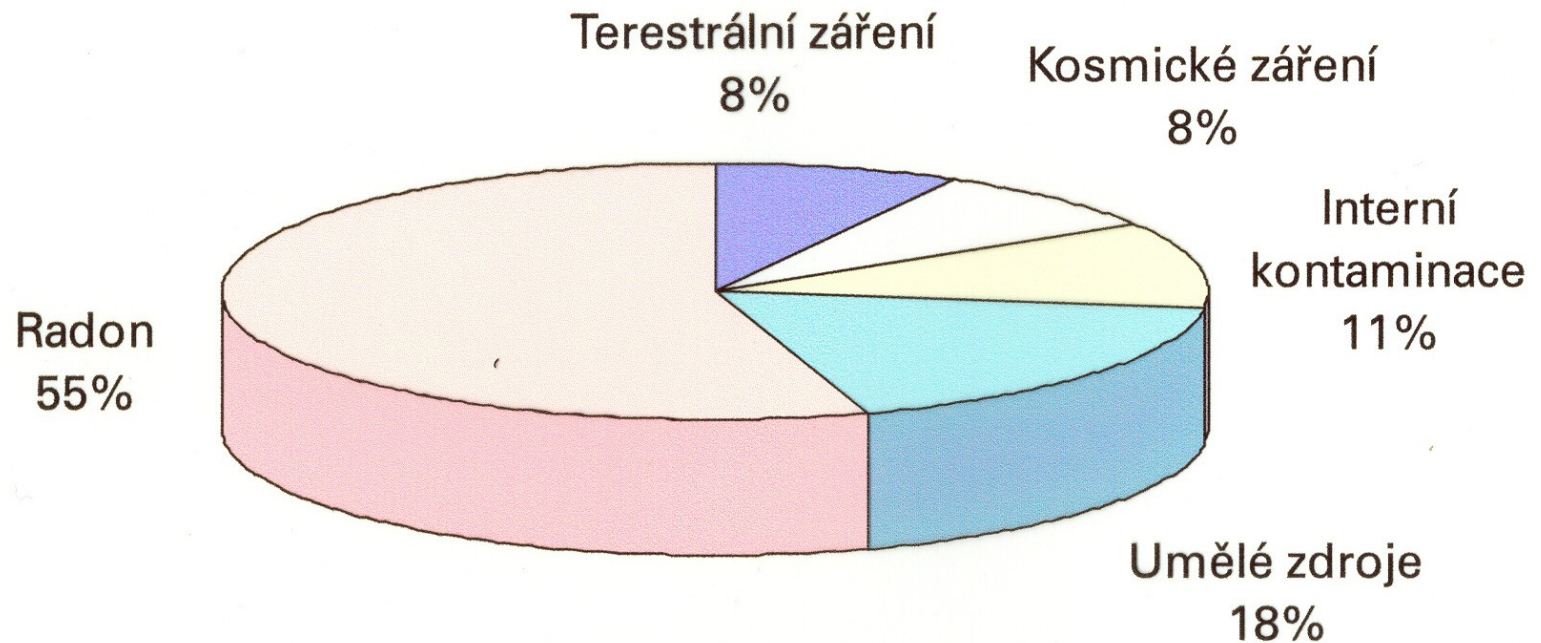
Radon a produkty jeho přeměny

- Radon je přirozenou a trvalou složkou ŽP
- Má tři izotopy ^{222}Rn , ^{220}Rn a ^{219}Rn vyskytující se ve všech přeměnových řadách.
- Mateřské nuklidy se vyskytují v horninách, půdě, stavebních materiálech a vodě – odtud se radon dostává do atmosféry a vzduchu budov.

Radon a produkty přeměny



Zdroje ozáření obyvatelstva



Zdroje ozáření obyvatelstva

- Některé další zdroje (mSv/rok):

- Kosmické a terestrální záření	0,65
- Vnitřní ozáření	0,3
- Stavební materiály	1,2
- Pravidelné sledování televize	0,02
- Spad – zkoušky JZ	0,08
- Cestování letadlem (10km,2h)	0,01
- RTG vyšetření plic	0,07
- Mamografie	10,4
- Vyšetření tlustého střeva	12,7

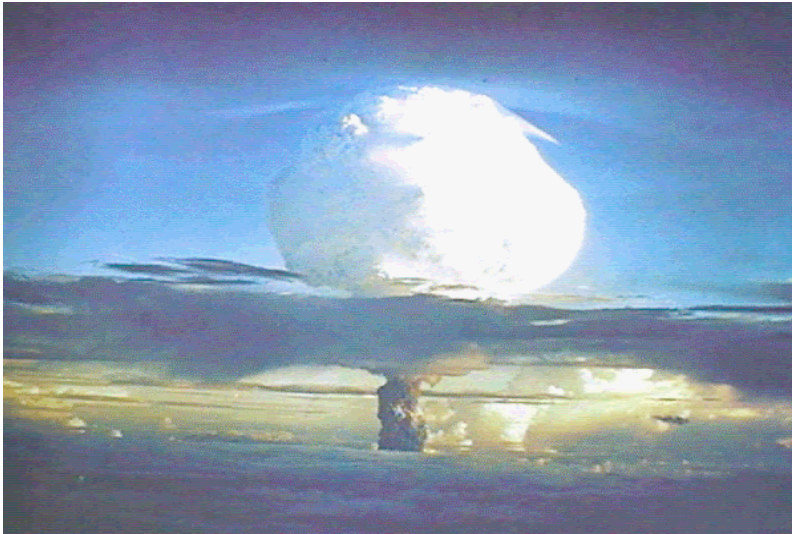
Umělá radioaktivita

- Zdroje umělé radioaktivity:
 - Testy jaderných zbraní, použití jaderných zbraní
 - Jaderná energetika
 - Lékařské, průmyslové a vědecké aplikace
 - Spotřební elektronika
 - Činnost vojsk (munice, radiolokátory)

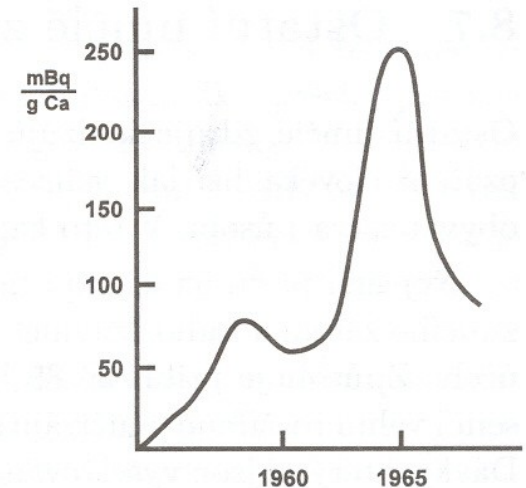
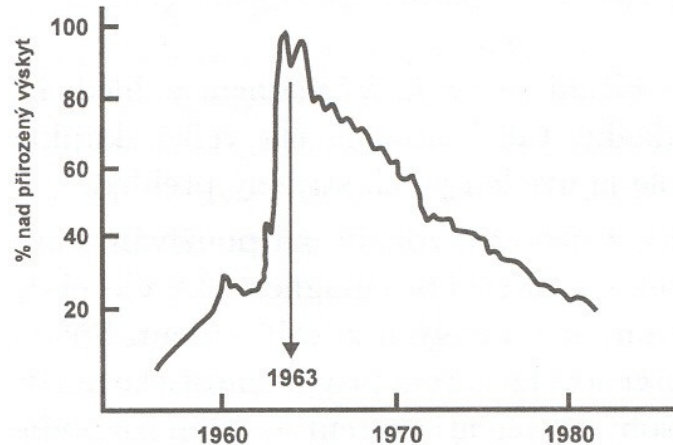
Jaderné zbraně – testy JZ v atmosféře

- Představovaly v 50-60 letech vážné radiační ohrožení lidstva. Při testech se do horních vrstev atmosféry dostalo obrovské množství radioaktivních látek, které po dlouhou dobu sedimentovaly jako radioaktivní spad na zemský povrch a to i místech značně vzdálených od místa výbuchu. Nejvýznamnější byly radionuklidy: ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{147}Pm , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{140}Ba , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{140}La . V roce 1963 byly nadzemní testy JZ zakázány. Do dnešní doby jsou v atmosféře nepatrná množství ^{90}Sr a ^{137}Cs .

Testy JZ v atmosféře



měrná aktivita ^{14}C v přízemní vrstvě
atmosféry – střední Evropa a
měrná aktivita ^{90}Sr v kostech dětí
do 4 let



Jaderná energetika

- Jaderné elektrárny za běžného provozu:

Při normálním provozu nepředstavuje jaderná elektrárna radiační riziko ani pro obyvatelstvo v jejím okolí ani pro pracovníky elektrárny. Jsou kontrolovány všechny plynné a kapalně vypustě a okolí jaderné elektrárny. Příspěvek provozu jaderné elektrárny k ozáření obyvatelstva je tak nízký, že jej nelze objektivně stanovit přímým měřením. Proto se výpočty dávek obyvatel v okolí JEZ provádějí pouze modelovým výpočtem.

Jaderná energetika

- Havárie jaderné elektrárny

Za dobu fungování jaderné energetiky došlo k více haváriím – pouze tři však měli za následek únik radioaktivity mimo objekt elektrárny.

- rok 1957 Windscale (VB) – přehřátí palivových článků – vznik požáru v důsledku reakcí paliva se vzduchem – únik radioaktivity do ovzduší

(10^{17} Bq ^{133}Xe , 10^{14} Bq ^{131}I , ^{137}Cs , 10^{12} Bq ^{90}Sr) – jodová profilaxe, zákaz konzumace mléka a mléčných výrobků

Jaderná energetika

- Havárie jaderné elektrárny
 - rok 1979 Three Mile Island (USA) – špatně nastavena regulace – roztopení aktivní zóny – únik radioaktivních plynů do ovzduší ($10^{17}\text{Bq } ^{133}\text{Xe}$, $4 \cdot 10^{14}\text{Bq } ^{131}\text{I}$) – evakuace dětí a těhotných žen z okolí JEZ (8km), doporučení nevycházet ven a nepoužívat klimatizaci (15km), velmi nízká kontaminace potravin – bez opatření.

Jaderná energetika

- Havárie jaderné elektrárny
 - rok 1986 Černobyl (SSSR) – fatální chyba obsluhy při experimentu s doběhem reaktoru – roztopení aktivní zóny – únik radioaktivity do ovzduší (celková uniklá aktivita 10^{19}Bq , $1,5 \cdot 10^{18}\text{Bq}$ ^{131}I , $9 \cdot 10^{16}\text{Bq}$ ^{137}Cs)
 - kontaminace obrovských území (16500km^2 v Bělorusku, 4600km^2 v Rusku a 8100km^2 na Ukrajině)
 - na likvidaci následků se podílelo přes 200.000 osob s průměrnou ekvival. dávkou záření 100mSv , 10% s větší než 250mSv a 3% s větší než 500mSv
 - 237 osob ozářeno dávkou nad 1Sv – 134 projevů nemoci z ozáření – 28 zemřelo do 3 měsíců, 1 úmrtí na infarkt
 - z dlouhodobého hlediska je nejzávažnějším zdravotním účinkem považován vysoký výskyt rakoviny štítné žlázy u dětí, které se narodily v období 6 měsíců před a 6 měsíců po havárii JE. Oproti běžné populaci je u nich diagnostikováno téměř 800 případů rakoviny štítné žlázy z nichž 3 již byly smrtelné. Vyskytla se neobvykle krátká doba latence – cca 4 roky. Mezi další zdravotní problémy patří nadměrný výskyt leukémie a jiná nádorová onemocnění a taktéž různé psychologické problémy (strach, deprese, psychické poruchy atd.)
 - šlo o globální katastrofu, neboť mrak s radioaktivními částicemi prolétl nad téměř celou Evropou
 - pozůstatky havárie lze na našem území najít dodnes – (zvýšená aktivita ^{137}Cs v mechu, borůvkách – mase lesní zvěře)

Jaderná energetika



Jaderná energetika – havárie Černobylu

Průběh experimentu:

25. duben 1986

13:05:00 – Výkon reaktoru byl snížen na polovinu a byl odstavený turbogenerátor. Krátce poté byl odpojen systém havarijního chlazení, aby nezačal fungovat v průběhu experimentu.

23:10:00 – Při snižování výkonu došlo k neobvyklé události – chybou operátora prudce klesl výkon na 30 MegaWattů. Reaktor je v tomto režimu dost nestabilní a operátoři měli v tom momentě experiment ukončit a reaktor definitivně odstavit. Rozhodli se však pokračovat.

26. duben 1986

01:23:04 – Reaktor byl stále nestabilní. Operátoři se ho pokusili stabilizovat a zvýšit výkon, což se jim nepodařilo ani s pomocí regulačních tyčí. Operátoři se dopustili poslední osudové chyby, když zablokovali havarijní signál, který by po uzavření přívodu páry k turbíně automaticky odstavil reaktor. Poté odstavili přívod páry a začali s experimentem...

01:23:40 – Havárie vrcholila, operátoři dali signál k havarijnímu odstavení reaktoru, ale účinek byl příliš pomalý na to, co se v reaktoru dělo. Pára, která se vyráběla z vroucí vody uvnitř reaktoru při vysoké teplotě a tlaku, reagovala s grafitovým moderátorem a vznikl výbušný vodík.

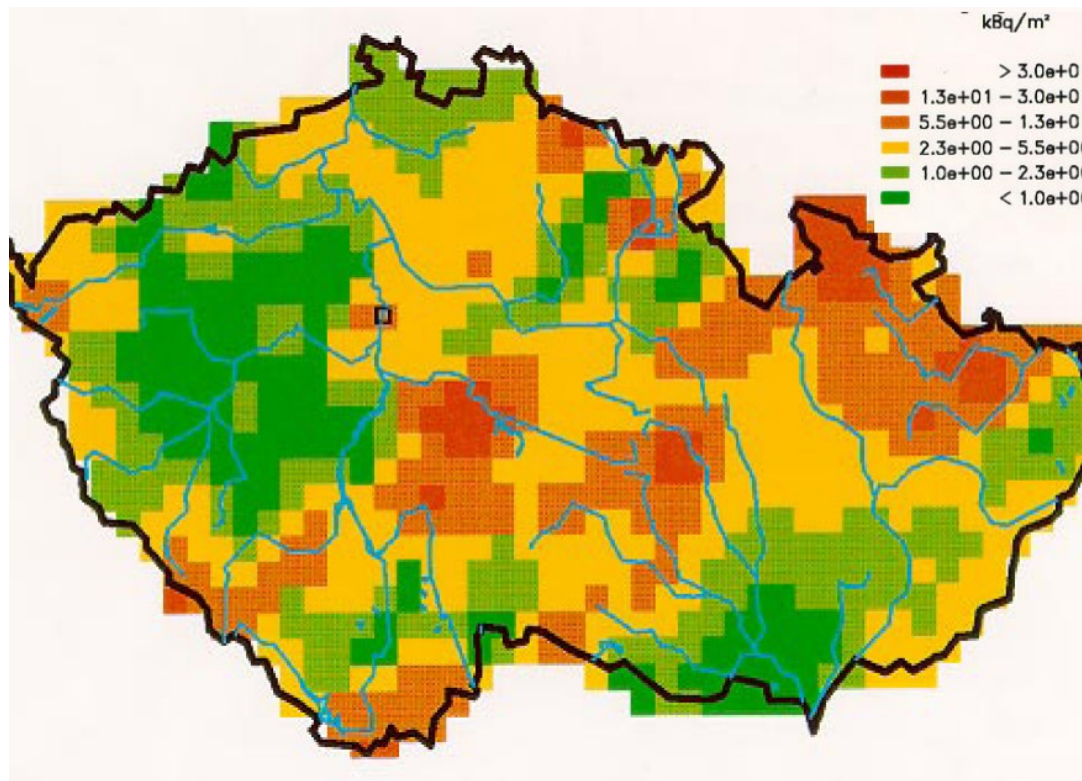
01:23:44 – Elektrárnou otřáslí dva mohutné výbuchy vodíku. Aktivní zóna byla rozmetána do okolí.

02:20:00 – Následný požár byl už pod kontrolou.

Cca 05:30 – Požár byl uhašen za cenu životů několika hasičů.

Jaderná energetika – havárie Černobylu

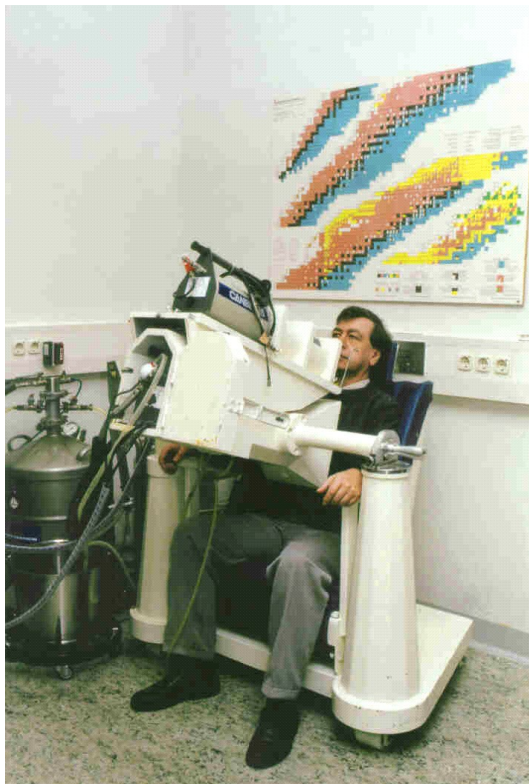
Aktivity ^{137}Cs v ČR po přechodu radioaktivních oblaků



Lékařské a vědecké aplikace

- Mají největší podíl na ozáření obyvatelstva z umělých zdrojů (cca 85%) – především lékařské, diagnostické a léčebné aplikace.
- Největších dávek ozáření se používá při ozařování nádorů, při vpravení radionuklidu přímo do nádoru, dále při RTG vyšetřeních .
- Existují doporučení evropské komise pro jednotlivé orgány – referenční dávky.

Lékařské a vědecké aplikace



Lékařské, průmyslové a vědecké aplikace

- Nekontrolovatelným zdrojem ozáření se v poslední době stávají průmyslové a lékařské zdroje radioaktivního záření, které nebyly po použití zlikvidovány předepsaným způsobem.



Radiační nehody

Továrna na zpracování železa a niklu – Glogovac (bývalá Jugoslávie)



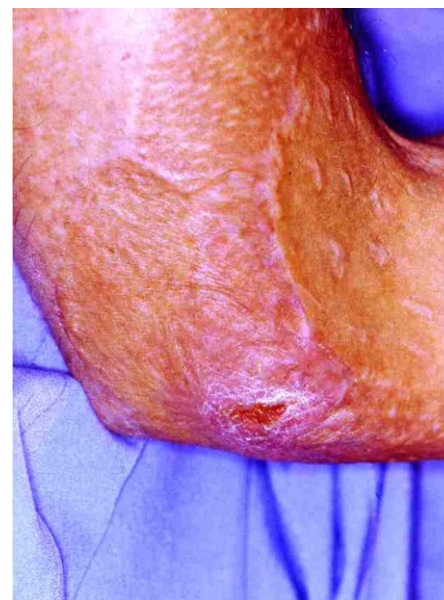
Radiační nehody

- Do železného šrotu bylo vyhozeno několik průmyslových zářičů, každý o aktivitě 3,7GBq ^{137}Cs (dávkový příkon 13 mSv/h) – nalezeno mezinárodními jednotkami SFOR.



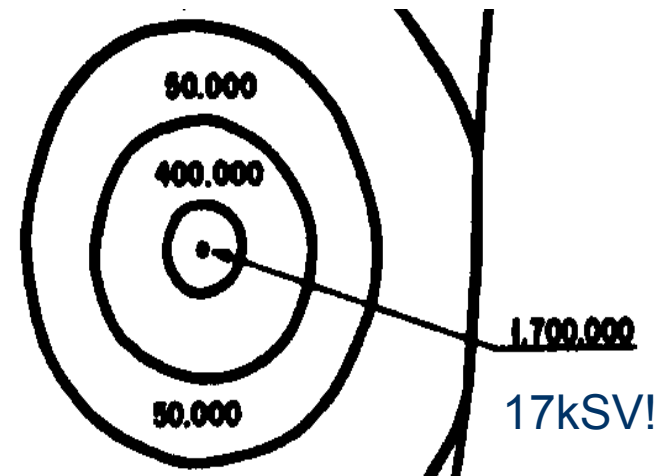
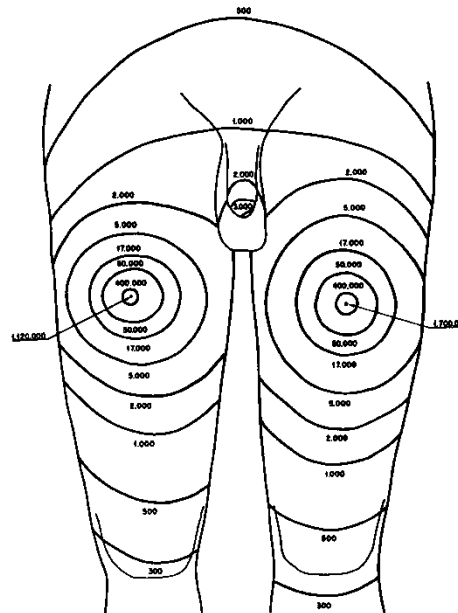
Radiační nehody

- Radiační poškození kůže beta zářičem
- 1986, 1990, 1992 (JE Černobyl)



Radiační nehody

Argentina, 3.5.1968 – skupinka lidí našla vyhozený průmyslový zářič ^{137}Cs = 480 GBq, nález si rozdělili a odnesli (po kapsách) domů.



Radiační nehody

- Ruce po 30 dnech



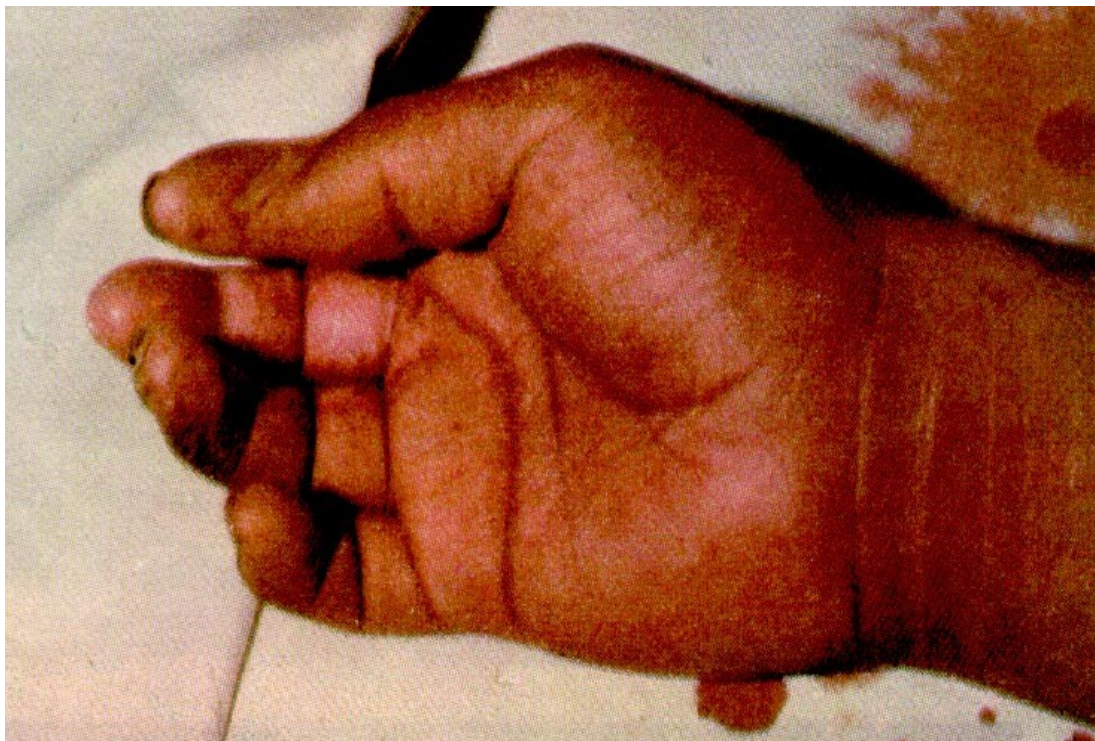
Radiační nehody

- Ruce po 60 dnech



Radiační nehody

- Ruce po 120 dnech



Radiační nehody

- Do půl roku od ozáření následovala amputace.

Radiační nehody

- Tělo po 30 dnech



Radiační nehody

- Tělo po 60 dnech



Radiační nehody

- Tělo po 120 dnech



Radiační nehody

- Tělo po 160 dnech



Radiační nehody

- Tělo po 250 dnech



Radiační nehody

- Tělo po 1 roce (úmrtí po roce a půl od ozáření)



Spotřební elektronika

- V nepatrné míře přispívají k ozáření člověka některé spotřební předměty. Televizní přijímače jsou zdrojem rtg záření o nízké energii (15-24 keV). Dávkový příkon ve vzdálenosti 5cm od obrazovky není větší než 5 μ Gy/h a rychle se zmenšuje se zvětšující se vzdáleností. Radioluminiscenční ciferníky dříve obsahovaly ^{226}Ra , dnes se používá ^3H . Ionizační detektory kouře obsahují ^{241}Am o aktivitě 40kBq. Dávkový příkon z takového zdroje je ovšem velmi nízký.
- Další dnes používaná spotřební elektronika je na tom z radiačního hlediska podobně jako televize.

Činnost vojsk

- V poslední době, zejména v souvislosti s používáním ochuzeného uranu ve vojenské munici, se rozebírala otázka možného ozáření osob, které se s takovou municí, případně s jejími následky dostanou do kontaktu.



Ochuzený uran

- Předně je potřeba vysvětlit pojem ochuzený uran. Jde o přírodní uran, který má mimo jiné z hlediska vojenského využití výborné vlastnosti, zejména v oblasti průraznosti, který je ochuzen o izotopy ^{233}U a ^{235}U , které se využívají v jaderné energetice a při výrobě jaderných zbraní. Jde v podstatě o „odpad“ vzniklý obohacováním uranu k výše uvedeným účelům.
- Ochuzený uran ve formě munice je z hlediska radiačního rizika takřka neškodný. Problémem je jeho relativně vysoká toxicita – ať již jako kovu, tak hlavně ve formě oxidů. Ty vznikají, když uranová munice exploduje a při průrazu pancíře shoří. Ve zničené bojové technice se potom nachází značné množství oxidů uranu, který ohrožuje potenciální „zvědavce“ navštěvující takto zasaženou bojovou techniku (stejně tak příslušníky likvidačních jednotek) svou vysokou toxicitou, která mnohonásobně převyšuje jakékoliv radiační riziko.

Ochuzený uran

Uran je chemicky prvek velmi reaktivní a oxid uranový vznikající při explozi střel a při jejich korozi má okamžité smrtící účinky v dávce 6 mg/kg a je tedy DESETKRÁT jedovatější než ostře sledovaný chrom nebo kadmium a stejně jedovatý jako oblíbený travičský prostředek arsenik. Při explozi střela uvolňuje tento jed okamžitě do svého okolí, má tím ihned zabít nepřítele v krytech, kam se má probít. Jak uran reaguje v dlouhodobě podávaných podprahových dávkách, se moc neví. Podle dosud známých a v podstatě veřejně dostupných údajů způsobuje docela jistě poškození ledvin, jater, je prokázaným karcinogenem. Chronické otravy působené nižšími dávkami dlouhodobě mají za následek poškození plic, tvorby krve, nervů, vnitřních orgánů, sníženou plodnost a narušení vývoje plodu. Všemi svými účinky je jednoznačně mutagenní. Zatím utajované vojenské výzkumy jistě přinesly mnohem hlubší poznatky, které zatím neznáme. Příznaky popisované u vojáků z Bosny jsou obdobné, jako u chronických otrav olovem a potvrzují i údaje o toxicitě uranu. Střela během letu a při explozi částečně oxiduje a uvolňuje do svého okolí oxid uranový, který je nejtoxičtější složkou z produktů. Kovové střepiny však uvolňují tyto produkty dál a nikdo neví, jakou rychlostí dochází u slitin v oceli ke korozi a uvolňování jejích produktů. Střepiny střel již nikdo nesesbírá a tak budou podzemní vody a půda v místech dopadu střel na celá staletí otrávené nebo alespoň potenciálně nebezpečné. Uran se bude dostávat z půdy do potravinového řetězce. Kolik se ho tam do dnešního dne skutečně dostalo, nikdo neví. Toxicitu uranu považují odborníci za větší nebezpečí, než jeho radioaktivní účinky. A např. plutonium je sto až tisíckrát toxičtější než uran.

Ochuzený uran



Množství jaderné výbušniny nutné k uskutečnění jaderného výbuchu

- Kritická množství izotopů

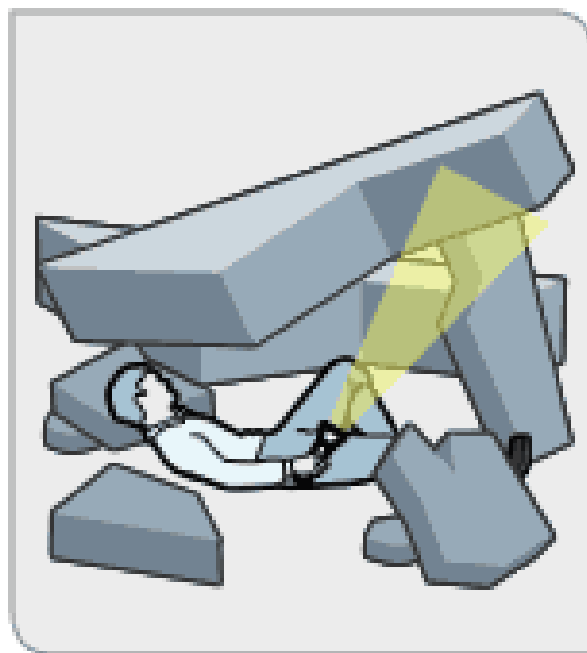
– ^{233}U	17 kg
– ^{233}U s použitím odražeče n	5 kg
– ^{235}U	44 kg
– ^{235}U s použitím odražeče n	15 kg
– ^{239}Pu	15 kg
– ^{239}Pu s použitím odražeče n	4,4 kg
– ^{249}Cf	5,3 g
– ^{249}Cf s použitím odražeče n	1,6 g

Speciální piktoqramy



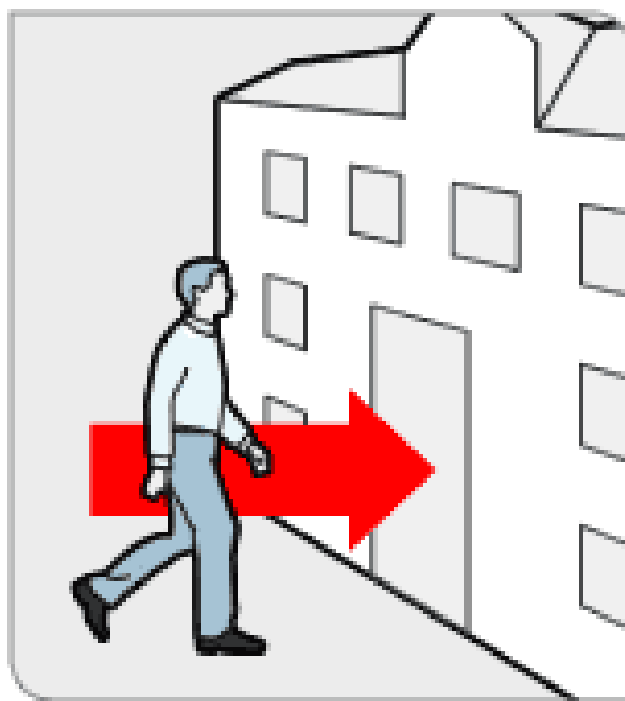
Pokud Vám kolega zapálí záda – neutíkejte!

Speciální piktoqramy



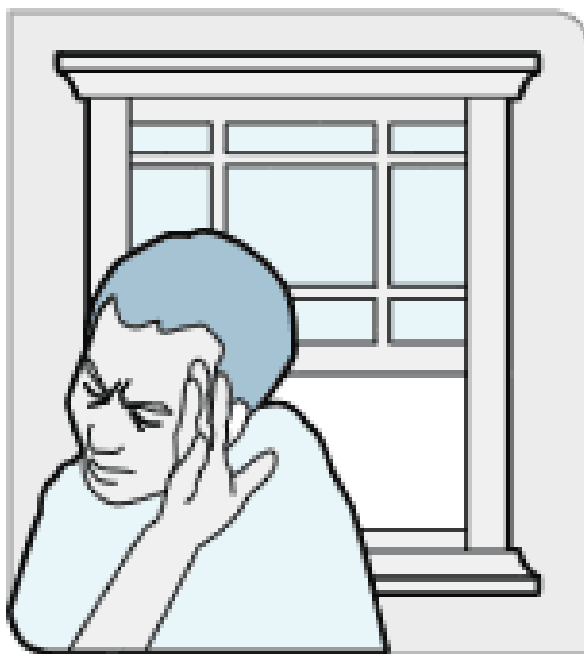
Pokud Vás zavalí trosky budovy, použijte světlo baterky k jejich odstranění!

Speciální piktogramy



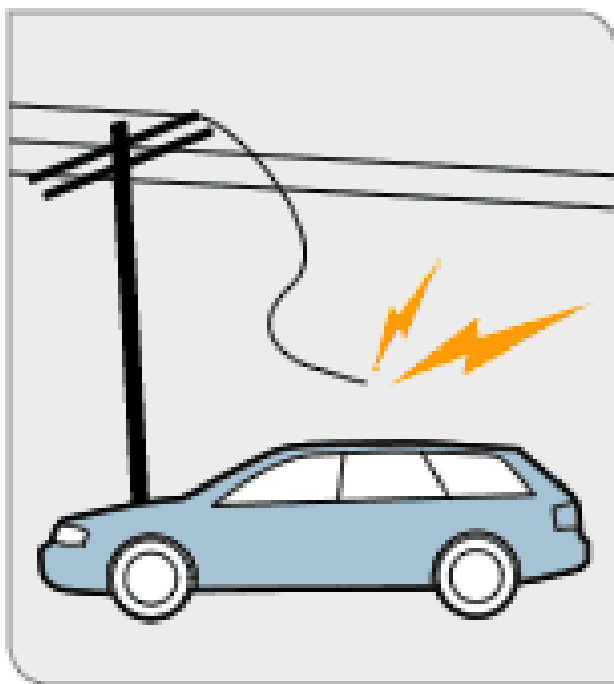
**Po jaderném útoku je třeba zvážit, že jste mohli zmutovat do obřích rozměrů.
Pozor na hlavu!**

Speciální piktoqramy



Stal-li se z vás po ozáření mutant s odpornou hnátou, zavřete okno. Nikoho ten hnus nezajímá !

Speciální piktogramy



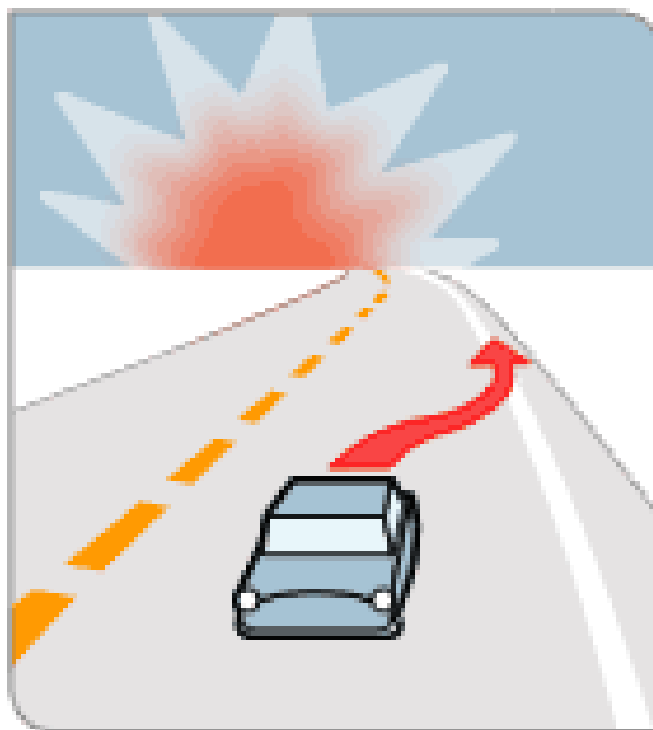
Nepokoušejte se odjet autem, kterému trčí sloup z kapoty !

Speciální piktoqramy



Dva centimetry papundeklu jsou dostatečná ochrana před zářením !

Speciální piktogramy



Spatříte-li na obzoru nukleární výbuch, zajeďte ke straně a vychutnejte si to !