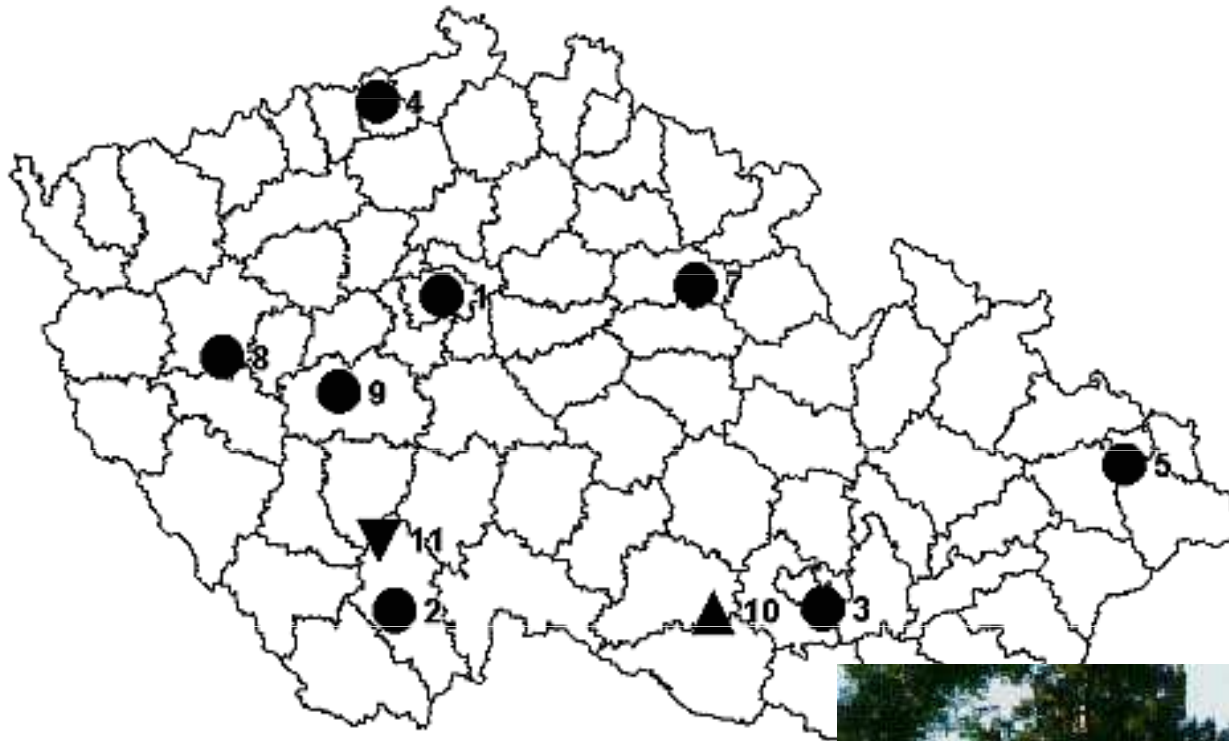


Ozáření obyvatelstva z různých zdrojů

ZDROJE		Dávka ($\mu\text{Sv/r}$)
PŘÍRODNÍ ZDROJE		
Prostředí	Kosmické záření	280
	Záření zemské kůry	260
Vnitřní radioisotopy v těle		260
UMĚLÉ ZDROJE		
Prostředí	Technolog. zvýšení (uhlí atd.)	40
	Spad z jaderných výbuch	40
	Jaderné elektrárny	3
Lékařství	Diagnostika	780
	Radioizotopy	140
Profesionální expozice		10
Spotřební zboží a další		50

Monitorování radionuklidů v ovzduší



Zařízení pro odběr aerosolu (průtoky v rozmezí 40 - 900 m³/h). Filtr s kontinuálně odebíraným aerosolem je měněn zpravidla v týdenních intervalech a následně měřen pomocí polovodičové spektrometrie gama.



Radiační dávky

Ionizující záření vyjadřujeme dávkovým ekvivalentem v sievertch (Sv).

limit pro pracovníka se zářením	50 mSv/rok
přírodní radiační pozadí občana ČR	2,0 až 3 mSv/rok
přírodní radiační pozadí občana Kerale v Indii	17 mSv/rok
přírodní radiační pozadí občana Guapari v Brazílii	175 mSv/rok
přírodní radiační pozadí občana Ramsaru v Iránu	400 mSv/rok
RTG střev	4 mSv
RTG žaludku	2,4 mSv
RTG kyčlí	1,7 mSv
pracovník JE Dukovany obdrží	0,4 mSv/rok
člověk sledující televizi 1 hodinu denně	0,01 mSv/rok
člověk žijící v okolí uhelné elektrárny	0,01 mSv/rok
obyvatelstvo v okolí JE Dukovany obdrží	0,005 mSv/rok
3 lety nadzvukovým letadlem Praha - USA	0,38 mSv/rok

Obsah radionuklidů v atmosféře a jejich původ

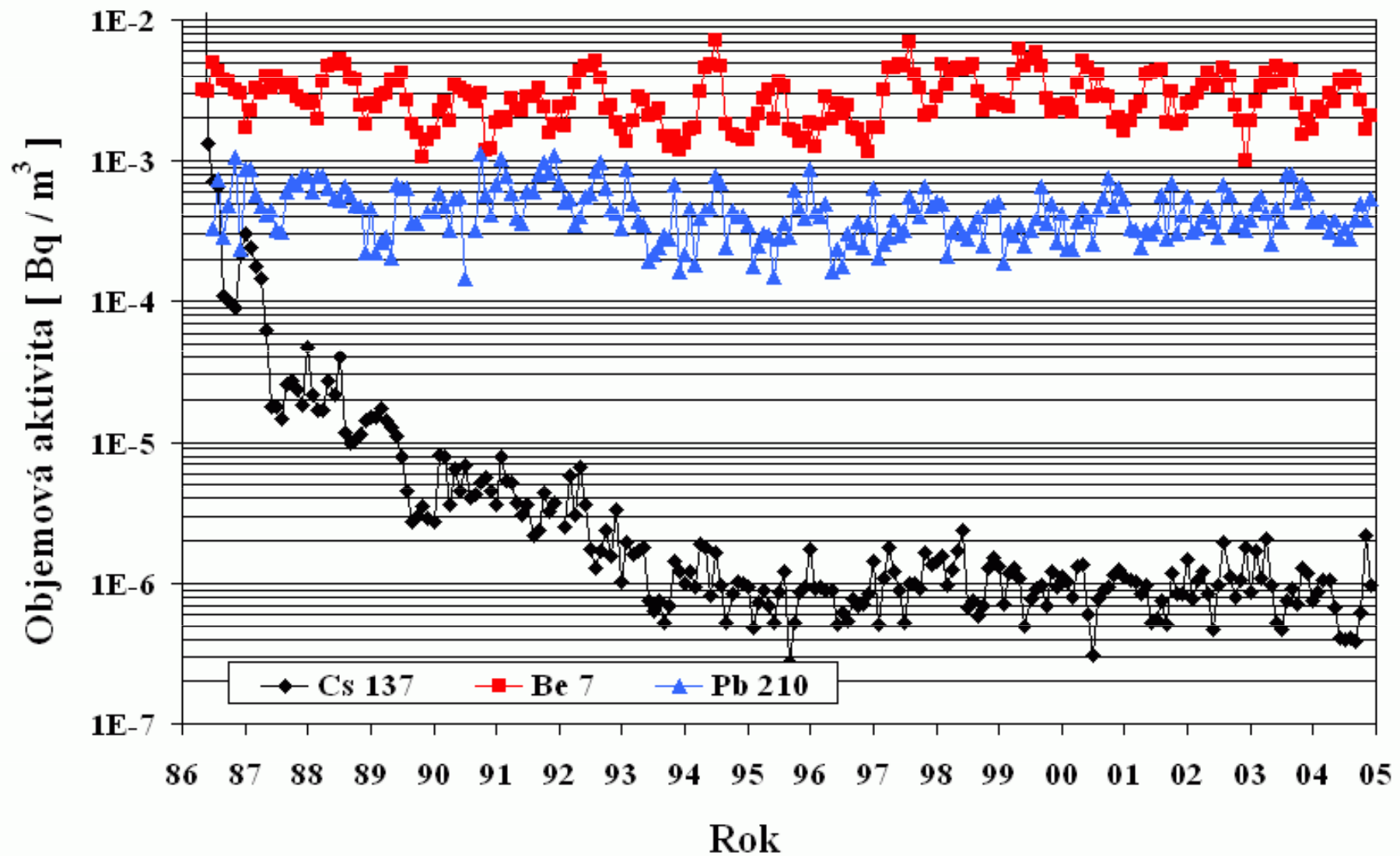
^{137}Cs je především dána přísunem z vyšších vrstev atmosféry a resuspenzí původního spadu z půdního povrchu. Její hodnota se v současné době pohybuje okolo 1 mBq/m^3 . Část aktivity ^{137}Cs pochází z globálního spadu, který je důsledkem dřívějších zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, část pochází z havárie jaderné elektrárny v Černobylu.

^7Be je kosmogenního původu a vykazuje typické sezónní variace dané charakterem vzdušného proudění v průběhu každého roku. Průměrná hodnota objemové aktivity je okolo 3000 mBq/m^3 .

^{210}Pb je produktem přeměny ^{222}Rn . Jeho průměrná dlouhodobá hodnota činí přibližně 500 mBq/m^3 .

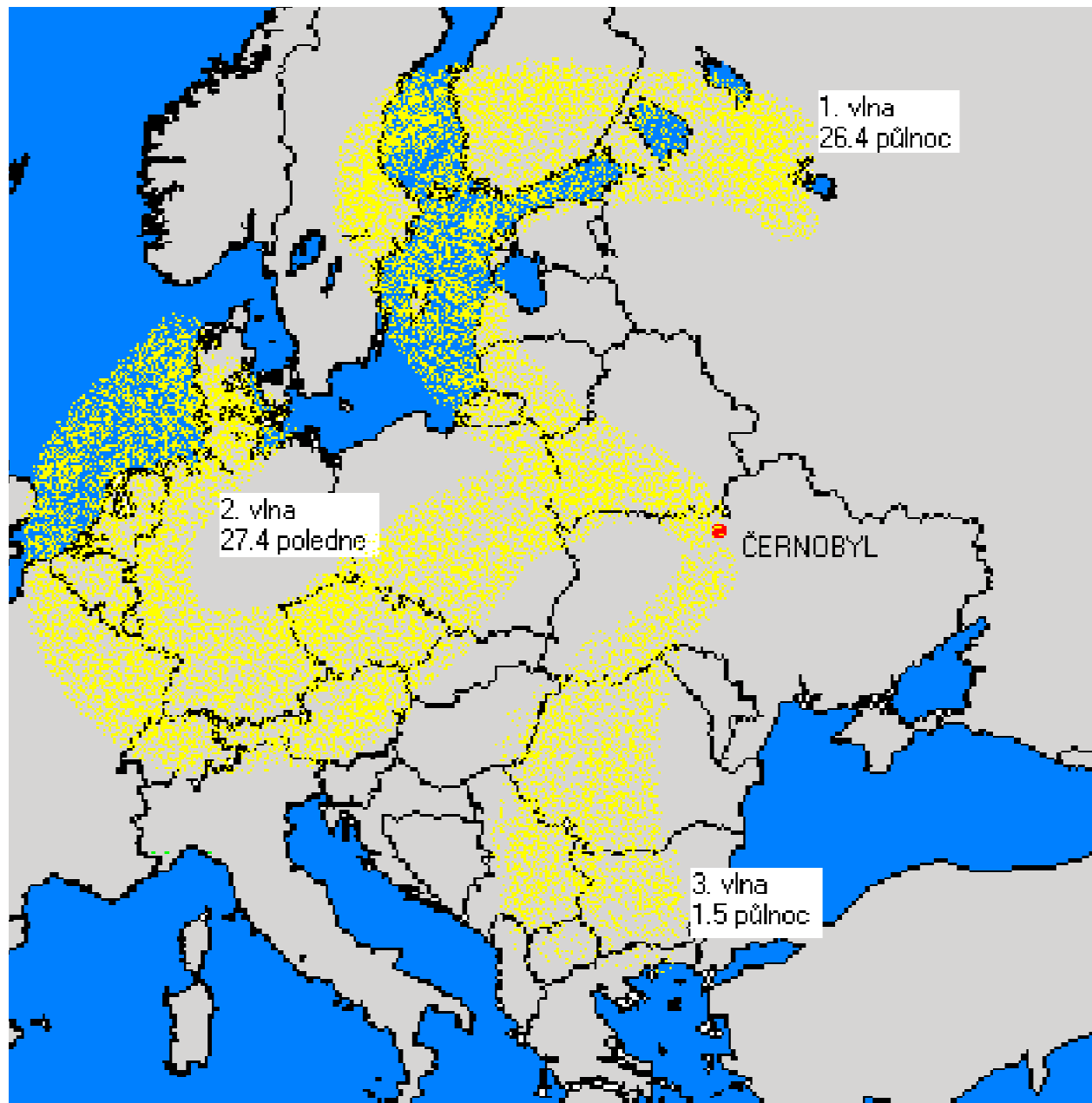
^{85}Kr pochází ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, ze závodů na přepracování jaderného paliva a v malé míře též z výpustí jaderných elektráren. Jde o jeden z tzv. globálních radionuklidů, které přispívají k ozáření populace více méně rovnoměrně po celém světě. Hodnota jeho objemové aktivity mírně vzrůstá.

Radionuklidy v ovzduší
Průměrné měsíční hodnoty objemové aktivity
 ^{137}Cs , ^7Be a ^{210}Pb
ve vzdušném aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha



Havárie v jaderné elektrárně Černobyl

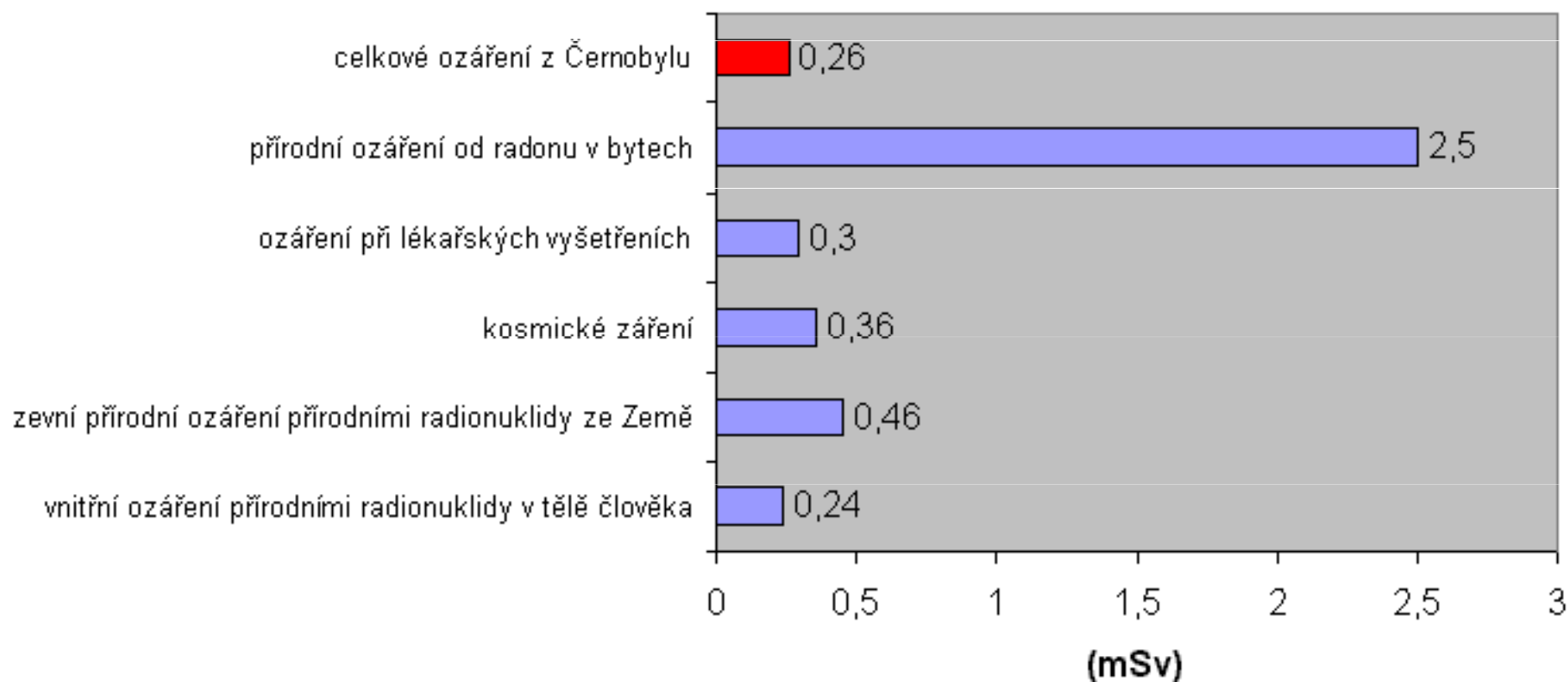
26.dubna roku 1986 v 1 hodinu 23 minut



Jód s poločasem rozpadu 8 dní byl nebezpečný pouze v prvních týdnech po havárii, ohrožena byla hlavně štítná žláza u dětí.

Cesium s poločasem rozpadu 30 let se zapojilo do potravinového řetězce (např. houby, divočina) a bude v něm působit desítky let.

Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986



Radon

- radioaktivní plyn vznikající **přírodním rozpadem uranu** přes radium
- bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, nehořlavý, lidskými smysly nedetekovatelný
- sám škodlivý není, to jeho produkty, vznikající přírodním rozpadem. Jsou to částice snadno se spojující s pevnými a kapalnými částicemi v ovzduší a vytváří **radioaktivní aerosol**. Dále se rozpadají na alfa a beta záření a končí olovem.

Nebezpečí pro člověka = koncentrace dceřinných produktů radonu na povrchu dýchacích cest a jeho ozařování **alfa zářením**

Účinky jsou somatické a genetické (postihují potomky).

Radon – zdroje a šíření

- nejvýznamnější jsou stopová množství v **zemské kůře** (nejvyšší koncentrace jsou obvyklé ve vyvřelých, magmatických horninách, jako jsou např. žuly, protože primárně již v době svého vzniku byly obohaceny uranem)
- uvolňuje se z půdy (propustné – štěrkovité horniny, tektonické zlomy), difunduje do atmosféry, kde běžně 4 až 6 Bq/m³
- pokud uniká do dutin v budovách, může být až 100 000 Bq/m³, ve vyšších podlažích klesá
- průměr v budovách v ČR = 59 Bq/m³ s velkým rozptylem
- zdroj v interiéru – **cigaretový kouř**
- stavební **hmoty z důlních odpadů** – některé druhy škváry a popílku, obecně silikáty (zejména beton – radioaktivní písek)

Difúzní délka radonu – vzdálenost, kterou urazí radon od zdroje během níž klesne jeho aktivita 2,72 x:

Polyetylen 0,25 cm, mikroten 0,61 cm, těžký beton 10 cm, omítky 30 cm, pórobeton 57 cm.

Radon – limity a optimalizace

Radonový index pozemku je podle § 6 odst. 4 zákona určen k posouzení a usměrnění možného pronikání radonu z geologického podloží do budov. Při jeho stanovení se postupuje tak, že se vychází z těchto měření a ukazatelů:

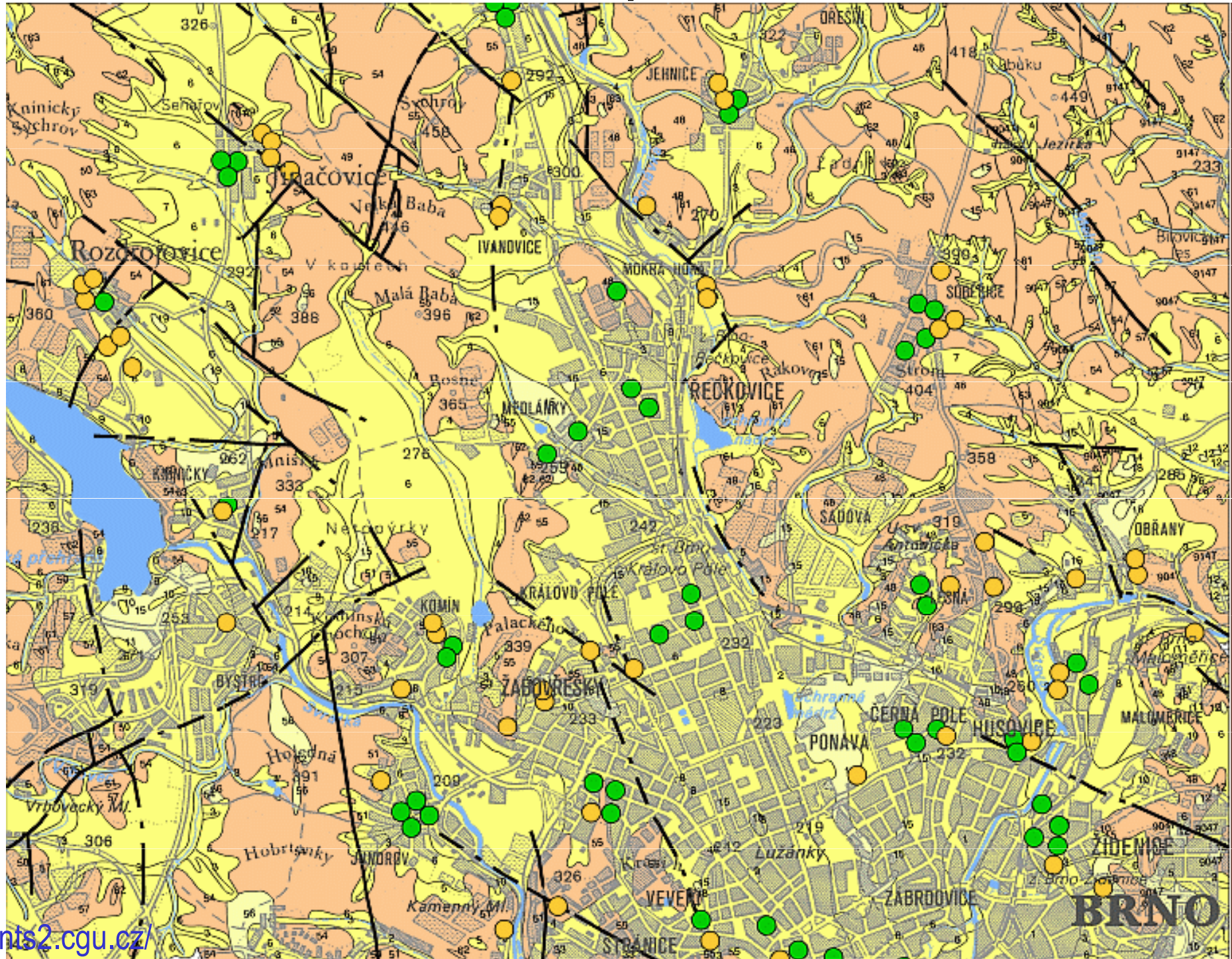
- a) reprezentativního souboru měření objemové aktivity radonu ^{222}Rn v půdním vzduchu (80cm pod povrchem, 15 vzorků – nehomogenita půdy),
- b) posouzení plynopropustnosti základových půd v kontaktním prostředí budovy s geologickým podložím,
- c) posouzení dalších ukazatelů a charakteristik geologického podloží ovlivňujících transport radonu v základových půdách

Směrné hodnoty pro stavební úpravy ve stavbách pro pobyt lidí:

Stávající stavby: 400 Bq/m^3

Projektované stavby: 200 Bq/m^3

Radonová mapa – Brno SZ

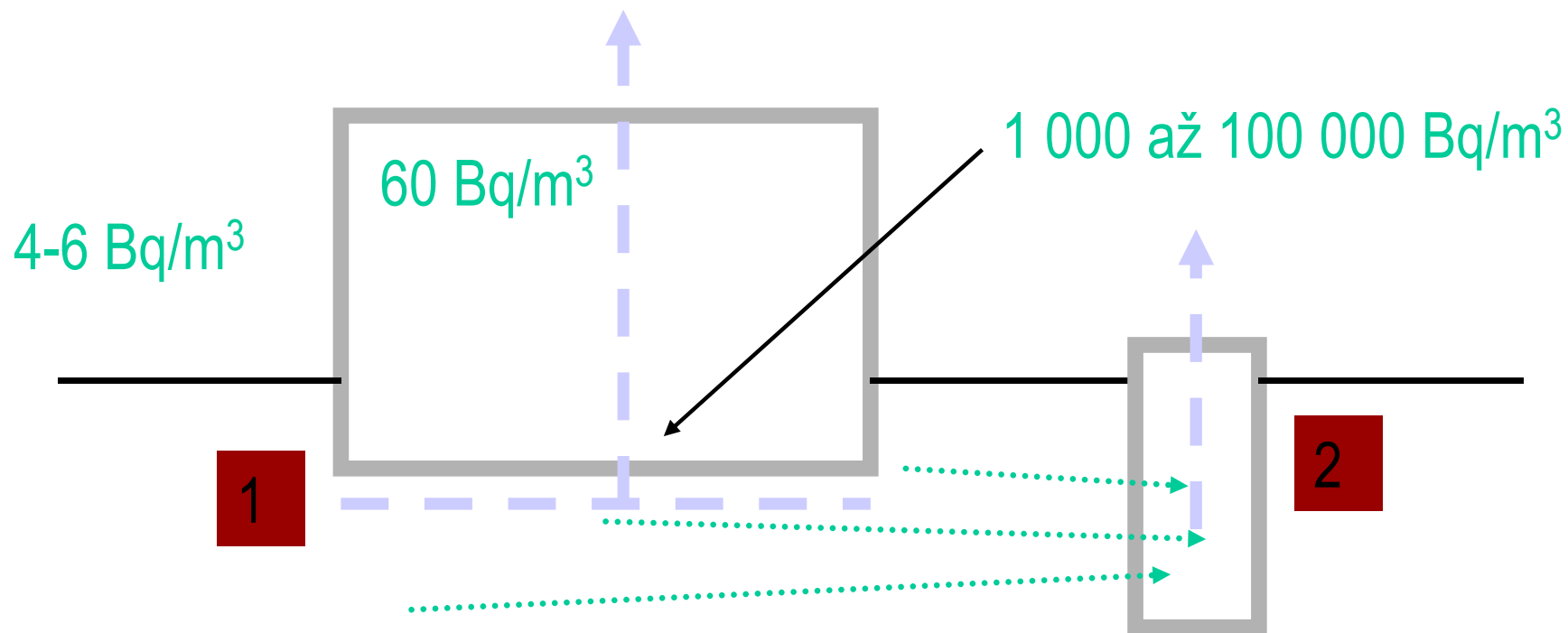


Radon – výskyt v budovách

Jeden z výzkumných projektů sledoval úroveň radonu v různých typech objektů na homogenním podloží s vysokým indexem. Výsledky ukazují, že radon nejsnáze proniká do objektů typu **rodinného domku, postaveného před r. 1960**, s izolací základové desky ve špatném technickém stavu a nepodsklepeného. Naopak ve **vícepodlažních objektech mladšího data** výstavby v dobrém technickém stavu se setkáváme s nižšími hodnotami objemové aktivity radonu, i když je objekt situován na podloží s vysokým indexem. Z toho je zřejmé, že technický stav objektu, zejména jeho izolace od podloží, může výrazně ovlivnit výslednou hodnotu obsahu radonu v objektu.

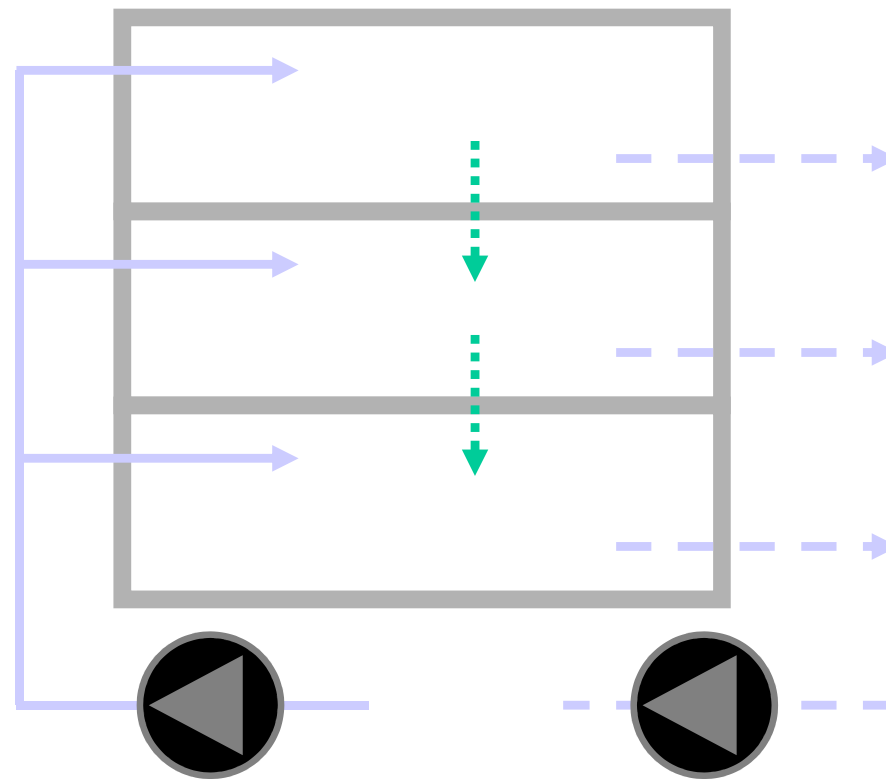
Radon – optimalizace zásahem do zdroje

1. **odvětrání podloží** (drenážní systém – nopované fólie)
2. **radonová studně** (10 až 80m od objektu, dno pod základovou spárkou, nucený odvod vzduchu – vhodné pro průvzdušné podloží)
povrchová úprava stěn – nátěry, tapety jsou zpravidla málo účinné



Radon – optimalizace zásahem do pole přenosu

1. Omezení šíření radioaktivních látek budovou
2. Větrání s kaskádovými tlakovými poměry
3. Filtrace není účinná



Ionizující záření

Ionizující záření - označení pro záření, jehož energie postačuje k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky.

-konvenčně je za hranici ioniz. záření považována energie

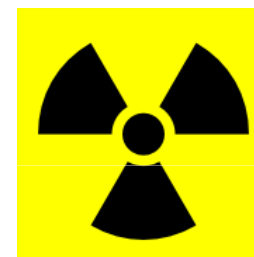
- **5 keV**

pro fotonové záření X, γ , záření β^- a α záření.

Pro neutronové záření a záření β^+ je kvantifikace obtížnější, i pomalé částice (v příp. neutronů) vstupují do jader a vyvolávají sekundární ionizaci prostřednictvím jaderných reakcí.

Obdobný případ nastává v příp. pozitronů,

UV, VID mají energie fotonů 1 – 125 eV



Základní veličiny pro dozimetrii

Fyzikálně-chemické účinky ionizujícího záření

Název "ionizující záření" napovídá, že **primárním** účinkem tohoto záření na každou látku je **ionizace**.

Je-li ozařovaná látka **prvkem**, **rekombinují** zářením uvolněné elektrony s kladnými ionty za vzniku týčž atomů prvku jako před ozářením. Chemické a fyzikální změny nejsou buď **žádné**, nebo nevýznamné *); např. vznik atomárního kyslíku a ozonu při ozařování plynného kyslíku O₂.

Pokud je však ozařovanou látkou **sloučenina**, zvláště složitá organická látka, ionizace atomů může vést k řadě **chemických změn a reakcí** - ionizované atomy se **uvolňují** z chemických vazeb, dochází k **disociaci molekul**, vznikají **vysoce reaktivní radikály**, které dále chemicky reagují a tak mohou vznikat nové sloučeniny. Rozklad sloučenin působením ionizujícího záření se nazývá **radiolýza**.

Míra účinků záření na látku (jakož i indukovaných účinků biologických, pokud ozařovanou látkou je živá tkáň) je úměrná **koncentraci iontů** vzniklých v daném objemu látky. A tato koncentrace iontů je zase úměrná **energii** záření, která se v daném objemu látky **absorbovala**.

Dávkový příkon \dot{D} , dD/dt

je dávka obdržena v daném místě ozařovanou látkou za jednotku času, tedy poměr přírůstku dávky ΔD za časový interval Δt :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

průměrné hodnoty dávkových příkonů na území ČR

100 nGy/h

Brazílie - monazit

50000 nGy/h

Starší jednotky pro hodnocení účinku nepřímo ionizujícího záření na látku

Kerma má velmi podobnou definici a stejnou jednotku Gy jako absorb. dávka D , přičemž za ΔE se bere součet kinetických energií všech nabitých částic uvolněných při interakci nenabitých ionizujících částic v uvažovaném objemu látky o hmotnosti Δm .

U kermy je třeba specifikovat, k jaké látce se vztahuje (např. kerma ve vzduchu či kerma v tkáni). Pro záření gama o energii menší než 3MeV hodnoty obou veličin (kermy a dávky) prakticky splývají. *kinetic energy released in material*

Expozice – expoziční dávka je definována jako poměr absolutní hodnoty ΔQ celkového *elektrického náboje* iontů jednoho znaménka, které byly uvolněny při interakci **fotonů** (X, gama) v hmotnostním elementu *vzduchu* o hmotnosti Δm , při úplném zabrzdění všech vzniklých elektronů a pozitronů $\Delta Q/\Delta m$, vztažený jednotku hmotnosti tohoto vzduchu.

Jednotkou expozice je $[C.kg^{-1}]$ (dříve *rentgen*, přičemž $1R=0,258 C.kg^{-1}$), tato veličina se snadno měří, lze ji přepočítat za urč.podmínek na dávku D .

Zákl. veličina - **absorbovaná dávka D** v sobě nezahrnuje okamžité **lokální rozložení energie** přenesené na látku, které může ovlivnit konkrétní procesy fyzikálních, chemických (a zvl. biologických) účinků ionizujícího záření.

Tak se zavádí veličina, která popisuje míru ztrát energie podél dráhy částice v látce, tedy míru brzdění částice a **hustotu vytvářených iontů** podél trajektorie:

Lineární přenos energie

představuje střední energii lokálně předanou látce prolétající částicí, vztaženou na jednotkovou dráhu částice:

$$L = \Delta E / \Delta x ,$$

kde ΔE je energie odevzdaná nabitou částicí při jejím průchodu po dráze Δx .

Jednotkou L je $[J.m^{-1}]$, v praxi $[1 \text{ keV}\mu\text{m}^{-1} = 1,602.10^{-10} \text{ J.m}^{-1}]$.

Má-li záření krátký dosah (alfa), je absorbovaná energie rozložena podél krátké dráhy, lineární přenos je vysoký, ionty jsou podél dráhy částice rozloženy hustě.

Např. beta krátký dolet (v tkáni cca 3 – 4 mm)

Někdy se zavádí i veličina *lineární ionizace*, což je počet iontových párů vztažený na jednotkovou dráhu částice (např. na mikrometr délky dráhy).

Dolet částice

Částice alfa jsou vysílány radioaktivními prvky rychlostí řádově rovnou 10^7 m.s^{-1} . Existuje souvislost mezi počáteční rychlostí α -částice a poločasem radioaktivní přeměny: Čím menší je poločas, tím rychlejší částice α prvek vysílá. Při průchodu látkou ztrácí částice svou energii, až se zastaví. Ztrátu energie způsobují nepružné srážky s elektrony atomů. Délka dráhy, na které ztratí částice veškerou počáteční kinetickou energii, se nazývá dolet částice a označuje se R . Jestliže místo pojmu částice používáme pojem „záření“, pak ekvivalentní veličinou k doletu částice je lineární dosah záření. Pro vzduch za normálního tlaku pro různé radioaktivní prvky, tzn. pro energie α -částic od 4,0 do 10,0 MeV, je dolet v rozmezí od 2,6 do 11,5 cm. Existence rozmezí doletu částice je dáno skutečností, že různé radionuklidy emitují částice alfa s různými počátečními rychlostmi. Avšak u téhož radionuklidu se počáteční rychlosti částic liší jen málo. Proto může být lineární dosah důležitou charakteristikou radioaktivního záření α . Na obr. 2 je závislost počtu n částic - α v paprsku na délce jejich dráhy l . Až do hodnoty $l = R_{\min}$ zůstává počet částic konstantní, pak rychle klesá.

| Spektrum energií částic α je diskrétní.

Spektrum energií elektronu nebo pozitronu při přeměně je spojité, mění se od nuly do maximální hodnoty W_{\max} (Podle druhu radionuklidu jde o 5keV do 5MeV.)

Dolet částic beta – tab. 1

W (β) [MeV]	R_s [mm]		
	vzduch	Organická tkáň	hliník
10⁻²	1,3	2 * 10⁻³	6,0 * 10⁻⁴
10⁻¹	1,01 * 10²	0,158	5,0 * 10⁻²
10⁰	3,06 * 10³	4,80	1,52
10¹	3,90 * 10⁴	60,8	19,2

Střední dolet částic představuje nejpravděpodobnější dráhu, kterou je schopna částice v daném prostředí urazit.

Radiobiologická účinnost záření; dávkový ekvivalent

Z hlediska biolog.účinků ionizujícího záření na ozařovanou látku záření dělíme podle **hustoty ionizace**:

- **Záření řídké ionizující** - záření X, gama, beta.
- **Záření hustě ionizující** - záření alfa, neutronové a protonové záření.

Biologická účinnost záření se liší právě v závislosti na hustotě ionizace, proto se pro každý druh záření zavádí

tzv. **jakostní faktor Q** ("radiační váhový faktor" nebo "RBE relativní biologická účinnost"),

toto číslo udává, kolikrát je dané záření biologicky účinnější než záření fotonové (za základ se bere RTG o energii 200keV).

Pro záření X, gama a beta je jakostní faktor **Q=1**, pro neutrony **Q » 2** (pomalé neutrony) až **10** (rychlé neutrony), pro protony **Q»10**, pro záření alfa je dokonce **Q » 20**.

Dávkový ekvivalent H(ekvivalentní dávka) v uvažované tkáni je dán součinem dávky D v daném místě a jakostního faktoru Q: $H = Q \cdot D$.

Jednotkou dávkového ekvivalentu je 1 **Sievert** [Sv].

Dávka

1 Sv jakéhokoli záření má stejné biologické účinky jako dávka 1 Gy rtg nebo gama záření. Podobně jako u dávky se zavádí i ekvivalentní dávkový příkon (příkon dávkového ekvivalentu), [Sv.s⁻¹].

Jelikož tkáně jsou různě citlivé a jejich radiační poškození vede k různě závažným následkům pro organismus, zavádí se veličina:

Efektivní dávka

jako součet vážených středních hodnot ekvivalent.dávek v tkáních těla:

$$H_E = \sum w_T \cdot H_T, \quad [\text{Sv}]$$

kde H_T je ekvivalentní dávka v dané tkáni, w_T je tkáňový váhový faktor. Sčítá se přes všechny uvažované tkáně T .

Tkáňový vahový faktor w_T vyjadřuje relativní příspěvek dané tkáně T k celkové zdravotní újmě způsobené rovnoměrným ozářením těla; je normován tak, aby se součet všech $\sum w_T = 1$. Hodnoty tkáň.faktorů jsou v příslušných tabulkách.

Výhodou efektivní dávky je, že lze **vyjádřit radiační zátěž jednou hodnotou a to** i při nerovnoměrném ozářením, či ozářením jen určitých orgánů, jako kdyby se jednalo o radiační zátěž při rovnoměrném ozářením. Tak lze porovnávat radiační zátěže osob z různých zdrojů - např. z radioisotopových a rentgenových vyšetření.

Pro posouzení **dlouhodobých účinků záření** z vnitřní kontaminace radioaktivní látkou – **radiotoxicity** - se dále zavádí tzv.

Dávkový úvazek,

což je absorbovaná dávka ionizujícího záření, kterou způsobí v určitém orgánu nebo tkáni daná radioaktivní látka za dobu 50 let od jejího příjmu do organismu.

Radiotoxicita je závislá nejen na fyzikálních parametrech radionuklidu (poločas rozpadu, druh a energie záření), ale i na chemických vlastnostech kontaminantu, které určují jeho metabolismus, distribuci do jednotlivých orgánů, biologický poločas, způsob vylučování.

AKTIVITA ZDROJE

$$A(t) = - d N(t) / d t ,$$

kde $N(t)$ je počet dosud nepřeměněných jader v daném čase t . **přirozenou jednotkou aktivity 1 rozpad za 1 sekundu.**

Tato jednotka byla na počest Henri Becquerela nazvána **1 Becquerel : 1 Bq = 1rozpad/1sekundu (v průměru*)**.

Čím větší je radioaktivita dané látky (vzorku) v Bq, tím více jader za sekundu se nám přeměňuje a tím intenzivnější záření látka do svého okolí vysílá.

V definici jednotky radioaktivity je v závorce uvedeno slovo "**v průměru**"; radioaktivní rozpad totiž pod vlivem stochastických zákonitostí kvantové fyziky neprobíhá rovnoměrně, ale vykazuje **statistické fluktuace**. Proto bychom každou vteřinu naměřili poněkud jiný počet rozpadlých jader - výsledky je třeba zprůměrovat, nebo měřit delší dobu a výsledky normalizovat k 1 sekundě.

Dřívější jednotky aktivity - Ci, mCi, μ Ci

1 Bq je malá hodnota

- 3000 Bq in the body from natural sources
- 20 000 000-1000 000 000 Bq in nuclear medicine examinations

Kapalné radioaktivní odpady, především ^{131}I , jsou vedeny (odděleně od neaktivní kanalizace) do vymíracích jímek, odkud jsou do kanalizace nebo čističky vypouštěny až po dostatečném rozpadu (cca 60 dní) – je nutno dodržet

limitní hodnotu pro aktivitu odpadní vody, která činí v současné **době 450 Bq/litr.**

Na počátku výzkumů radioaktivity byla jedním z heroických činů separace 1 gramu čistého radia ^{226}Ra z několika tun uranové rudy, kterou provedla Marie-Sklodovská-Curie se svým manželem Pierem Curie.

Jelikož to byl první známý čistý radioisotop, byl na jejich počest vzat **1 gram radia 226** za etalon a základní jednotku radioaktivity, která byla nazvána **1 Curie**.

Později, když bylo objeveno či připraveno mnoho dalších radionuklidů a byla poznána vlastní podstata radioaktivity vyvstaly **nevýhody** této náhodně vzniklé jednotky.

Přepočítání mezi starými a současnými jednotkami aktivity je:

$1\text{Ci} = 37\text{GBq}$ (tj. $1\text{mCi} = 37\text{MBq}$ a $1\mu\text{Ci} = 37\text{kBq}$).

nejvíce kontaminované zóny (depozice $^{137}\text{Cs} > 1480 \text{ kBq m}^{-2}$

rezidenti ve významně kontaminovaných zónách ($> 555 \text{ kBq m}^{-2}$)

Populace	Počet lidí	Efekt.dávka
Likvidátoři (1986-1987)	240 000	100 mSv
Evakuovaná populace (1986)	116 000	33 mSv
Kontamin. území $>555 \text{ kBq/m}^2$	270 000	50 mSv
Kontamin. území $>37.5 \text{ kBq/m}^2$	5 000 000	10 mSv

Bezprostřední –akutní - následky

Zdravotní následky Černobylu můžeme dělit na bezprostřední a pozdní. O bezprostředních účincích stačí pojednat velmi stručně, neboť z hlediska veřejného zdraví převládá význam pozdních účinků.

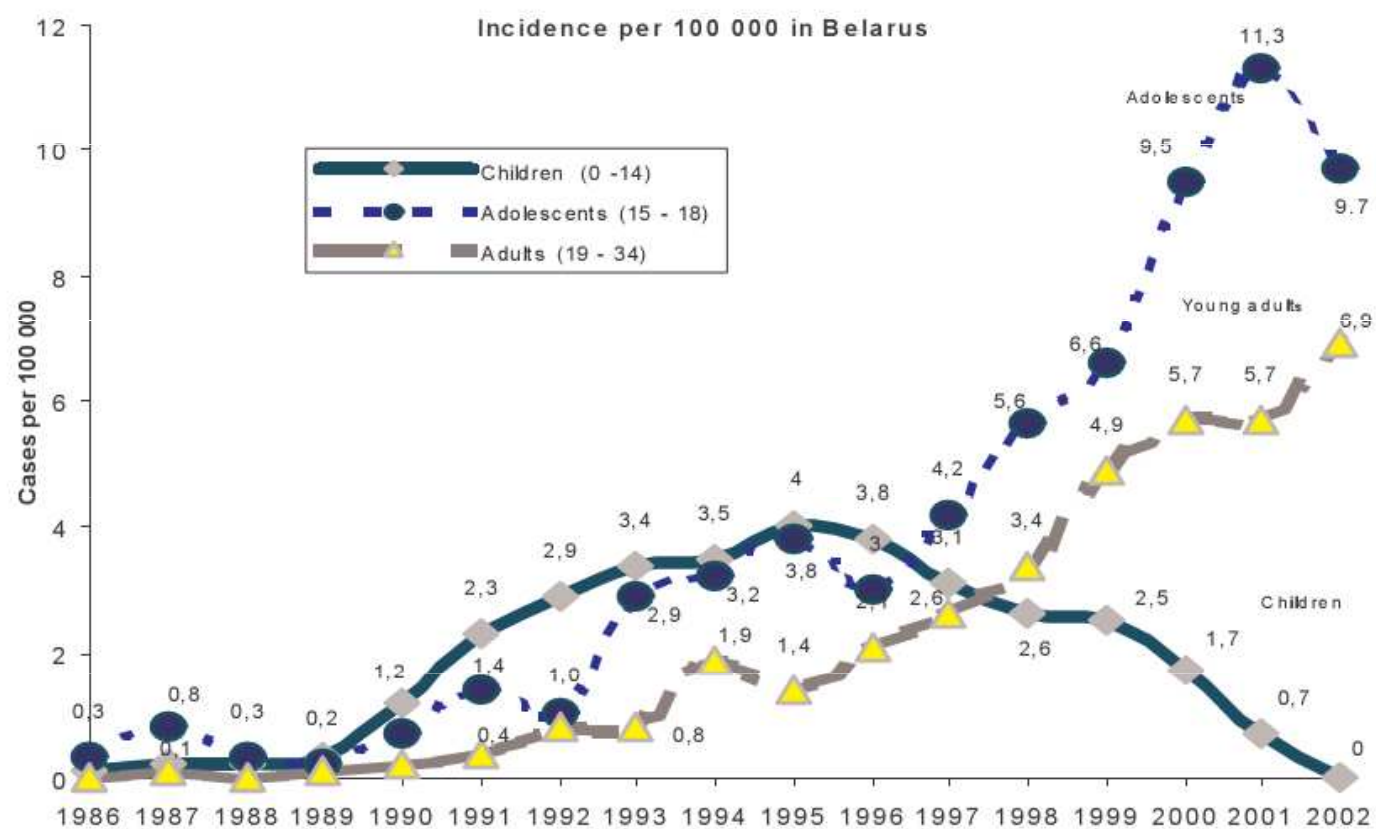
Lze jen shrnout, že celkem u 134 osob (účastníků záchranných operací) byla diagnostikována a potvrzena akutní nemoc z ozáření, 28 z nich zemřelo v časném období.

Z přežívajících zemřelo v období 1987-2004 pro různé příčiny 19 osob, z nichž asi jen u 5 lze předpokládat možnou souvislost příčiny smrti s předchozím ozářením.

Skupina přežívajících je dále pozorně sledována, jak o tom svědčí podklady shromážděné na jednání UNSCEAR v září 2005.

V ostatních sledovaných populacích akutní nemoc z ozáření pozorována nebyla.

Z grafu je mj. patrné, že děti počaté po r. 1988 žádné zvýšení těchto rakovin nevykazují. Pokud jde o výši dávek u běloruských dětí v rozpětí 0-7 let, tak u rezidentů nejvíce postižení gomelské oblasti činily v průměru 0,61 Gy, u evakuantů 3,1 Gy, dospělí obdrželi dávky asi o jeden řád nižší.



Obr.2: Incidence rakoviny štítné žlázy u dětí v Bělorusku 1986-2002

Dávky ozáření a limity :

limit pro pracovníka se zářením 50 mSv/rok 100mSv/5let

přírodní radiační pozadí občana ČR 2,5 až 3 mSv/rok

přírodní radiační pozadí občana Kerali v Indii 17 mSv/rok

přírodní radiační pozadí občana Guapari v Brazílii 175 mSv/rok

přírodní radiační pozadí občana Ramsaru v Iránu 400 mSv/rok

RTG střev 4 mSv

RTG žaludku 2,4 mSv

RTG kyčlí 1,7 mSv

pracovník JE Dukovany 0,4 mSv/rok

obyvatelstvo v okolí JE Dukovany obdrží 0,005 mSv/rok

3 lety letadlem Praha – USA 0,38 mSv/rok

Průměrná efektivní dávka obyvatelstvu ČR v r.1986 0,26 mSv

Zdroj záření**Roční dávka****Přírodní zdroje záření**

Kosmické záření:

při mořské hladině

0,3 mSv

ve výšce 300 m nad mořem

0,325 mSv

ve výšce 600 m nad mořem

0,375 mSv

ve výšce 1 000 m nad mořem

0,45 mSv

Potraviny a nápoje:

0,35 mSv

Záření z půdy:

1,35 mSv

bydlíte-li v dřevěném domku, odečtete

-0,135 mSv

bydlíte-li ve stanu, odečtete

-0,27 mSv

bydlíte-li v žulovém domě, přičtete

+1,35 mSv

pokud nevětráte, přičtete

+1,35 mSv

Umělé zdroje záření:

spalování uhlí

0,04 mSv

spad po zkouškách jaderných zbraní

0,01 mSv

každá hodina sledování televize

0,002 mSv

cesta letadlem na vzdálenost 4000 km

ve výšce 10 000 m

0,25 mSv

bydlení na hranici jaderné elektrárny

0,0002 mSv

rentgenové vyšetření plic

0,08 mSv

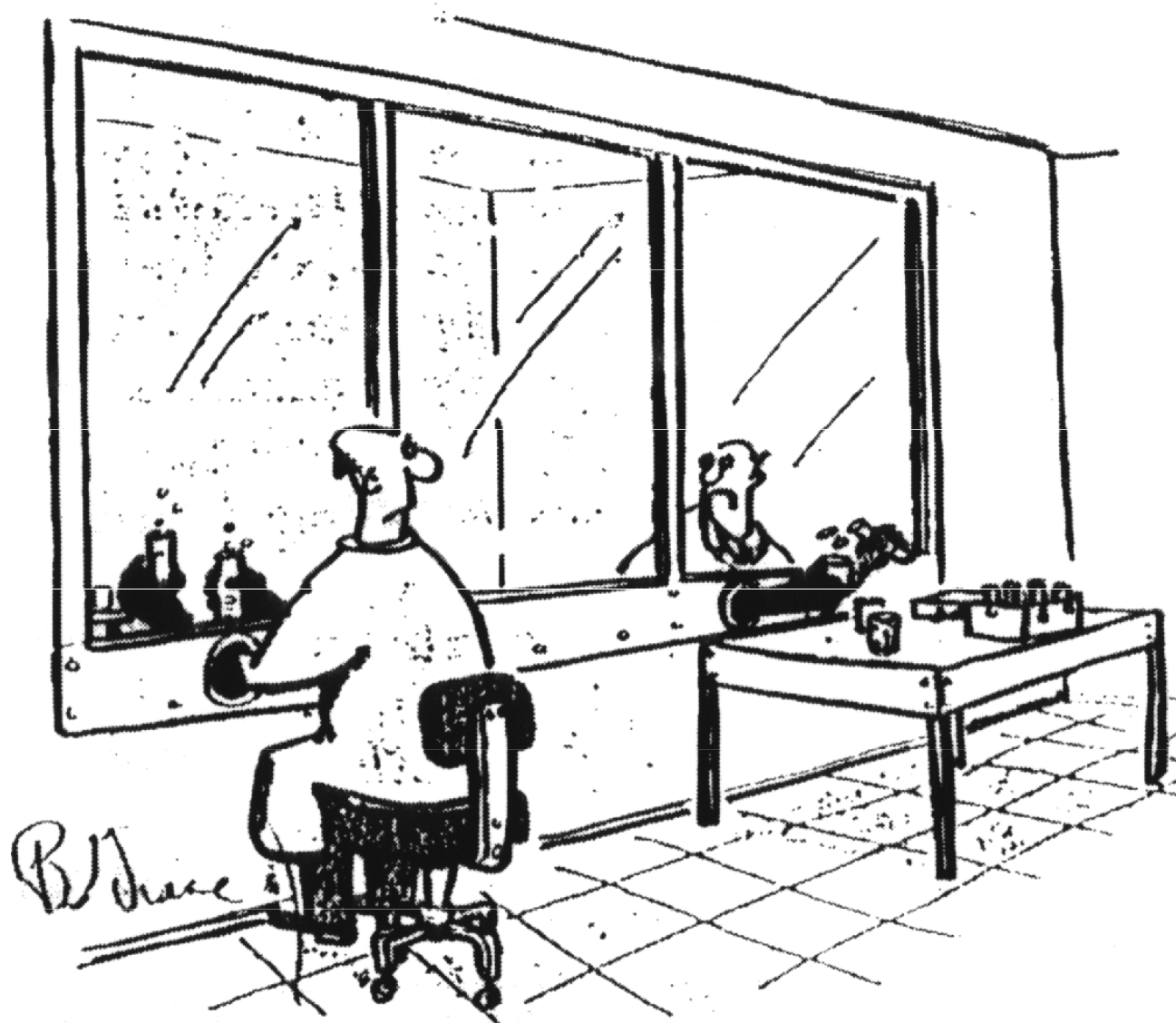
rentgenové vyšetření trávicího

a zažívacího traktu

4 mSv

radiofarmaceutické vyšetření

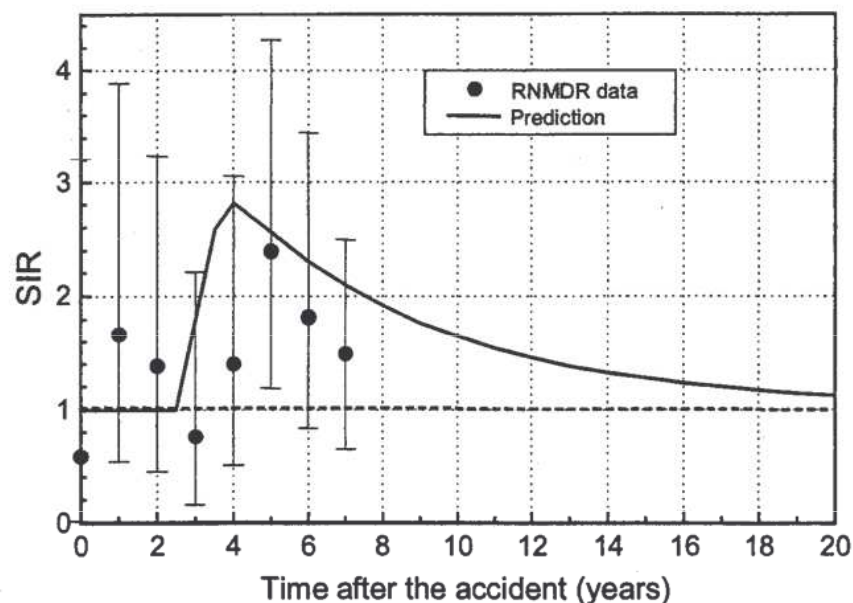
0,3 mSv



Leukémie a ostatní maligní onemocnění

Zvýšený výskyt leukémií bývá významným indikátorem zvýšeného ozáření populací. Poměrně vysoké absolutní riziko na jednotku dávky a nízký spontánní výskyt působí příznivě pro statistický průkaz jejich vyššího výskytu. K tomu přistupuje poznatek z japonských studií, že doba latence je poměrně krátká a **nejvyšší výskyt je v časovém okně 5-15 let po expozici.**

V černobylských studiích však zatím zvýšená incidence leukémií u dětí zjištěna nebyla, i když relativní riziko ERR/Gy bývá v nižších věkových skupinách vyšší. Nejvýznamnější nálezy byly zjištěny (2004) v populaci ruských likvidátorů - v souvislosti s jejich vyššími celotělovými dávkami (jejich průměrná osobní dávka v roce 1986 byla 0,17 Gy). Grafické znázornění jeho výsledků je patrné na obr.. Do roku 1993 našel celkem 48 leukémií, do nichž zahrnuje všechny typy včetně CLL. Velká šíře 95%



Obr.6: Standardizovaná incidence leukémie u likvidátorů (dle Ivanova, 2004)