

Bővített fokozatú sugárvédelmi tanfolyam Semmelweis Egyetem

DOZIMETRIA: dózisfogalmak, dózisszámítások

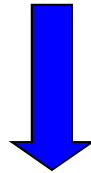
Taba Gabriella, SE Sugárvédelmi
Szolgálat

2021.04.06.

Miért kellenek dozimetriai fogalmak?

A dozimetria célja, feladata

- Jelen sugárzási viszonyok (dózis)



Időtartam:

napok, hetek, évek telhetnek el míg az ártalom jelentkezik

- Ártalom, kockázat

Mivel a dózis fogalmakkal jellemezzünk az ártalom kialakulását ezért a legfontosabb megelőzés a jelenlegi sugárzási viszonyok jellemzése és mérése és a megtett védekezési intézkedések.

Fontos feladat: dózisviszonyok meghatározása jelenleg az ember, az élővilág környezetében, azért hogy szükség esetén **védekezéssel csökkentsük a dózisjárulékot,** hogy ne alakuljon ki elfogadhatatlan káros következmény.

Milyen mennyiséggel jellemezzük a káros hatást?

- **Elvárás a káros hatás, az ártalom „kvantitatív” jellemzésére, előrejelzése céljából bevezetendő mennyiséggel, a dózissal szemben:**
 - a lehető legtöbb káros hatásnál alkalmazható legyen (akut, krónikus; szomatikus, genetikus; funkcionális, morfológiai; ember, állat, növény esetén,...),
 - egyértelmű definíciója és jól mérhető legyen,
 - kivitelezhető mérőeszköz hitelesítés és kalibrálás,
- **Gyakorlati megjegyzés:** a kívánalmak csak korlátozottan teljesíthetők:

=> többféle dózisfogalom, dózismennyiség szükséges; átfedésekkel találkozunk, de **egy dózis fogalomba nem lehet mindent belesűríteni!**

Milyen hatásokat kell jellemezni?

Ionizáló sugárzás esetén, dozimetriai szempontból két lényegesen különböző hatás:

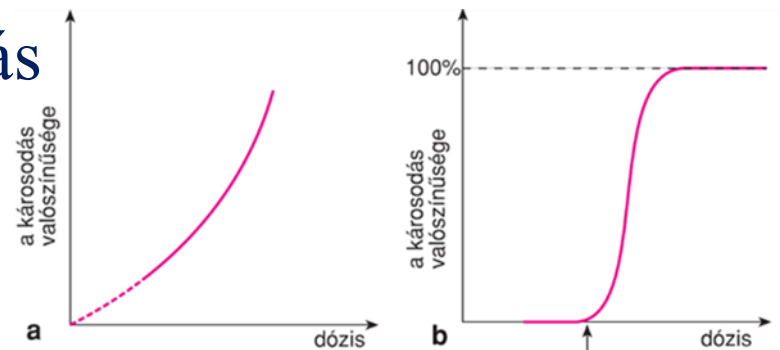
determinisztikus és sztochasztikus

- *Determinisztikus*: súlyosság arányos az expozícióval, dózissal (bőrpír, égés, hasmenés) *azonnali hatás*
- *Sztochasztikus*: gyakoriság arányos az expozícióval, dózissal. (kromoszóma aberráció)

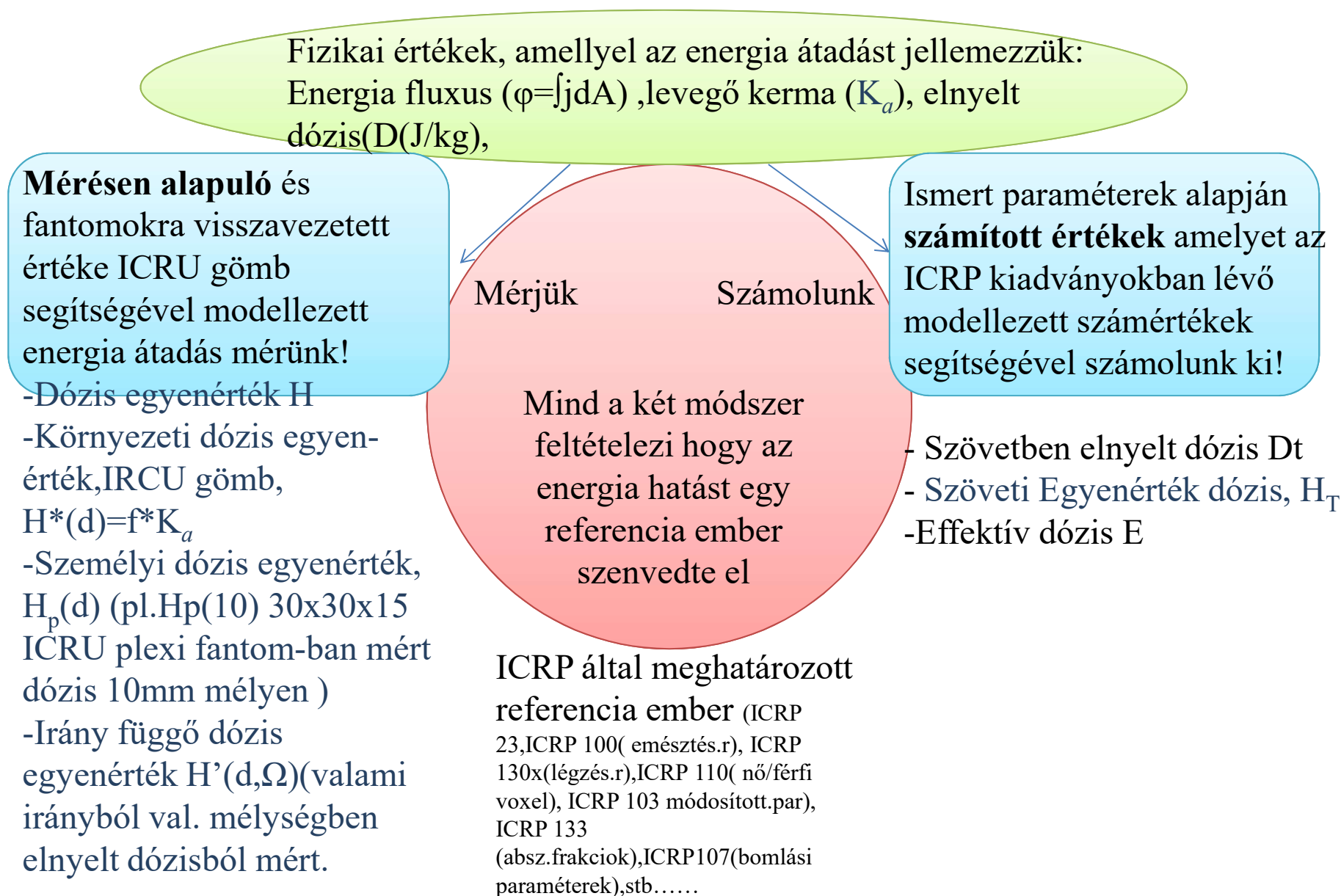
Később jelentkezik

Megjegyzések:

- determinisztikus hatásnak létezik küszöb dózisa (ez alatt nem mutatható ki káros hatás),
- sok esetben szimultán mindkét hatás megfigyelhető



Különböző dózis fogalmak meghatározásának módja



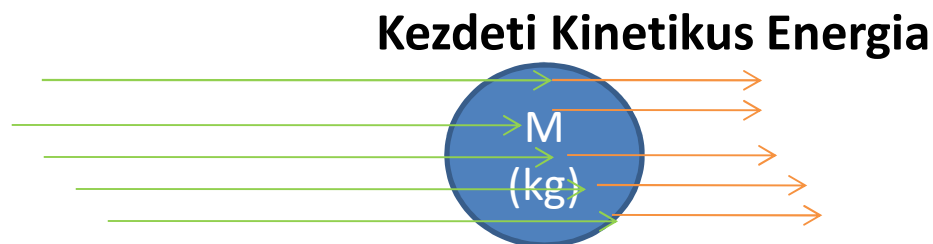
Energia áramlás jellemzői

Az adott testben leadott energia okozza a káros biológiai hatást

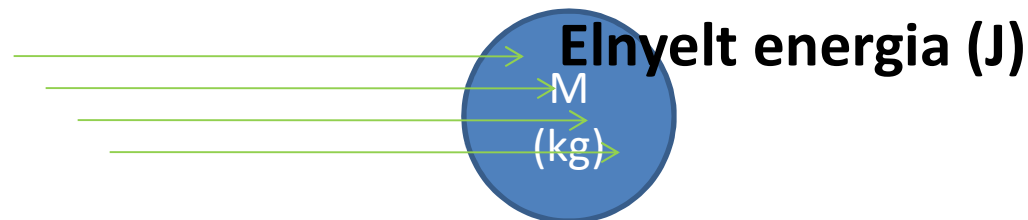
Energia fluxus sűrűség: ENERGY
FLUX DENSITY: Egy térben egy
gömb felületén egy idő egységni
idő alatt belépő összes részecske
energiájának összege osztva a gömb
keresztmetszetével



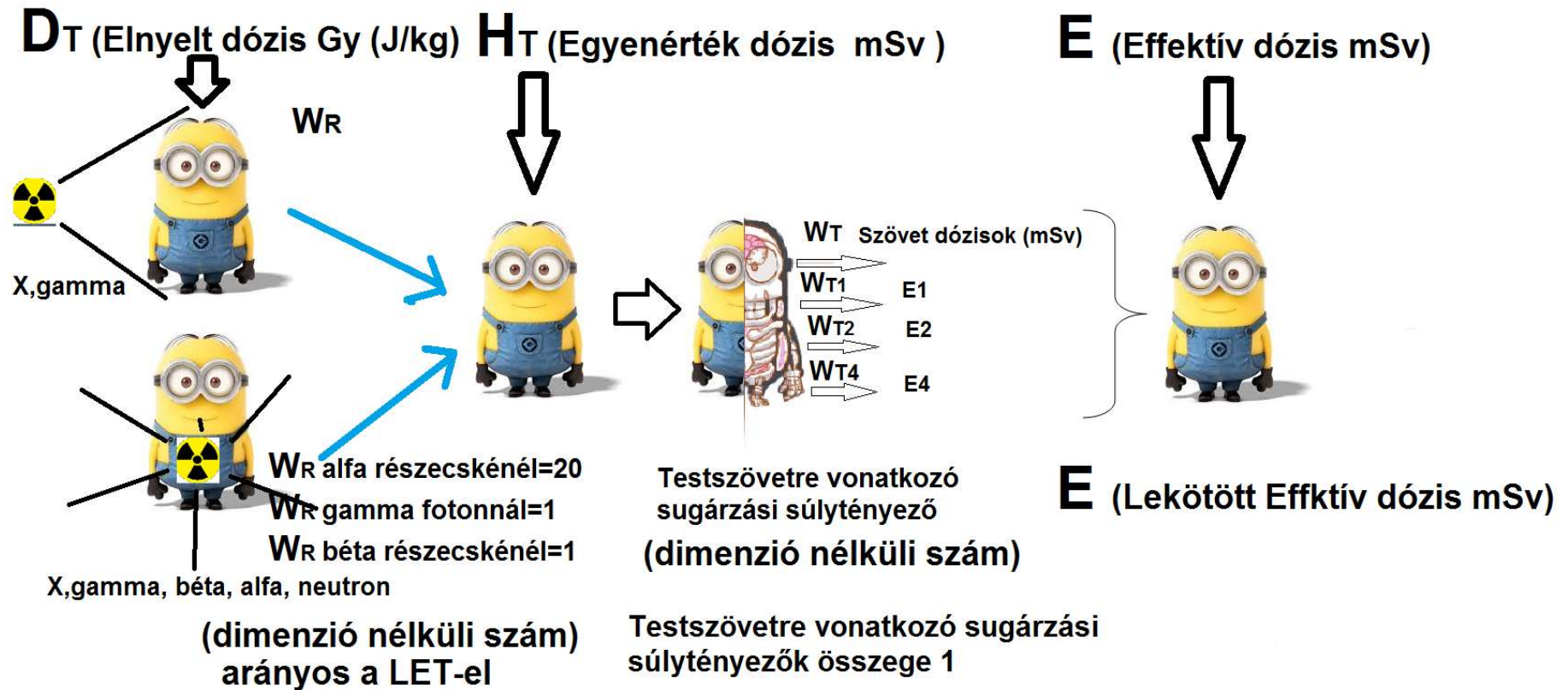
KERMA: MINETIC ENERGIE
RELASED IN MATTER: adott
anyag megfelelően kicsi
térfogatelemében közvetve ionizáló
részecskék által felszabadított
valamennyi töltött részecske kezdeti
kinetikus energiájának összege
osztva a térfogat elem tömegével,



Elnyelt dózis: bármely ionizáló
sugárzás által besugárzott térfogat
elem elnyelt energiája osztva a
térfogat elem tömegével



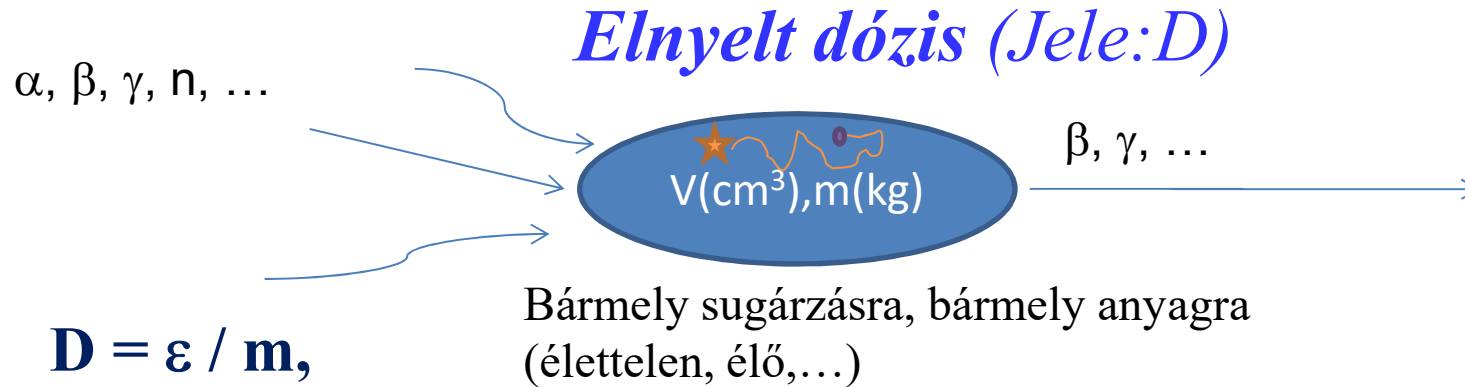
Számítási módszer: Négy fontos lépés



Energia abszorpció->Energia uniformizálás->Biológiai érzékenysége az adott szövetnek->az egész testre vonatkozó hatás

1

Dózisfogalmak, - mennyiségek és egységek a sugárvédelemben



- ahol ε : a V térfogat m tömegében elnyelt energia (J).
- Mértékegysége **gray**; jele **Gy**, és **1 Gy = 1 J/kg.** (ez lehet nem ionizáló is)
- (Régi egysége a *rad*, 1 Gy = 100 rad.)
- A sugárvédelmi gyakorlatban használjuk a "**szervdózis**" fogalmát, mely egy szövetben vagy szervben az átlagos elnyelt dózis.
- **Dózisteljesítmény**: dózis időegységre eső hányada:
- egysége Gy/s, nGy/h, ... Pl.Ht: 100-200nGy/h

2 Ha azt szeretnénk, hogy az dozimetriai mennyiség tartalmazza a sugárzás típusával kapcsolatos ártalom ki alakulásának hatását:

Egyenérték dózis (Jele: H_T)

Csak élő rendszerben, szervre, szövetre használjuk!

- Káros hatás: Függ a sugárzás típusától, energiájától

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}, \text{ (számolt érték!)}$$

ahol:

W_R : a sugárzás fajtájára, minőségére jellemző súlytényező, dimenzió nélküli szám

$D_{T,R}$: a T szövetben, az R típusú sugárzásból eredő elnyelt dózis.

T: gonádok, tüdő, máj, bőrszövet, csontvelő,...

R: α -, β -, γ , n, p, ion, ... - sugárzás.

2

Egyenérték dózis (H_T) jellemzése

Mértékegysége: sievert, Sv, $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

- A W_R értékét a γ -sugárzásra, definíciószerűen 1-nek vesszük és a többi sugárzást ehhez viszonyítjuk.

A sugárzási súlytényező (W_R) jellemzése:

- arányos az úthossz menti fajlagos ionizációval, a **Lineáris Energia Transzfer(LET)** értékkel (a LET egysége: $\text{eV} \cdot \text{nm}^{-1}$).

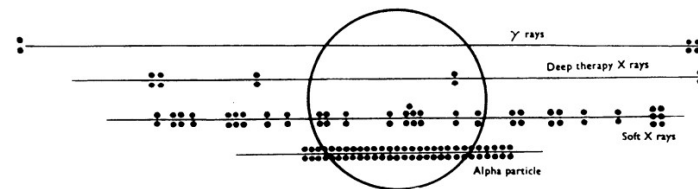


Figure 9.1. Separation of ion clusters in relation to the size of a biological target. (Reproduced from Gray, 1946, *Br. Med. Bull.*, by permission of the author.)

- szerepe hasonló mint korábban a Q sug. minőségi tényezőnek, ill. RBE-nek (Relatív Biol. Effektivitás)
- **RBE**: relatív biológiai hatékonyság: a sugárzási súlytényezőnek megfelelő mennyiség, dózismérés során ma is használatos, a biológiai hatás jellemzésére (pl. epidemiológiában).

2 Többféle sugárzás esetén:

- A T testszövetben többféle sugárzásból eredő szöveti egyenérték dózis

$$H_T = \sum H_{R,T}$$

	High LET	Low LET	
particles	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ p \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} e^- \\ \beta^- \\ \beta^+ \end{array} \right\}$	"electrons"
		$\left\{ \begin{array}{l} \gamma \text{ ray} \\ x \text{ ray} \end{array} \right\}$	electromagnetic radiation

3. melléklet a 487/2015. (XII. 30.) Korm. Rendelet alapján:

1. Sugárzási súlytényezők

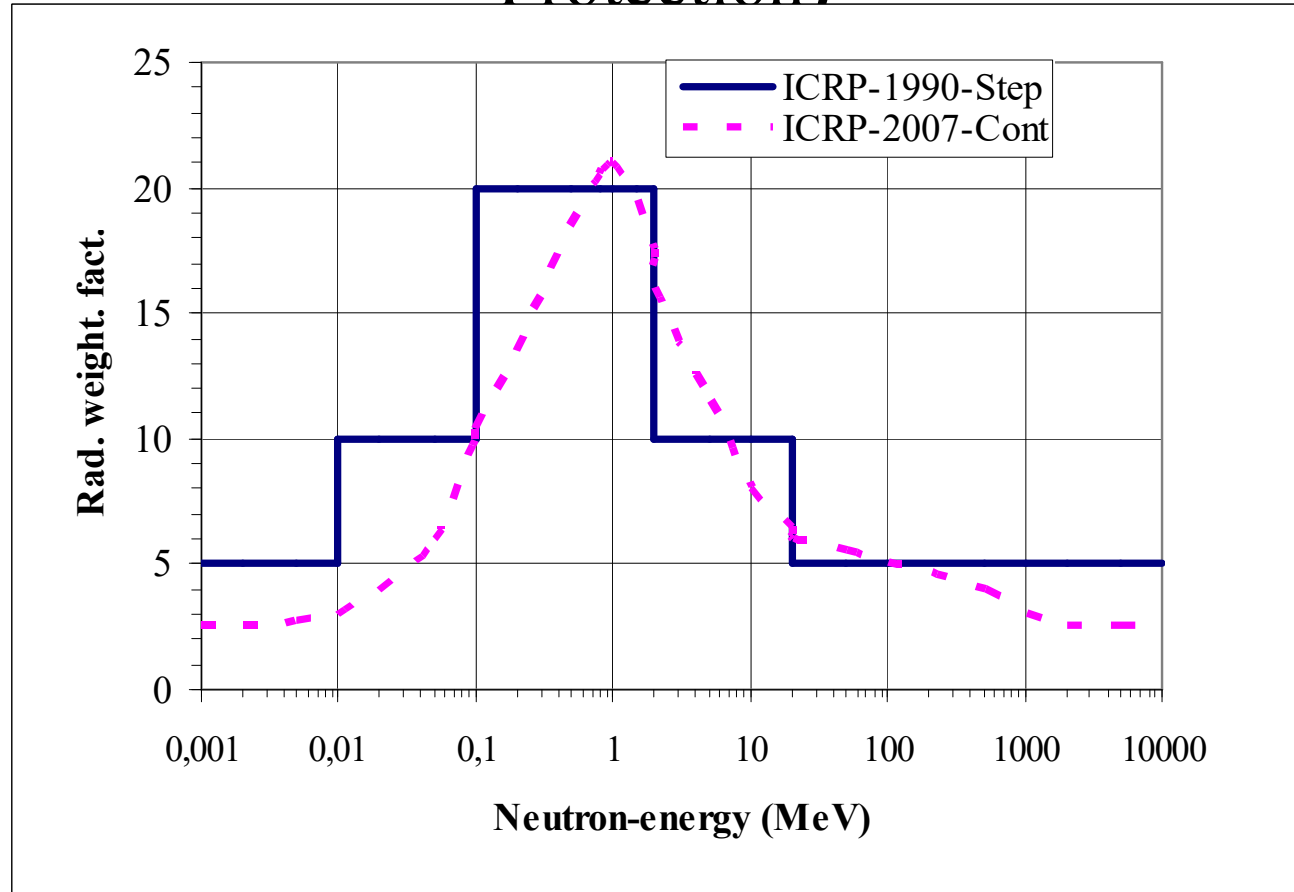
A sugárzás típusa	wR	LET értékek (eV.nM ⁻¹)
Fotonok	1	0,2-3,5
Elektronok és müonok	1	0,2-1,1
Protonok és töltött pionok	2	-
Alfa-részecskék, hasadványok, nehézionok	20	130
Neutronok, $E_n \leq 1$ MeV	$2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E_n)]2/6}$	Energia függő
Neutronok, $1 \text{ MeV} < E_n \leq 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0 e^{-[\ln(2E_n)]2/6}$	Energia függő
Neutronok, $E_n > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04E_n)]2/6}$	Energia függő

2 Egyenérték dózis meghatározásra

- Valaki a következő besugárzásokat szenvedte el: 0.1Gy röntgen foton, 0.05Gy gyors neutron, 0.2Gy alfa részecske mi az egyen érték dózis?

Sugárzás típusa	D(Gy)	W_R	EqD (Sv)
Röntgen foton	0,1Gy*	1=	0,1
Gyors neutron	0,05Gy*	20=	1,0
Alfa részecske	0,2Gy*	20=	4,0
		Összesen Σ	5,1Sv

2 Sugárzási súlytényező (w_R) **neutronok** esetén (ICRP-2007) (International Committee on Radiological Protection)



Nemzetközi ajánlások között is van eltérés

Tételezzük fel hogy 10^6 db. Pu-239 atom bomlik el egy májban 50 év alatt.

Mi a lekötött effektív dózis?

(Pu-239 5MeV alfa fotont bocsát ki bomlása során, máj tömege 1800g, konverziós tényező $1,602 \times 10^{-13} \text{J/MeV}$, máj szöveti szorzó tényezője 0,05)

- Elnyelt dózis $DT = (10^6 * 5 \text{MeV} * 1,602 * 10^{-13}) / 1,8 \text{kg} = 0,445 \text{mikroGy}$
- Egyenérték dózis $HT = 0,455 \text{ mikroGy} * 20 = 8,9 \text{mikroSv}$
- Lekötött effektív dózis $E = 8,9 * 0,05 = 0,45 \text{mikroSv}$

3 Ha azt szeretnénk, hogy az dozimetriai mennyiség tartalmazza a besugárzott szövetben kialakult ártalom hatását:

- **Effektív dózis (Jele: E)**

Egész testre, sztochasztikus hatások jellemzésére használjuk!

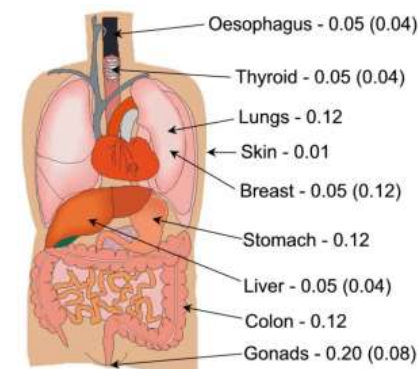
$$E = \sum_T W_T \cdot H_T , \quad (\text{számolt érték!})$$

- ahol W_T a szöveti súlyozó tényező (dimenzió nélküli).
- $W_T < 1$ és $\sum_T W_T = 1$.
- **Mértékegysége:** sievert, Sv. $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.
- A definíció alapján az effektív dózis megegyezik azzal az egésztestben egyenletes eloszlásban kapott dózissal, mely a késői sugárhatások (daganatos betegségek, öröklődő ártalmak stb.) ugyanakkora kockázatával jár mint a szövetek külön-külön besugárzásával kapott szöveti dózisok együttesen.
- Ezért egésztest dózis alatt rendszerint effektív dózist értünk.

3. melléklet a 487/2015. (XII. 30.) Korm. Rendelet alapján:

1. Sugárzási súlytényezők

Testszövet	WT
Csontvelő	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Emlő	0,12
Egyéb szövetek (a)	0,12
Ivarmirigyek	0,08
Hólyag	0,04
Nyelőcső	0,04
Máj	0,04
Pajzsmirigy	0,04
Csontfelszín	0,01
Agy	0,01
Nyálmirigyek	0,01
Bőr	0,01



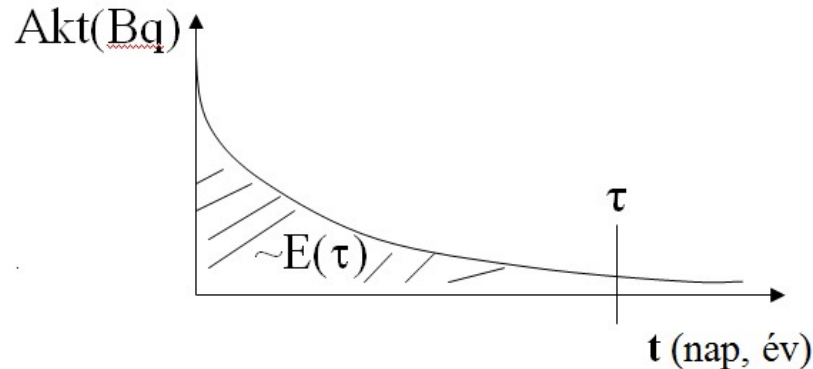
Tissue or organ	ICRP-1990/ IBSS-1996	ICRP-2007
Gonads	0.20	0.08
Bone marrow, red	0.12	0.12
Colon	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12
Stomach	0.12	0.12
Bladder	0.05	0.04
Breast	0.05	0.12
Liver	0.05	0.04
Esophagus	0.05	0.04
Thyroid	0.05	0.04
Skin	0.01	0.01
Bone surface	0.01	0.01
Brain	-	0.01
Salivary glands	-	0.01
Remainder	0.05	0.12
Total	1.00	1.00

4 *Ha a testben bekerült és bomló izotópról van szó: Lekötött egyenérték és lekötött effektív dózis*

- Szervezetbe került radioaktív anyagtól!
- A τ időtartamig összegezett (integrált) dózis:

$$E(\tau) = \int_{\text{teljesítmény}}(t) dt,$$

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$



- ahol: $E_{\text{teljesítmény}}(t)$ a t időpontban a dózisteljesítmény.
- *Sugárvédelmi céllal:*
- Felnőtt: $\tau = 50$ év
- Gyermekeknél: 70 év.
- **Dózislekötés:** $\tau = \infty$.
- *ICRP kiadványokban szereplő dózis állnók tartalmazzák az integrálási időszakra vonatkozó korrekciókat*

Megjegyzések az effektív dózis használatához:

- embriónál, ahol nem beszélhetünk kialakult szövetekről, nem használható az effektív dózis, ott elnyelt dózist (D , egység: Gy) célszerű használni,
- determinisztikus hatás rendszerint egy-egy szövet esetén alakul ki, ezért ott sem az effektív dózis, hanem az elnyelt dózis (D , Gy), vagy az egyenérték dózis (H , Sv) használatos. (szem, kéz bőr dozimetria)
- OSSKI TLD: külső sugárterhelést okozó röntgen-fotonsugárzásból származó személyi dózisegyenérték, $H_p(10)$ adat szolgál
- A dózis teljesítmény mérőkön H^*10 környezeti dózis egyenérték olvasható le nem azonos a $H_p(10)$ személyi dózissal

Mekkora az elnyelt dózis, egyenérték dózis, effektív dózis?

T=60 min, pl: 1 kg test, nagyon le-egyszerűsített példa

Részecske típus				bojlás/perc	E(MeV)
	bojlás/perc	E(MeV)	W_R	m=65kg	
alfa	5,70E+05	3,7	20	t=1 óra	
béta	1,20E+06	0,7	1	W_T gyomor	0,12
gamma	8,00E+04	2,8	1	MeV->J átváltás	1,60E-13

$$D_t = (((5,7E5 * 3,7 \text{ MeV}) + (1,2E6 * (0,7 \text{ MeV})) + (8E4 * (2,8 \text{ MeV}))) * 60 \text{ min} * 1,6E-13 (\text{J/kg}))/1 = 2,0 \text{ J/kg} \sim \text{Gy}$$

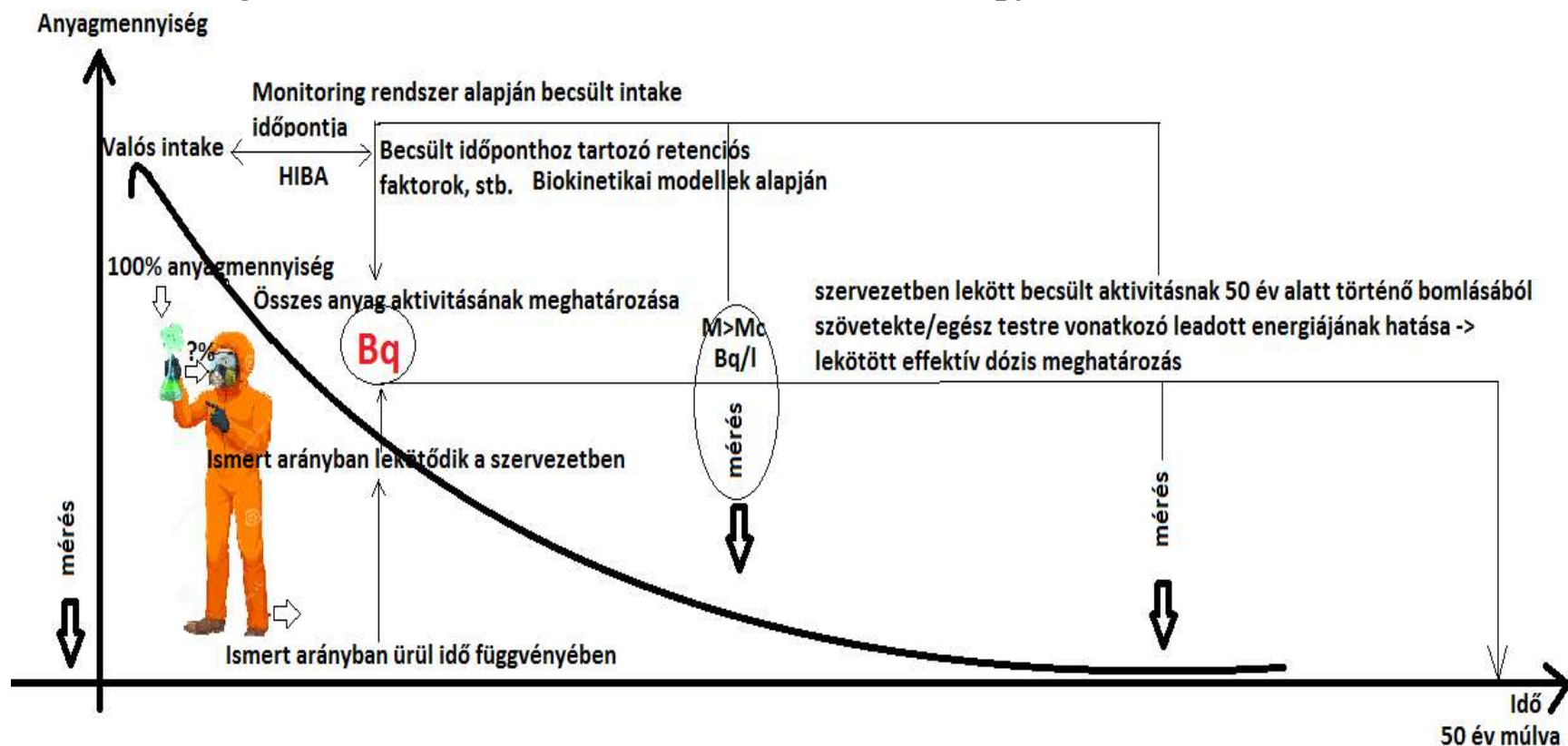
$$H_t = (((5,7E5 * 3,7 \text{ MeV} * 20) + (1,2E6 * 0,7 \text{ MeV} * 1) + (8E4 * 2,8 \text{ MeV} * 1)) * 60 \text{ min} * 1,6E-13 (\text{J/kg}))/1 = 4,15E-4 \text{ Sv}$$

$$E_t = 4,15E-4 * 0,12 = 4,9E-5 \text{ Sv} = 50 \mu\text{Sv}$$

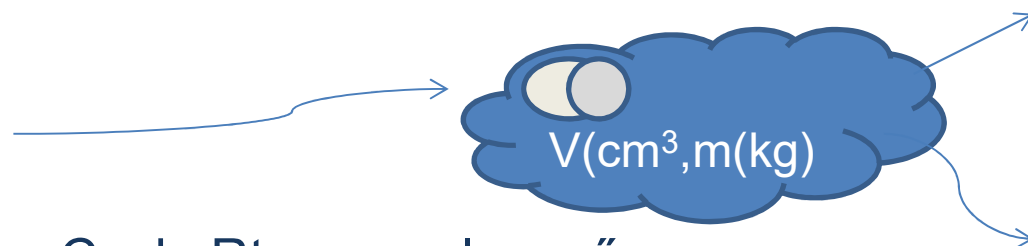
Ezt a gyakorlatban nem kell kiszámolnunk! Hanem az ICRP táblázatokban lévő dózis állandóval kell beszoroznunk a testbe jutó radioaktív anyagot!

4 A lekötött effektív dózis sematikus meghatározásának menete monitoring rendszeren belül

Ha a lekötött effektív dózis nagyobb mint 1mSv/év MONITORING rendszert kell alkalmazni a munkavállaló ellenőrzésére. (izotóp gyártás, pajzsmirigy terápia, atomerőmű)
A monitoring rendszert az OIR, ICRP Ideas Gudline alapján kell összeállítani.



Besugárzás, expozíció (besugárzási dózis)



- Csak: Rtg, γ levegő

- $X = Q / m$,

ahol Q az m tömegű levegőben keltett elektromos töltések, ionok mennyisége.

- SI egysége: $C \cdot kg^{-1}$ (C: coulomb), korábban a röntgen (**R**) volt és
- **Lágy szövetekben 1 R-nek kb. 0,0088 Gy elnyelt dózis felel meg, csontszöveteknél ennél 20-30 %-kal nagyobb.**

A röntgen sugárzás különböző energián történő test besugárzását ICRP táblázatokból vett korrekációs faktorokkal számoljuk át Gy-é és onnan a számítás hasonló mint a korábbi példákban. Van hogy méréssel határozzák meg a leadott energia mennyiséget.(gépekbe szerelt dózis mérők)

Közölt-dózis(kerma)

- A közölt dózis, ill. a "*levegő-kerma dózis*" mennyiség elsősorban foton sugárzási tér jellemzésére használatos (a "kerma" angol mozaikszó: kinetic energy released to material), mértékegysége megegyezik az elnyelt dózis egységével, azaz J.kg^{-1} , ill. Gy.
- A közvetlen ionizáló töltetlen részecskék (foton, neutron) által keltett kezdeti kinetikus energiájának az összege a m tömegű anyagban. $K = dE_{tr}/dm \Rightarrow K_a$ (Kerma a levegőben) *(ez kell a környezeti dózis egyenérték meghatározáshoz)* **(Ebből számítják a $H^*(10)$ környezeti dózis egyenértéket, amit leolvassunk a műszerről)**
- Ez esetben a sugárzás által kiváltott részecskéknek a kezdeti kinetikus energiáját használjuk dózismennyiségként. ($E_{közölt} < E_{elnyelt}$)

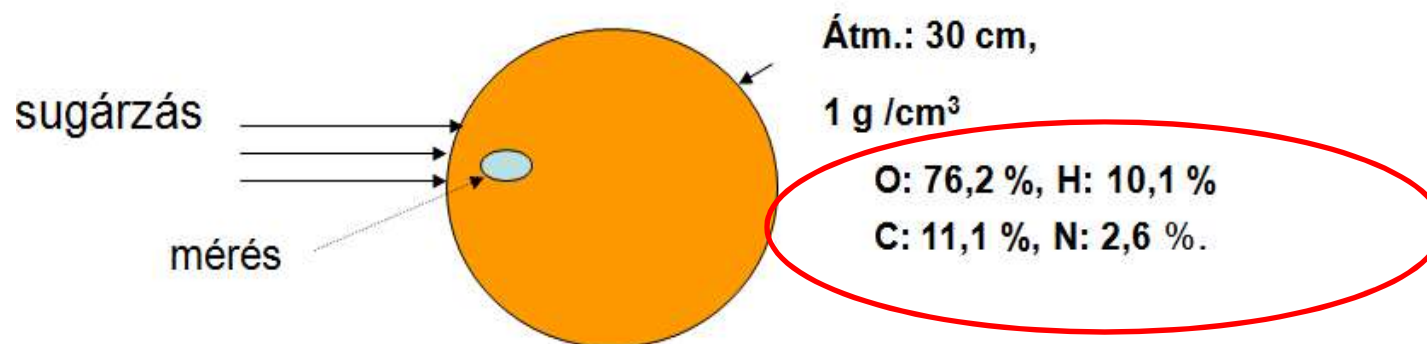
Kollektív dózis (Jele: S)

- Egy kollektíva, vagy akár a népesség egészének a sugárterhelése $S =$ a sugárterhelést elszenvedett egyedek egyéni dózisának összege (ill. az átlagos érték szorozva az egyedek számával). „Társadalmi szempontból” fontos lehet.
- Mértékegysége: személy.Sv .



Méréssel kapcsolatos megközelítés

- *Dózismérések reprodukálhatósága, kalibrálás,*
- ICRU (International Committee on Radiation Units and Measurements) **gömb/henger fantom:**



- ICRU gömb fantom különböző (d) mélységű helyén, akár különböző irányból, különböző típusú sugárzással végzett besugárzások mellett kapott dózis- ill. dózisteljesítmény értékekkel lehet kalibrálni, hitelesíteni a mérőeszközöket. Az így definiált mennyiségek a **dózisegyenértékek**, ezek egysége is Sv (ill. J.kg⁻¹).
- Az emberi test (vagy az azt utánzó fantom) adott pontjára vonatkozó dózisegyenértékre, a sugárzás típusának és energiájának figyelembevételére épül.

- A területellenőrzésnél, akár munkahelyen is használatos a **környezeti dózisegyenérték - jele: $H^*(d)$** - amely a sugárzási tér egy adott pontjában elhelyezett ICRU-fantom d mélységében mért dózist jelenti, ha egyirányú a sugárzás, akkor a sugárzás irányával ellentétes oldalon. Erősen áthatoló (γ -) sugárzás esetén $d=10$ mm, gyengén áthatoló (β -) sugárzásnál $d=0,07$ mm .
- Mérőeszközöknél figyelni kell hogy $H^*(10)$ környezeti dózisegyenértékben legyen hitelesíthető
- Közölt dózis a levegőben Ka-ból ($\text{Kerma}=dE_{\text{rt}}/dm$) meghatározható f konverziós faktorra (MSZ14341:1991 sz.sz. 6 táblázata)
A személyi ellenőrzés esetén ajánlott az un. ***személyi dózisegyenérték – jele $H_p(d)$*** –
 $d=10$ mm, lágy szövetekre jellemző dózis,
 $d=3$ mm a szemlencse dózis,
 $d=0,07$ mm a bőr dózis.



**Mérési módszerek szempontjából: Fizikai
dozimetria/kémiai dozimetria/biológiai dozimetria**

Dózisfogalmak használatának kiterjesztéséről

Általában mondható, amennyiben **más élőlények** (non-human biota) esetén hasonló fogalmakat akarunk használni mint az embernél, akkor az eddig bevezetett W_R , és W_T súlytényező értékeket - különösen az utóbbit - módosítani kell. További nehézséget jelent, hogy a vizsgálandó dózistartomány sokkal nagyobb mint embernél, azaz a súlytényezők dózistól való függését mindenképpen figyelembe kell venni.

$$W_T^{\text{🐭}} \neq W_T^{\text{👶}}$$



Ionizáló sugárzás hatása

- A sztochasztikus sugárhatás nominális károsodási együtthatói 1 Sv effektív dózis esetén, a dolgozókra és a teljes lakosságra külön-külön, az ICRP 103 2007-ben megjelent ajánlásai szerint.(0,005%/mSv, tehát 1mSv esetén 1:20000, 20mSv esetén 1:1000)

Populáció	Végzetes rosszindulatú daganat	Nem végzetes rosszindulatú daganat	Súlyos örökletes hatások	Összesen
Felnőtt dolgozók	0,041	0,008	0,01	0,042 korábban 0,056)
Teljes népesség	0,055	0,01	0,02	0,057 korábban 0,073)

Sugaras kockázat

A kockázat (risk), mint számolt mennyiség:

$$R = w \cdot K,$$

ahol:

w : az esemény (expozíció) bekövetkezésének valószínűsége (max 1)

K: az eseménnyel (expozícióval) járó károsodás, ártalom súlyossága (max 1, mely halálesetet jelent).

Példák

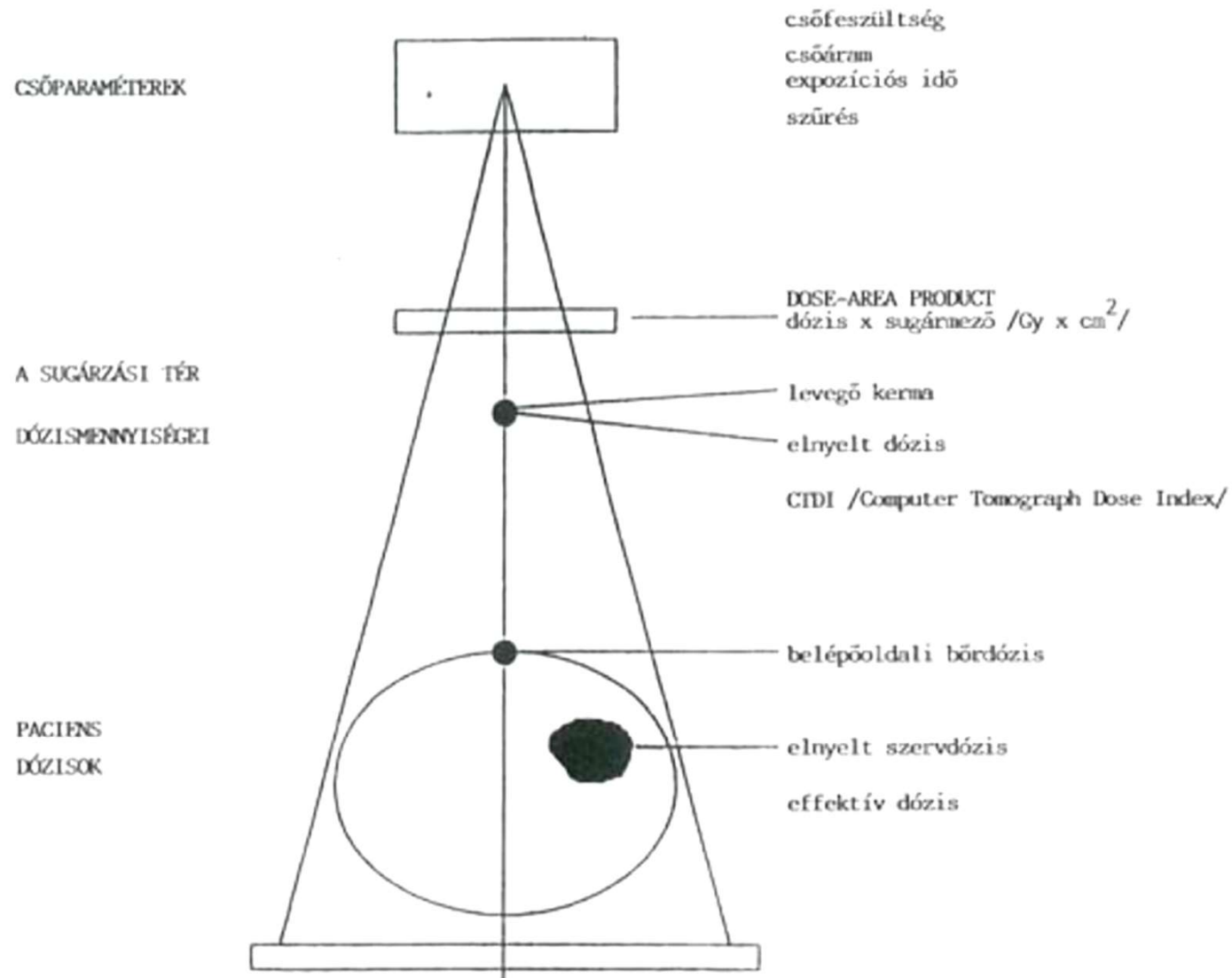
- a) ha az $E=1$ Sv effektív dózisú akut expozíció bekövetkezésének valószínűsége 0,1 és a következmény súlyossága $K=0,05$, akkor a kockázat $R=0,1 \cdot 0,05 = 0,005$.
- b) Ha a $H=5$ Sv egyenérték dózisú pajzsmirigy expozíció bekövetkezésének valószínűsége 0,001 és az ebből eredő következmény súlyossága 0,0008, akkor a kockázat: $K = 0,001 \cdot 0,0008 = 8 \cdot 10^{-7}$, „laborszlangben” 0,8 mikrorizikó.

A sugárvédelemben általában a $\approx 10^{-7}$ -nél kisebb kockázattal járó eseményeket elhanyagoljuk, azok értékének pontosítása szükségtelen.

Esemény	K	w	R
CT felvétel közben valaki a szobában marad és 10mSv személyi egyenérték dózist szenved el.	(1Sv esetén 0,05) akkor 10mSv esetén K=0,0005	0,0001	5×10^{-8}
Tűszűrásos baleset	K=0,00001	0,01	1×10^{-7}
Tc-99m izotóp, 10MBq véráramba jutása, $eg=2 \times 10^{-11}$, effektív dózis 0,0002Sv,			
I-123 izotóp belélegzése 1MBq (5mikron AMAD, F) $eg=1,1 \times 10^{-10}$ Sv/Bq esetén	$K=5 \times 10^{-7}$	0,001	5×10^{-10}

Páciensre vonatkozó dózis fogalmak

Gy



A röntgendiagnosztikai sugárterhelés jellemzésére használható mennyiségek

Dózismennyiségek összehasonlítása

A sugárdózis mérésével, becslésével éppen arra kívánunk ismereteket szerezni, hogy mekkora hatás várható hetekkel, hónapokkal, esetleg évekkel később rosszindulatú daganat formájában, hogy a szükséges védelmi intézkedést, akár a gyógyítást a lehető legkorábban elkezdhessük.

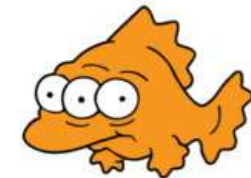
SIMPSONS GUIDE TO RADIATION



Bequerel [Bq]
How brightly your
Cesium glows



Gray [Gy]
How brightly
Cesium will make
you glow



Sieverts [Sv]
How many extra
eyes will you have
after glowing?

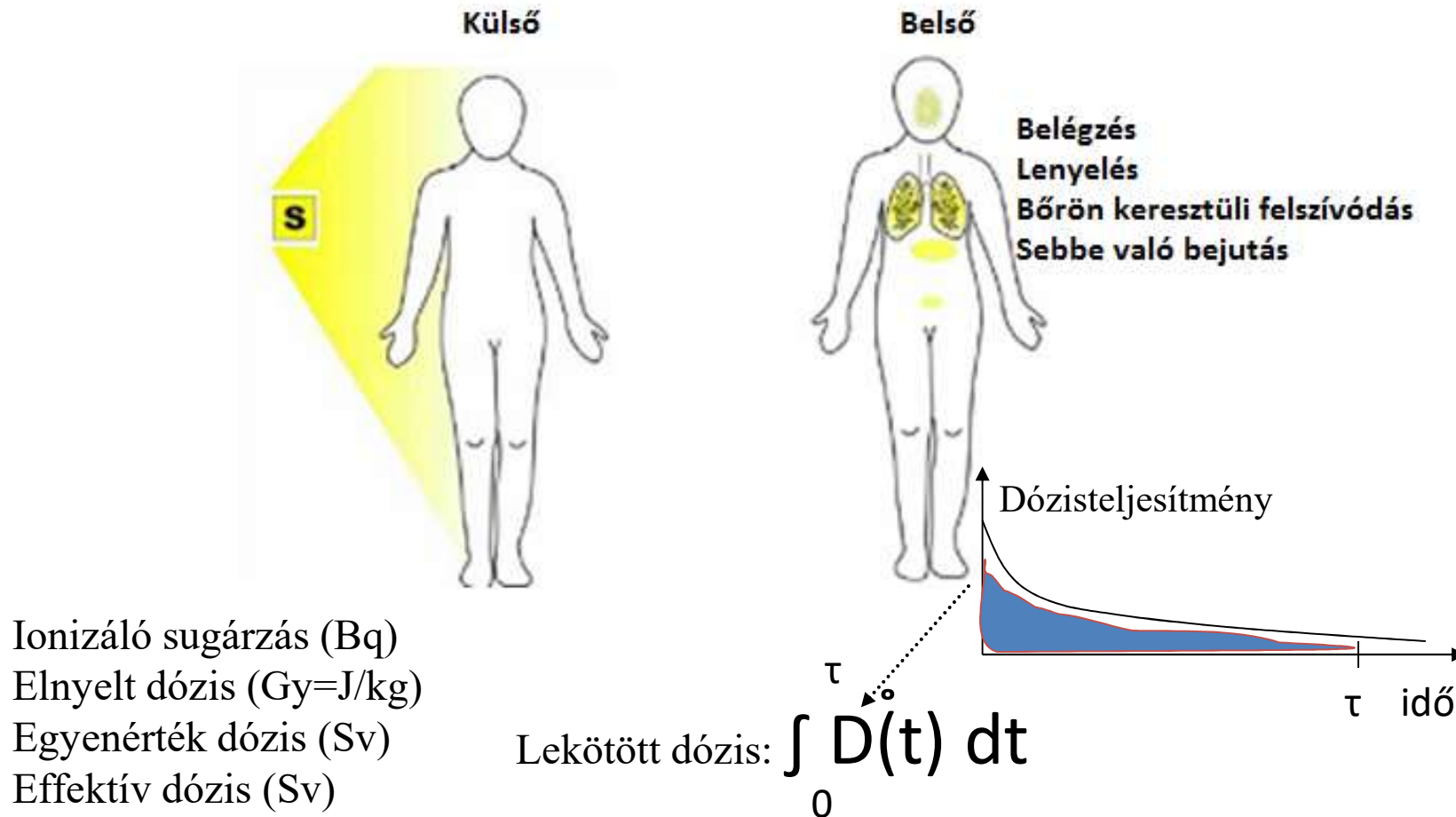
Megnevezés e és jele	Rövid meghatározása	Mértékegység	Érvényessége, megjegyzések
Elnyelt dózis, D	Sugárzás révén elnyelt energia osztva az elnyelő tömeggel	Gy ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mindenfajta ionizáló (esetenként nem ionizáló) sugárzásra és mindenféle elnyelő anyagra (élettelenre is) értelmezhető. Egymagában nem jellemzi a biológiai hatás mértékét
Egyenérték dózis, H_T	Elnyelt dózis szorozva a sugárzás fajtájára jellemző súlytényezővel	Sv ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Elsősorban emberi szövetekre, szervekre, ≈ 1 Sv dóziséig használható. Jellemző a szövetek, szervek biológiai, egészségkárosító hatására. Kiterjeszthető más élőlényekre is.
Effektív dózis, E	Egyenérték dózis és a szöveti súlytényezők szorzatának összege	Sv ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Emberi egésztestre, ≈ 1 Sv dóziséig. A szöveti súlytényezők összege = 1. Megkötésekkel kiterjeszthető
Lekötött dózis	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, 70 ill. 50 év időtartamra integrálva	Gy, Sv	Csak belső dóziséknál, értékét a radioaktív bomlás és a felszívódás ill. kiürülés sebessége határozza meg

Megnevezése és jele	Rövid meghatározása	Mértékegység	Érvényessége, megjegyzések
Környezeti dózisegyenérték, $H^*(d)$	ICRU-fantomban, különböző mélységben és irányban mért dózis	Sv	Terület- és munkahely ellenőrzésre, a H_T és E jellemzésére használt dózis
Személyi dózisegyenérték, $H_p(d)$	ICRU-fantomban, különböző mélységben és irányban mért dózis	Sv	Személyi sugárterhelésre, a H_T és E jellemzésére használt dózis
Besugárzási dózis	Levegőben keletkező elektromos töltés és tömeg hányadosa	R, röntgen($1 R = 2,6 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1} \approx 0,009 Gy$)	Csak γ - ill. röntgen sugárzás és levegő elnyelő közeg esetén érvényes. Könnyen mérhető, de nem illeszkedik a SI-ba, ezért használata nem ajánlatos
Lekötött dózis	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, 70 ill. 50 év időtartamra integrálva	Gy, Sv	Csak belső dózissnál, értékét a radioaktív bomlás és a felszívódás ill. kiürülés sebessége határozza meg
Kollektív dózis, S	Több személyre, egy populáció egyéni dózisainak összege	személyGy, személySv	Sztokhasztikus sugárhatásnál, néhány mSv-től néhány 100 mSv-ig használatos, társadalmi kockázat jellemzésére
Dózis-lekötés	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, $t=\infty$ -ig integrálva	Elsősorban személyGy ill. személySv	Egy hirtelen szennyeződést követően, több generációra kiterjedő kollektív dózis

Sugárterhelések osztályozásának szempontjai

- Sugárforrás elhelyezkedése: külső, belső sugárzás (az emberi testhez viszonyítva)
- Sugárzás eredete, forrása: természetes, mesterséges
- Sugárzás fajtája: α -, β -, γ -, neutron,
- Sugárterhelés szabályozása, ellenőrzése (expozíciós fajták): tervezett, veszélyhelyzeti, meglévő
- Időtartam (akut: 1-2 nap alatt, krónikus: évek)
- **Exponált csoportok, személyek (expozíciós kategóriák):** foglalkozási, lakossági, orvosi, (bióták?)
- *Az elhatárolódás, kategorizálás, osztályozás több esetben nem egyértelmű!*

Külső és belső sugárterhelés



Integrálási időtartam szabályozáshoz: $\tau = 50$ év (felnőtt), 70 év (gyermek)

Dózis értékek, példák

•Sugár forrás	•Dózis
<p>Természetes háttér éves átlagértéke hazánkban, egyéni dózis</p> <ul style="list-style-type: none"> • ebből a Rn-leányelemek belégzése • (lekötött effektív dózis) 	<p>•2-3 mSv effektív dózis</p> <p>•1,0-1,5 mSv</p>
Egyéni dózis járulék a Paksi Atomerőműben dolgozóknál, éves átlag	•1,1 mSv effektív dózis
Ember félhalálos dózisa ($LD_{50/30}$), akut terhelés γ -sugárzástól	•4-5 Gy, elnyelt dózis
Orvosi, külső (elsősorban rtg diagn), éves	1,5 (0,1-5) mSv effektív dózis

Dózis korlátok szintén a kockázati elemzésekből vannak levezetve

Jelenleg ICRP 118 korábban az ICRP 103 adott ajánlást az alkalmazásnál használatos dózis korlátozásra.

/ Effektív dózis (külső+belső) egész testre vonatkozó dózis korlát 20mSv/év munkavállalókra és lakosságra 1mSv.

487/2015Korm rendeletről:

- A foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó effektív dózis-korlát évi 20 mSv. Indokolt körülmények között az OAH egy-egy évben ennél nagyobb, de legfeljebb 50 mSv nagyságú effektív dózist is engedélyezhet, amennyiben bármely egymást követő öt évben – azokat az éveket is ideértve, amikor a korlátot meghaladták – az éves átlagos dózis nem haladja meg a 20 mSv értéket.
- Az effektív dózis-korlátok mellett az egyenérték dózisokra a következő korlátokat kell alkalmazni:
 - a szemlencse egyenérték dózis korlátja évi 20 mSv,
 - a bőrfelületre meghatározott egyenérték dózis korlátja évi 500 mSv, amely a bőrfelület tetszőleges 1 cm²-es területére számított átlagos dózissal vonatkozik, a sugárzásnak kitett teljes felület nagyságától függetlenül,
 - a végtagok egyenérték dózis korlátja évi 500 mSv.

Annals of the ICRP

Annals of the ICRP

PUBLICATION 103

[←](#) [→](#) [↻](#) [icrp.org/page.asp?id=5](#)[Alkalmazások](#) [Kiemelt ügyfelek fel...](#) [WACOM login](#) [RADAR Exposure a...](#) [RADAR Home](#) [gyakorlatisugárvéd...](#) [Radioactive Quack...](#) [Radiation Prot](#)

ICRP PUBLICA

[NEWS](#)[WORK](#)[ORGANISATION](#)[SUPPORTERS](#)[ICRPAEDIA](#)The Use of Effect
Radiological Protection

Free to Download

Publication	Title
ICRP 2017 Proceedings	Proceedings of the Fourth International Symposium on the System of Radiological Protection
ICRP Publication 139	Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures
ICRP Publication 138	Ethical Foundations of the System of Radiological Protection
ICRP Publication 137	Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3
ICRP Publication 136	Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation
ICRP Publication 135	Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging
ICRP Fukushima Proceedings	Proceedings of the International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative
ICRP Publication 134	Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2
ICRP Publication 133	The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions
ICRP Publication 132	Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation
ICRP 2015 Proceedings	Proceedings of the Third International Symposium on the System of Radiological Protection
ICRP Publication 131	Stem Cell Biology with Respect to Carcinogenesis Aspects of Radiological Protection

Editor-in-
C.H. CLEMAssociate
H. FUJIAuthors on behalf
J.D. Harrison, M. Balonov, F. Bock
P. Ortiz-Lopez, R. Smith-BindmanPUBLISHED
The International Commission

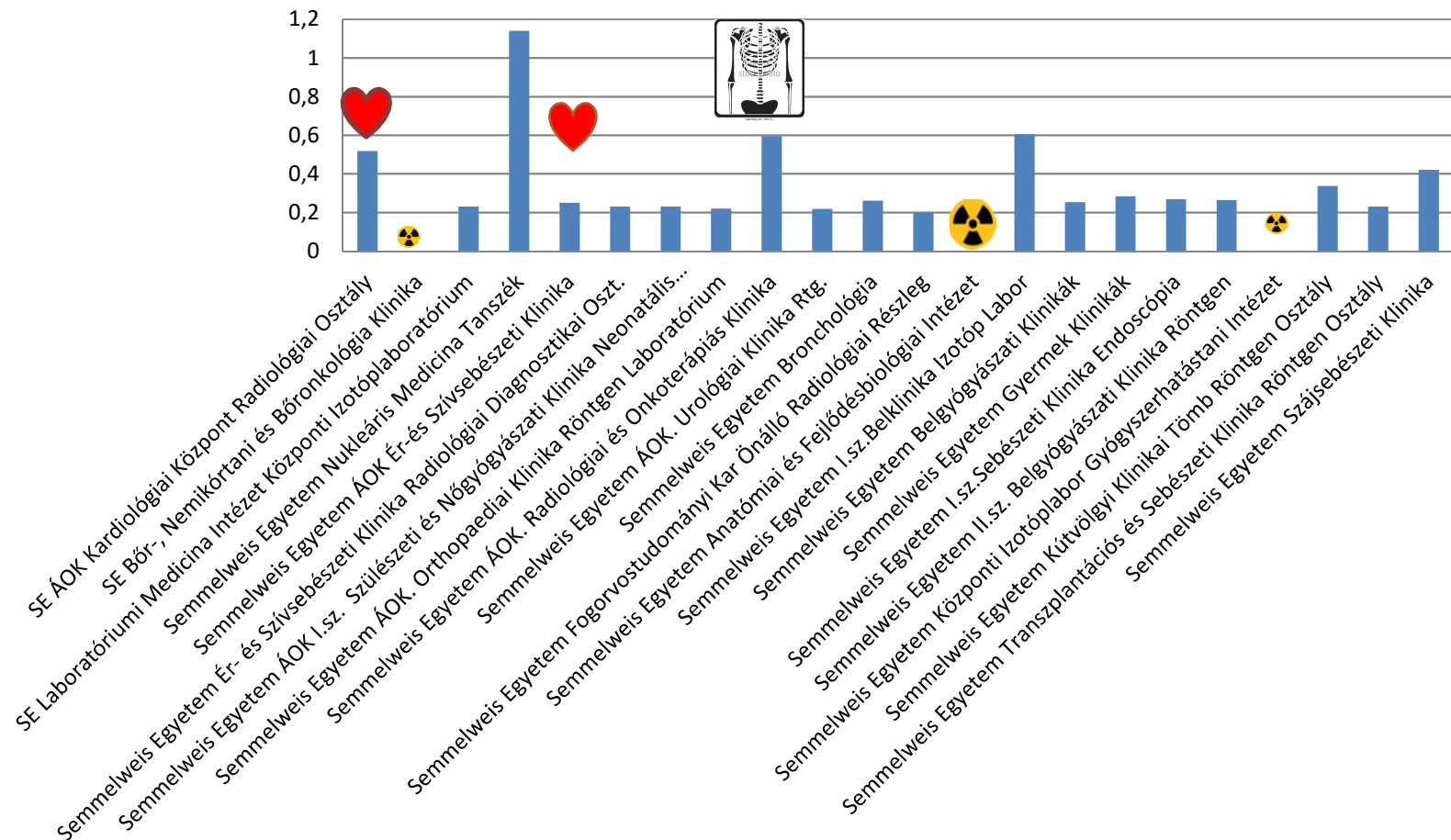
by

[SAGE Publications]

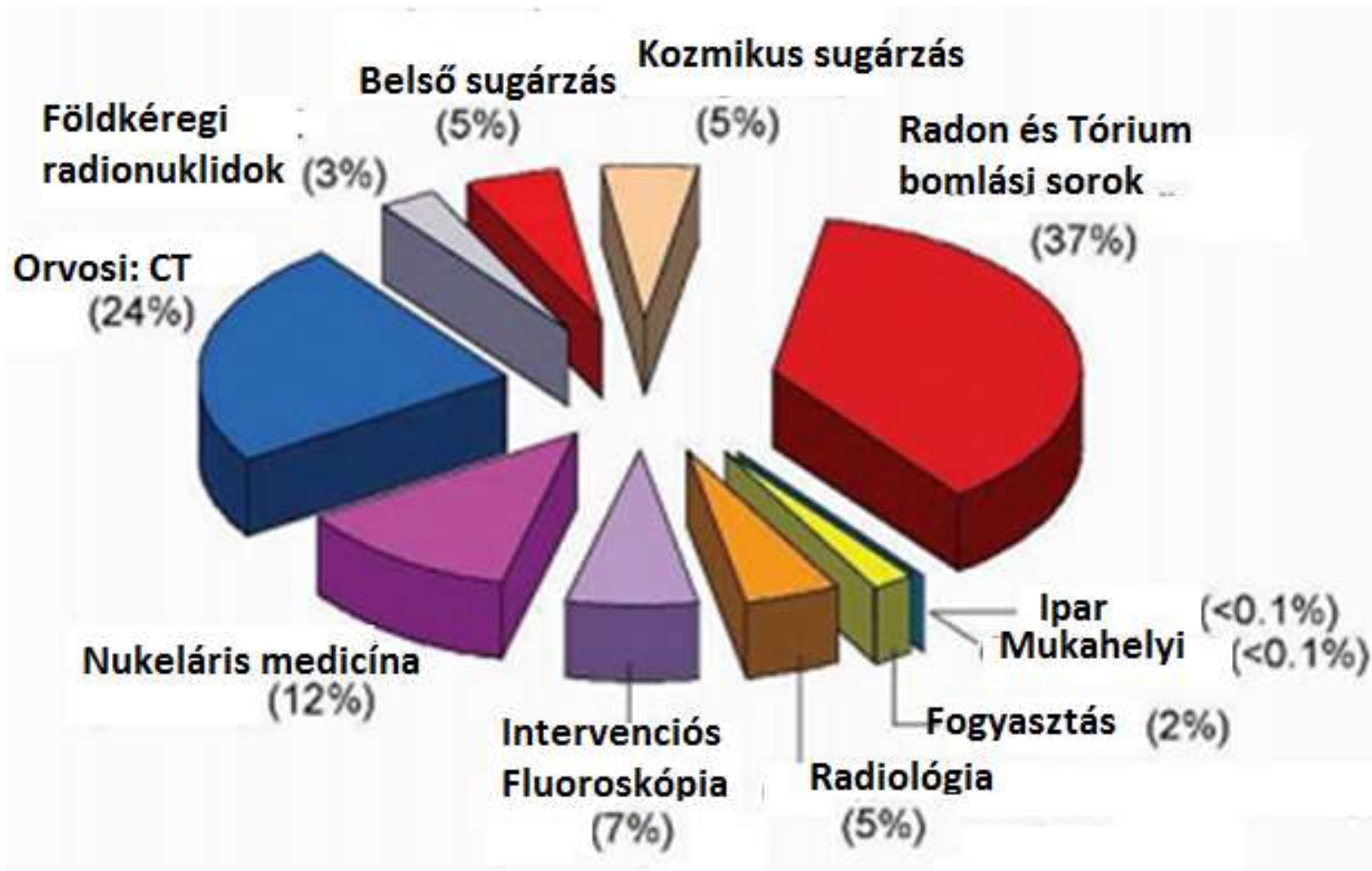
- <https://www.icrp.org/>

Éves Effektív dózisok átlaga ionizáló sugárzást alkalmazó munkaterületekre leosztva

■ Éves effektív dózis átlag (mSv)



NCRP tanulmány 160 USA Lakosság effektív dózis eloszlása sugár források szerint (2006)



DÓZISSZÁMÍTÁSOK

(ismert izotóp, ismert aktivitás)

Tipikus expozíciós útvonalak

- pontforrás
- felszíni forrás (szennyezett talaj)
- térfogati forrás (fél-végtelen felhő)

- inhaláció
- lenyelés

- MIRD (Medical Internal Radiation Dose)
forrásszerv - célszerv

Dózis teljesítmény meghatározására vonatkozó számítási módszerek

Pontforrásra vonatkozó sugárzó anyag esetén:

$$D = \Gamma \cdot A \cdot t / r^2$$

ahol: D: Elnyelt dózis [μGy], t idő [h] alatt, r távolságban [m], Γ :
külső- γ dózisállandó [$\mu\text{Gy.h}^{-1} / \text{GBq.m}^{-2}$], A: pontforrás aktivitása
[GBq]

Pl. I-131 esetén: $\Gamma = 50 [\mu\text{Gy.h}^{-1} / \text{GBq.m}^{-2}]$

Térfogati és felületi gamma –, ill. beta-sugárzástól (külső dózis
levegőben, ill. felülettől)

$$S = K_{\gamma} \cdot C \cdot t$$

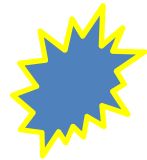
Ahol: S: effektív dózis, v. egyenérték dózis [Sv], C: radionuklid
koncentráció [térfogati: Bq.m^{-3} ; felszíni: Bq.m^{-2}], K_{γ} : külső
gamma- (ill. beta) dózisegyüttható

[térfogati: $(\text{Sv.m}^3)/(\text{Bq.s})$; felszíni: $(\text{Sv.m}^2)/(\text{Bq.s})$], –a beta-sugárzás
esetén bőrdózist kell számolni (K_{β})

A számításokhoz használható online elérhető

<http://www.radprocalculator.com/Gamma.aspx> dózis számoló
program. Ez nem veszi figyelembe a fékezési rtg.-t és kicsit felül
becsül a valóságban mért értékekhez.

Pontforrás



$r(m)$

D

SL, MSSZ

- $D = \Gamma \cdot A \cdot t / r^2$
- ahol:
- D: Elnyelt dózis [μGy], t idő [h] alatt,
- r távolságban [m]
- Γ : külső- γ dózisállandó [$\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1} / \text{GBq}\cdot\text{m}^{-2}$]
- A: pontforrás aktivitása [GBq]

Pl. I-131 esetén: $\Gamma = 50 [\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1} / \text{GBq}\cdot\text{m}^{-2}]$

pontforrásra vonatkozva/levegőre I-131 esetén:

távolság (cm)	aktivitás (MBq)	elméleti dózis teljesítmény (mikroSv/h)
100	785	42,5

A legnagyobb használt aktivitások és tőlük 1m távolságban és 2 mm Pb védelem alatt mért dózis teljesítmény értékek.

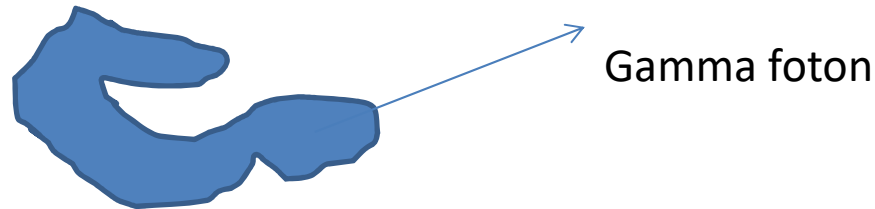
Számítás : $D_{\gamma} = (K_{\gamma} \cdot A) / l^2$, D_{γ} dózis teljesítmény ($\mu\text{Sv/h}$), K_{γ} levegőre vonatkozó dózis állandó ($\mu\text{Sv m}^2/\text{GBq} \cdot \text{h}$), A aktivitás (GBq), l távolság (m),

Izotóp	maximális beadott aktivitás	1m távolságban mért dózis teljesítmény	2mm Pb védelem 1m távolságra számított dózis teljesítmény
Tc-99m	1GBq/beteg	15-20 $\mu\text{Sv/h}$	1 $\mu\text{Sv/h}$
Sm-153	2,5GBq/beteg	10-15 $\mu\text{Sv/h}$	1 $\mu\text{Sv/h}$
Y-90	400MBq/beteg	4-10 $\mu\text{Sv/h}$	0,5 $\mu\text{Sv/h}$
I-131	550MBq/beteg	20-25 $\mu\text{Sv/h}$	16 $\mu\text{Sv/h}$

Felszíni és térfogati szennyeződés

- Térfogati és felületi gamma –, ill. beta-sugárzástól (külső dózis levegőben, ill. felülettől)

- $S = K_{\gamma} \cdot C \cdot t$



- S: effektív dózis, v. egyenérték dózis [Sv]
- C: radionuklid koncentráció [térfogati: Bq.m⁻³; felszíni: Bq.m⁻²]
- K_{γ} : külső gamma- (ill. béta) dózisegyüttható
- [térfogati: (Sv.m³)/(Bq.s); felszíni: (Sv.m²)/(Bq.s)]
- a beta-sugárzás esetén bőrdózist kell számolni (K_{β})

Belső sugárterhelés számítás vizeletből

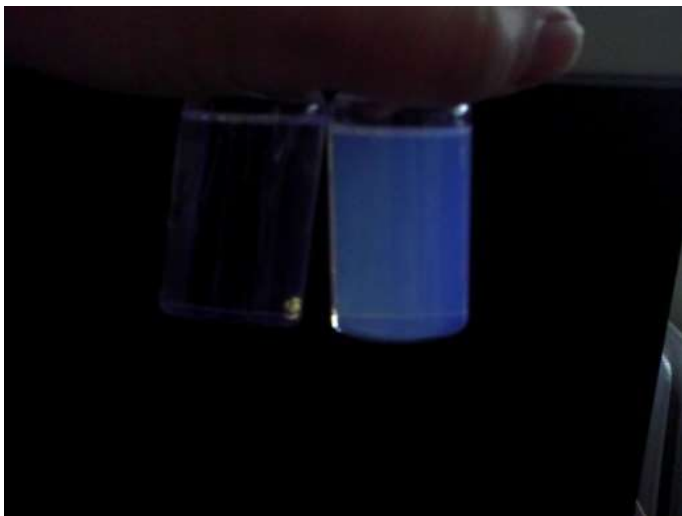
$$I_0(Bq) = \frac{a_t(Bq/l)}{f_t}$$

$$H_t(Sv) = I_0(Bq) \cdot e_{ff}(Sv/Bq)$$

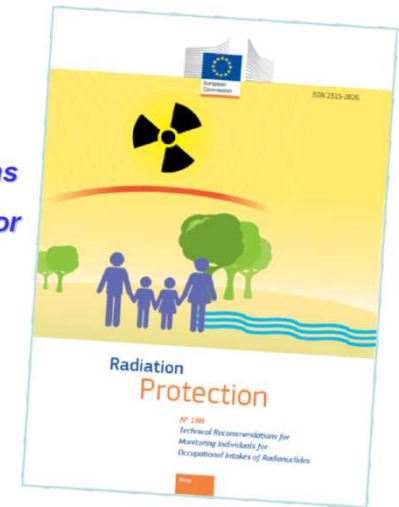
a_t vizelet aktivitás koncentrációja t-napon;

f_t t naphoz tartozó exrékciós hányados;

e_{ff} effektív dózis koefficiens



*Technical Recommendations
for Monitoring Individuals for
Occupational Intakes of
Radionuclides*



[ISO 20553:2006](#). Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material

[ISO 28218:2010](#). Performance criteria for radio-bioassay

[ISO 27048:2011](#). Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure

[ISO 16638-1:2015](#). Monitoring and internal dosimetry for specific materials. Part 1: Uranium

[ISO 16637:2016](#). Monitoring and internal dosimetry for staff exposed to medical radionuclides as unsealed sources

C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Bérard, A. Giussani, M.A. Lopez (2013). [IDEAS Guidelines](#) (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data. EURADOS Report 2013-01

Belső (inhal.+lenyelési) dózis

$$S = K \cdot A$$

ahol:

- S: effektív, vagy egyenérték dózis [Sv]
- A: belélegzett, ill. lenyelt aktivitás [Bq]
- K_h, K_l : inhalációs, ill. lenyelési dózisállandó [Sv/Bq],

korfüggők!

Amennyiben a belélegzett levegő, ill. a fogyasztott élelmiszer szennyezettsége ismert, akkor

- $A = C_l \cdot R_h \cdot t$ (C_l : levegő konc., Bq/m³, R_h : légzésteljes., m³/h)
- $A = C_f \cdot I_f \cdot t$ (C_f : élelm. akt.konc., Bq/kg, I_f : fogyasztás, kg/nap)
- t: ott-tartózkodás, ill. fogyasztás időtartama [h, ill. nap]

2013/59/EURATOM alapján EC RP 188 „Internal Dosimetric Service” ezt a tagországra bízta, nálunk 1mSv felett kötelező, nincsenek szakmai képzések, hiányos analitika.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Farmakon használati utasításában Készülékek kézikönyvében

RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK (2002)

Thallium - 201

Half life: 3.04 days
Specific activity: 7.90E+15 Bq.g⁻¹

201Tl₈₁

Risk group: 3
Risk colour: Yellow

Main emissions (keV)				
	Gamma or X	Beta (Emax)	Electrons	Alpha
	E %	E %	E %	E %
E1	71	47	16	10
E2	135	3	84	16
E3	167	10	153	3
% omitted	94.1		28	

Exemption levels	
Quantity (Bq)	1E+06
Concentration (Bq.g ⁻¹)	1E+02

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A1 value	1E+1
IAEA ST1 A2 value	4E+0

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m⁻² (as appropriate)

Point source (30 cm)

Infinite plane source

10 ml glass vial

Contact with 50 ml glass beaker

Contact with 5 ml plastic syringe

Betas, electrons (skin dose)
0.00E+0

Betas, electrons (skin)

10 cm 1.4E-03
1 m 0.0E+00

Photons (skin)

10 cm 1.6E-03
1 m 1.3E-03

Photons (deep dose)

10 cm 1.6E-03
1 m 1.3E-03

100 cm
1.85E-5

6.27E-2

2.85E-1

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION

Contamination skin dose (mSv.h⁻¹)
Uniform deposit (1kBq.cm⁻²) 2.70E-1
0.05 ml droplet (1 kBq) 8.39E-3

Detection
Recommended probes*
Alpha +
Beta +
Gamma +
X rays ++

Derived limits (Bq.cm⁻²)
Removable contamination 2E+2
Fixed contamination 3E+2

* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

SHIELDING (mm)

Betas and electrons (Total absorption)
Glass 0.2
Plastic 0.3

Gamma and X rays (half and tenth value thickness)

	1/2	1/10
Lead	<1	1
Steel	1	12

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS

COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq⁻¹)

Ingestion	f _i	Inhalation	1 µm	5 µm
All compounds	1.000	All compounds	F 4.7E-11	7.6E-11
			M	
			S	

Highest dose organ: Lungs 20 mSv A_{LI} 2.1E+08 (Bq) 20 mSv A_{LI} 2.6E+08 (Bq)

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)

PHYSICO-CHEMICAL STATE	Subject to external exposure requirements which may be more restrictive				
	Volatility factor (k)	Supervised area	Controlled area		
		Bench	Fume hood	Bench	Fume hood
All compounds	0.01	1E+07	1E+08	4E+07	1E+08

139

Technetium - 99m

Half life: 6.0 hours
Specific activity: 1.95E+17 Bq.g⁻¹

^{99m}Tc₄₃

Risk group: 4
Risk colour: Green

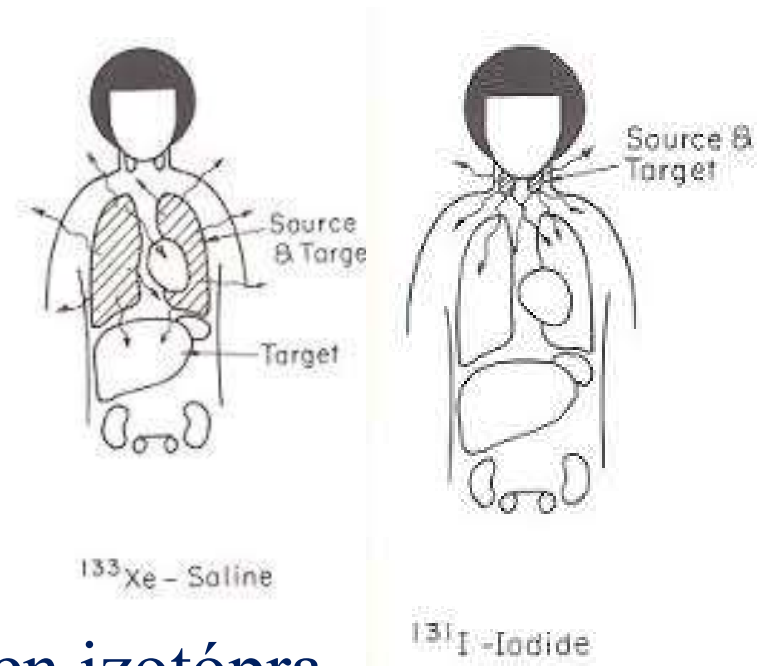
MIRD-eljárás elve

(Medical Internal Radiation Dose)

Ha egyik szervben van „A” aktivitás, az a másokban mekkora dózist ad?

Például:

- OLINDA
- DCAL
- ICRP adatbázisok



Minden forrásszerv-célszerv, minden izotópra,
emberi/szervi méretfüggő (standard man)!

Gyakorlatban hol találkozunk a dozimetriai fogalmakkal?

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

OSSKI TLD kiértékelő lapon

Éves jelentésekben

Programokban:

OLINDA,IMBA,IDEAS
SYSTEM,MONDAL

Farmakon használati
utasításában

Készülékek kézikönyvében

RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK (2002)

Thallium - 201

Half life: 3.04 days
Specific activity: 7.90E+15 Bq.g⁻¹






201Tl₈₁
Risk group: 3
Risk colour: Yellow

Main emissions (keV)			
	Gamma or X	Beta (Emax)	Electrons
	E %	E %	E %
E1	71 47		16 10
E2	135 3		84 16
E3	167 10		153 3
% omitted	94.1		28

Exemption levels	
Quantity (Bq)	1E+06
Concentration (Bq.g ⁻¹)	1E+02

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	1E+1
IAEA ST1 A ₂ value	4E+0

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m⁻² (as appropriate)

Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe
 Betas, electrons (skin dose) 0.00E+0	 Betas, electrons (skin) 10 cm 1.4E-03 1 m 0.0E+00 Photons (skin) 10 cm 1.6E-03 1 m 1.3E-03 Gammas, X rays (deep tissue dose) 1.97E-4	 100 cm 1.85E-5	 6.27E-2	 2.85E-1

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION

Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)	
Uniform deposit (1kBq.cm ⁻²)	2.70E-1
0.05 ml droplet (1 kBq)	8.39E-3

Detection	
Recommended probes*	
Alpha	
Beta	+
Gamma	+
X rays	++

Derived limits (Bq.cm ⁻²)	
Removable contamination	2E+2
Fixed contamination	3E+2

* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

SHIELDING (mm)

Betas and electrons (Total absorption)	
Glass	0.2
Plastic	0.3

Gamma and X rays (half and tenth value thickness)	
	1/2
Lead	<1
Steel	3

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS

COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq⁻¹)

Ingestion	
All compounds	1.000 9.5E-11

Inhalation	
All compounds	F 4.7E-11 7.6E-11 M S

1 µm 5 µm

highest dose organ Lungs 20 mSv A_{LI} Ingestion 2.1E+08 (Bq) 20 mSv A_{LI} Inhalation 2.6E+08 (Bq)

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)

PHYSICOCHEMICAL STATE	Subject to external exposure requirements which may be more restrictive			
	Supervised area		Controlled area	
	Bench	Fume hood	Bench	Fume hood
All compounds	0.01	1E+07 1E+08	4E+07 4E+08	1E+08 1E+09

139

Köszönöm a figyelmet

A SUGÁRTERHELÉS FAJTÁI ÉS SZINTJEI, LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

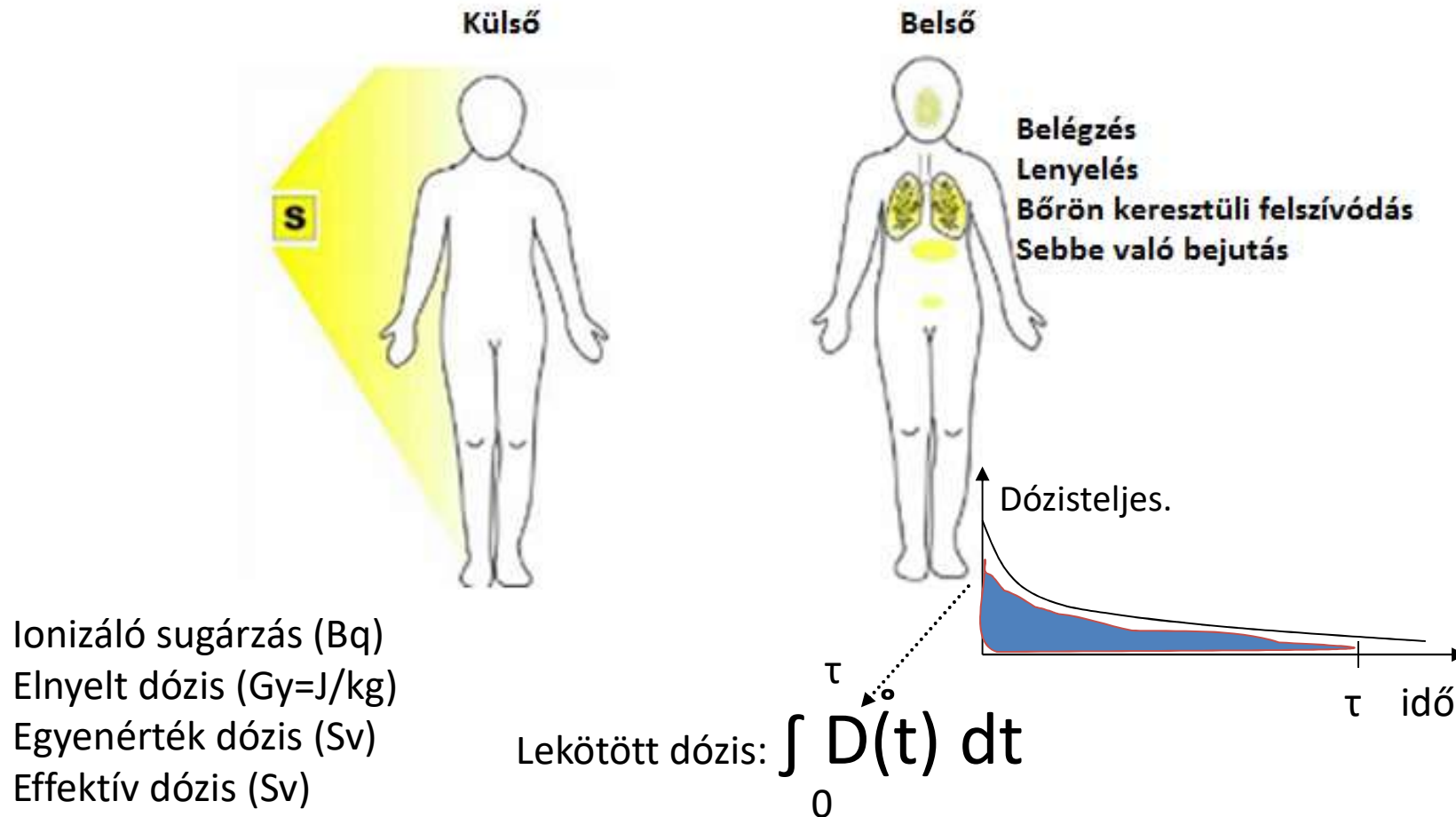
*Taba Gabriella ,SE Sugárvédelmi Szolgálat
2021.04.06.*

Sugárterhelések osztályozásának szempontjai

- Sugárforrás elhelyezkedése: külső, belső sugárzás (az emberi testhez viszonyítva)
- Sugárzás eredete, forrása: természetes, mesterséges
- Sugárzás fajtája: α -, β -, γ -, neutron,
- Sugárterhelés szabályozása, ellenőrzése (expozíciós fajták): tervezett, veszélyhelyzeti, meglévő
- Időtartam (akut: 1-2 nap alatt, krónikus: évek)
- **Exponált csoportok, személyek (expozíciós kategóriák):** foglalkozási, **lakossági**, orvosi, (bióták?)

Az elhatárolódás, kategorizálás, osztályozás több esetben nem egyértelmű!

Külső és belső sugárterhelés



Integrálási időtartam szabályozáshoz: $\tau = 50$ év (felnőtt), 70 év (gyermek)

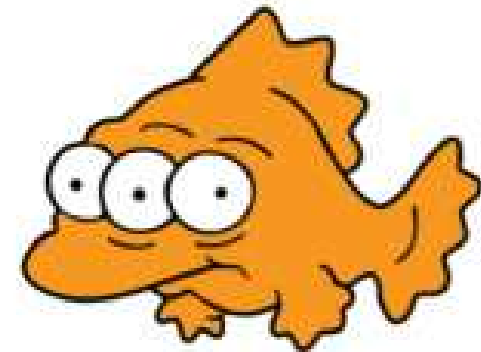
SIMPSONS GUIDE TO RADIATION



Bequerel [Bq]
How brightly your
Cesium glows



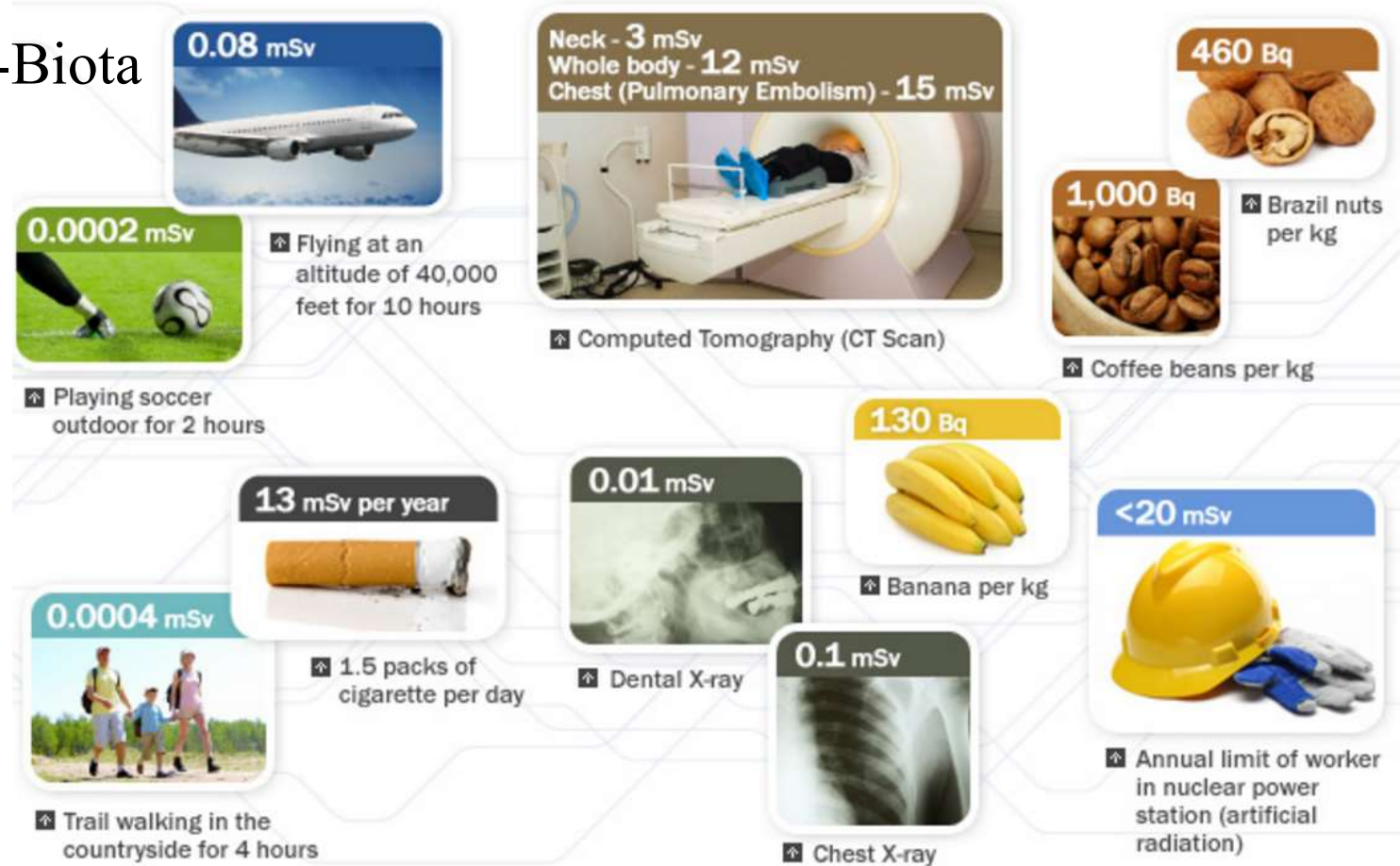
Gray [Gy]
How brightly
Cesium will make
you glow



Sieverts [Sv]
How many extra
eyes will you have
after glowing?

Expozíciós Kategóriák

- Munkavállalóra vonatkozóan
- Lakosságra vonatkozóan
- Nem humán-Biota



Lakossági sugárterhelés eredete, forrása, dózisa

- Természetes sugárterhelés

évi $\approx 2,5$ mSv effektív dózis (külső + belső)



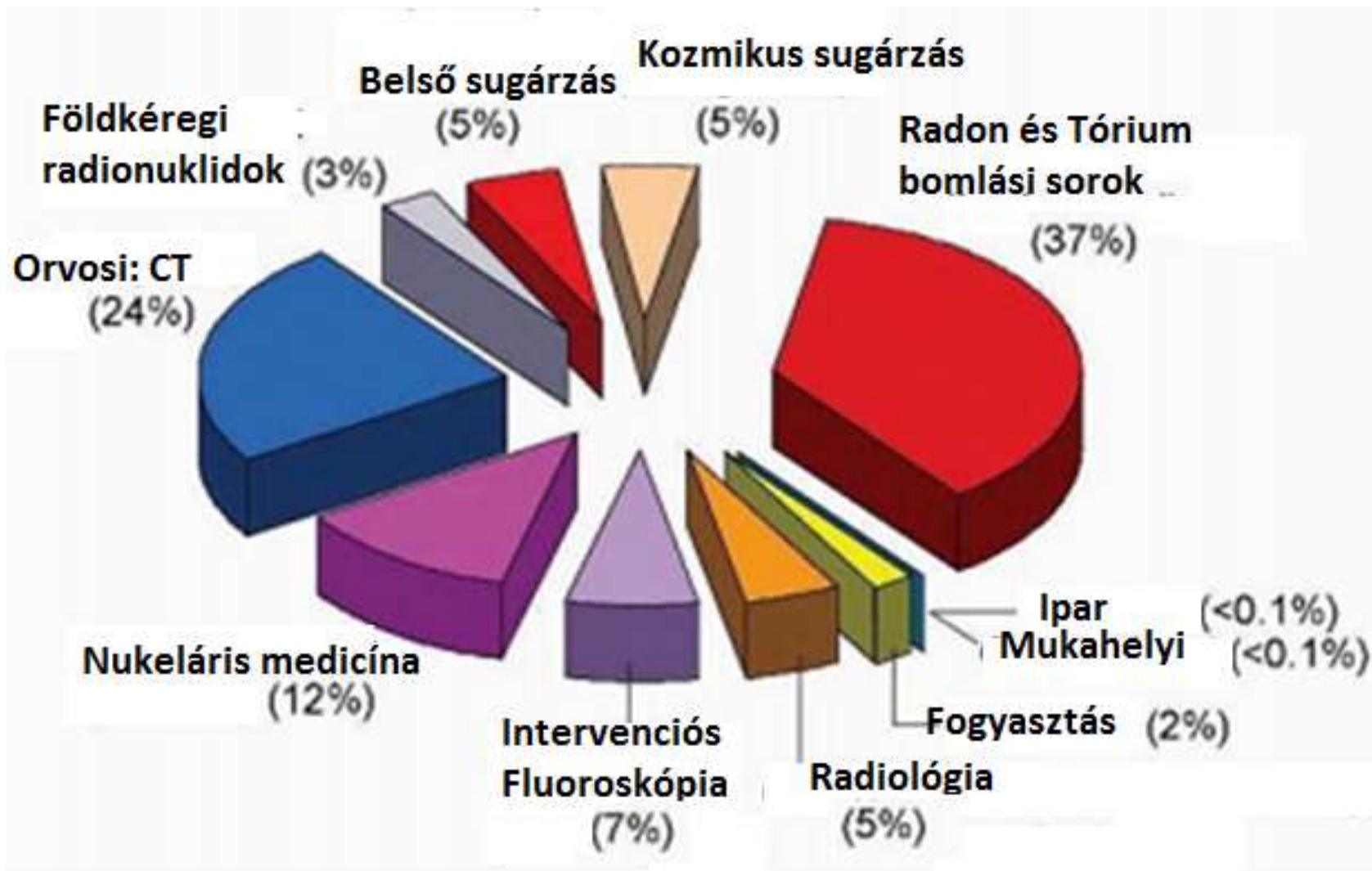
- Mesterséges sugárterhelés

évi $\approx 1,7$ mSv effektív dózis (elsősorban külső, orvosi diagnosztika)



- Összehasonlítás kép munkavállalóknál:
- Éves dózis korlát 20mSv
- Éves dózis megszorítás 2mSv (40mikroSv/hét dolgozókra, 6mikroSv/hét lakosságra)
- Tervezési korlátozás 2mSv/év
- Kivizsgálási szintek: munkahelyi (2mSv), hatósági (6mSv), INES 2 (20mSv felett) nemzetközi bejelentés
- Egyetemen előforduló dózis járulékok: 1-0,2mSv

NCRP tanulmány 160 USA Lakosság effektív dózis eloszlása sugár források szerint (2006)



Természetes eredetű külső sugárzások

Kozmikus sugárzás

Kozmogén radionuklidok

Földkérgi radionuklidok

Primodiális radionuklidok

Szóló radionuklidok



15 km

10

$\mu\text{Sv} \cdot \text{óra}^{-1}$



10 km

5

$\mu\text{Sv} \cdot \text{óra}^{-1}$



Himalája

6,7 km

1

$\mu\text{Sv} \cdot \text{óra}^{-1}$

Mexikóváros

2,3 km

0,1

$\mu\text{Sv} \cdot \text{óra}^{-1}$

Tengerszint

0 km

0,03

$\mu\text{Sv} \cdot \text{óra}^{-1}$



Magas természetes háttérű területek

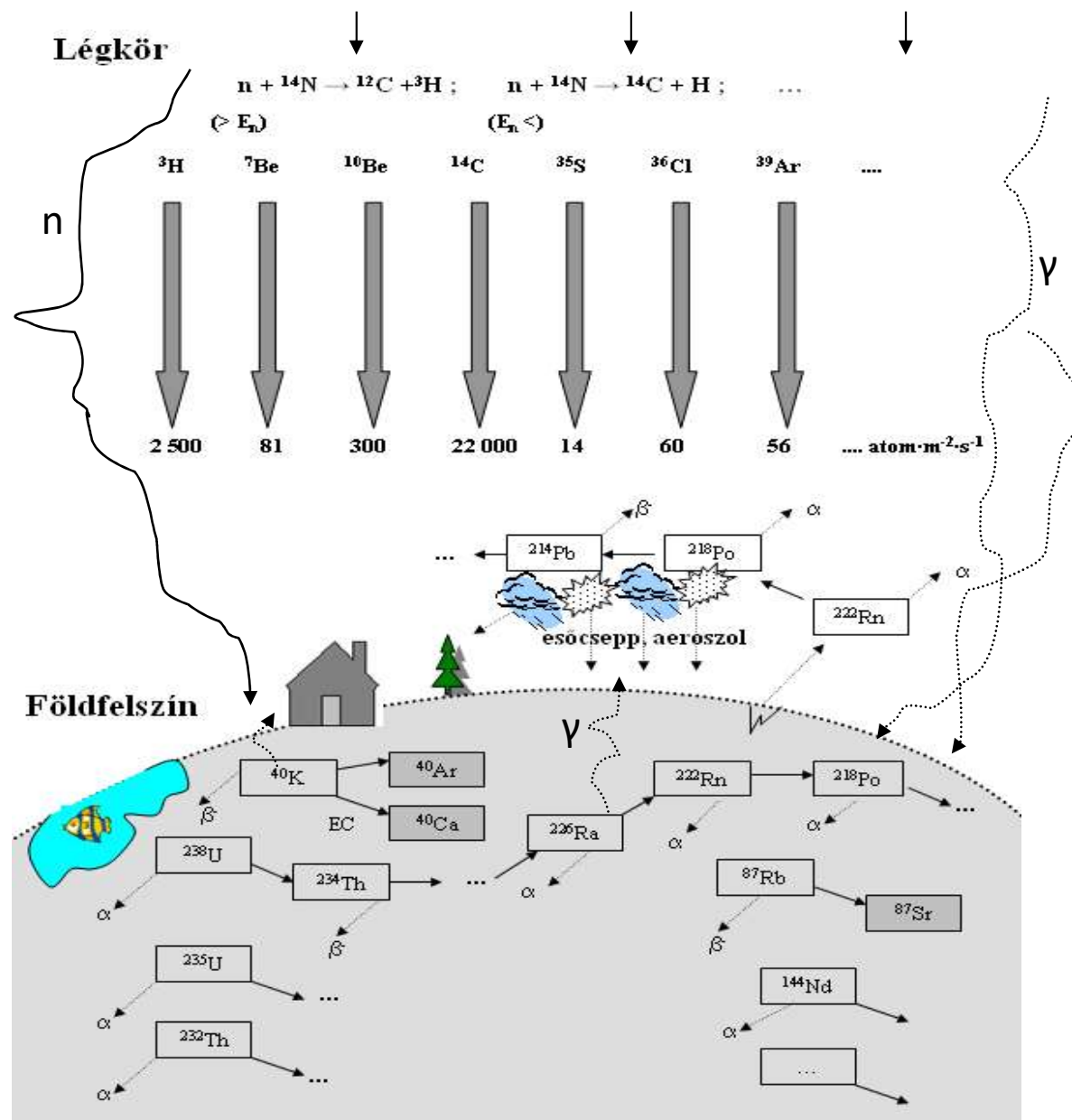


Ország	Terület	Terület jellege	Dózis teljesítmény (nGy/h)
Brazília	Guarapari	Monazit, vulkanikus kőzetek	90-90 000 (strandok)
Kína	Yangjiang	Monazit	370
Egyiptom	Nílus Delta	Monazit homok	20-400
Francia ország	Közép Dél-nyugat	Monazit homok Urán tartalmú kőzetek	20-400 10-10 000
India	Kerala és Madras	Monazit homok	200-4000
Irán	Ramsar Mahallat	Források	70-17 000 800-4000
Magyarország	Mecsek	MÉV rekultivált központi meddőhányója	250
Svájc	Tessin, Alpok	Gneiss vulkán, Ra-226 karszt	100-200

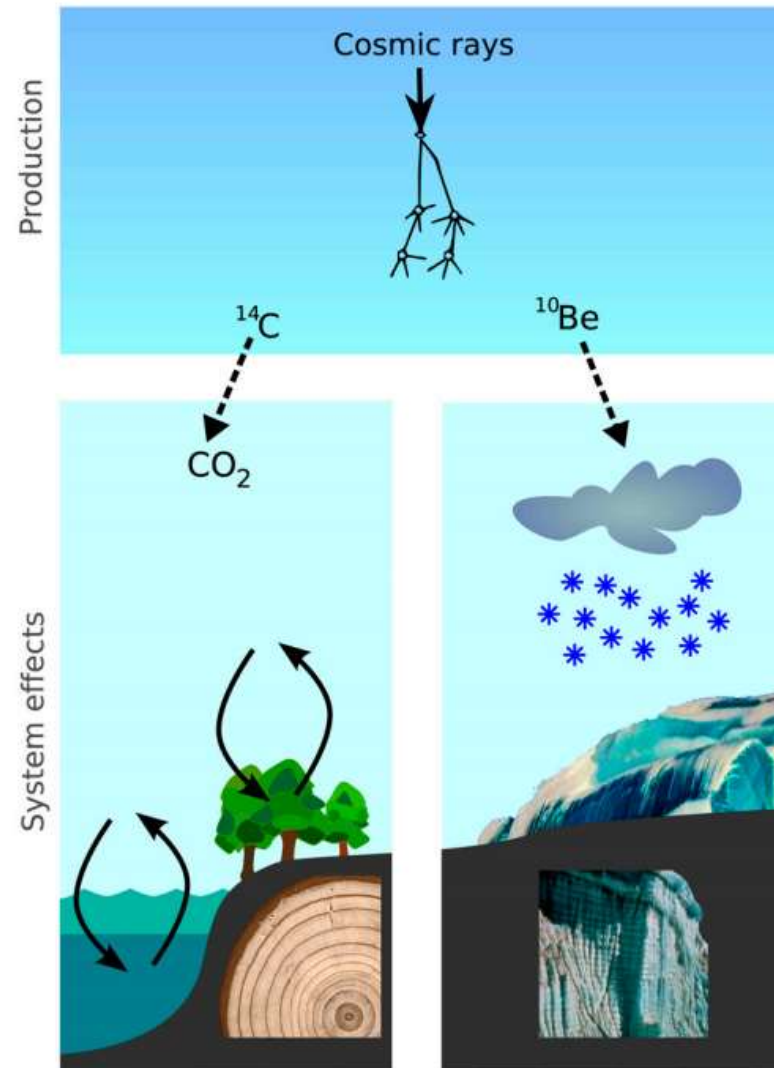
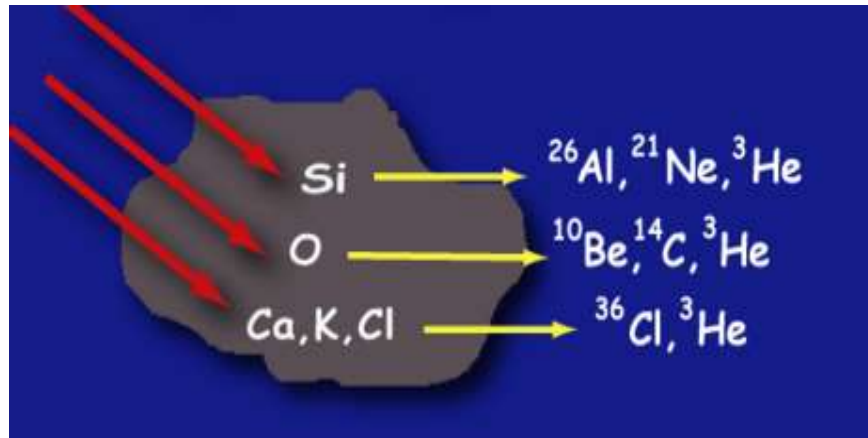
Természetes: Kozmogén és földkérgi radionuklidok

Külső+Belső

Univerzum (ionok, α -, β -, n-, müon- ... sugárzás)



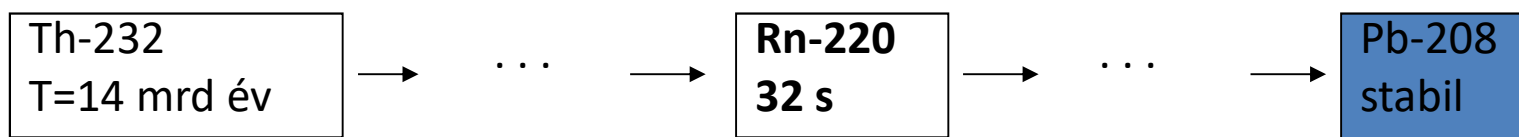
Kozmogén izotópok keletkezése



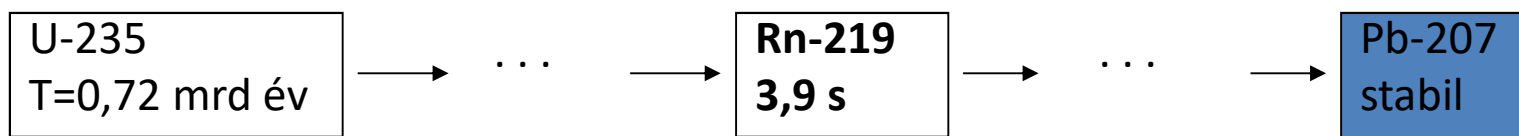
A földkérgi sugárterhelést meghatározó **természetes radioaktív bomlássorok**

Primodiális nuklidok (Th,U sorok, szóló radionuklidok K-40,

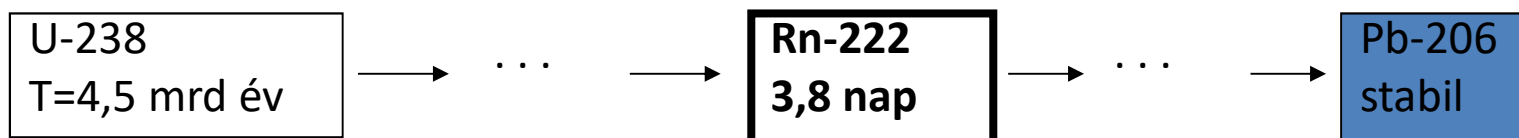
Tórium sorozat



Aktínium sorozat



Urán sorozat

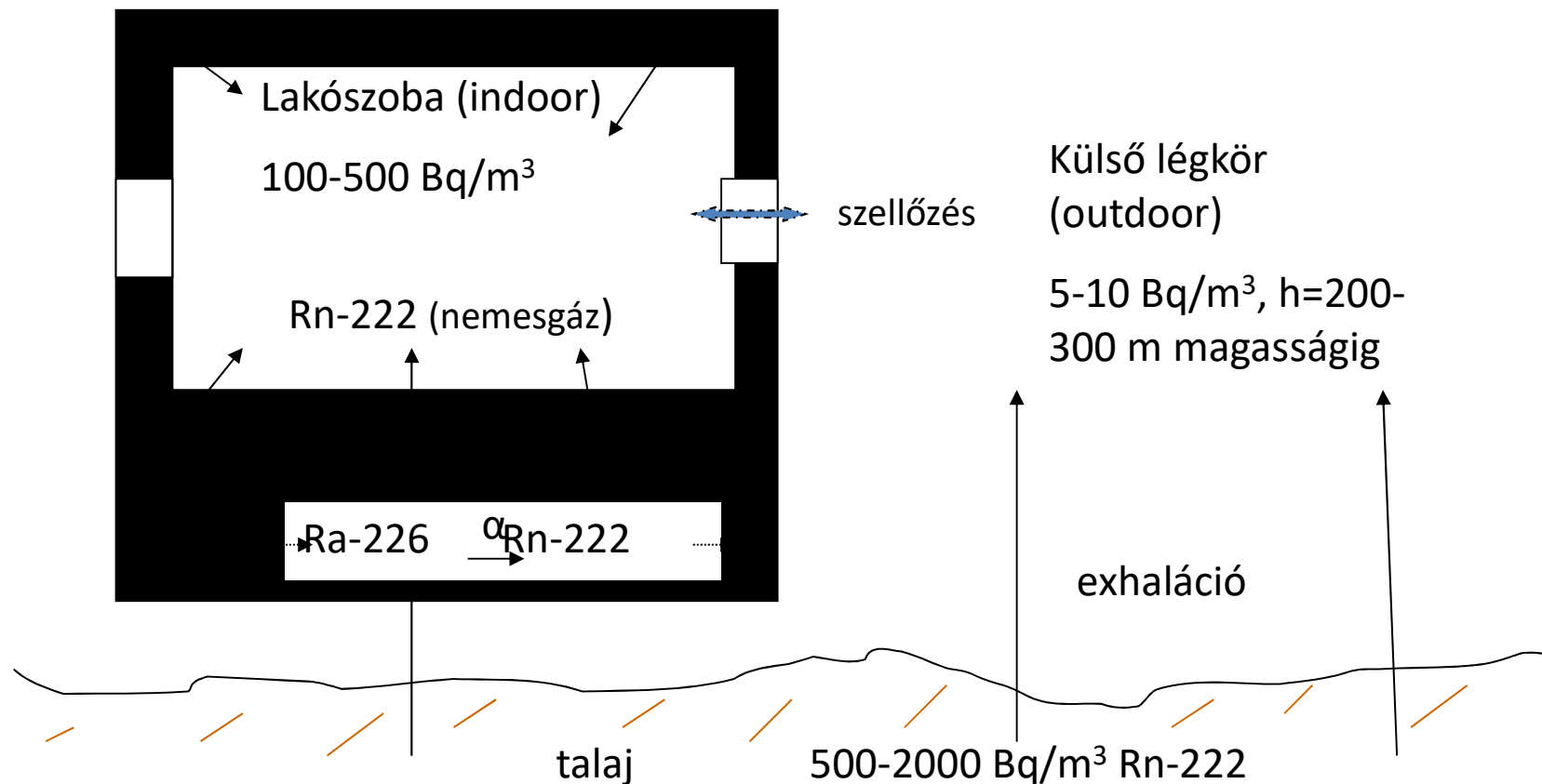


Lényeges folyam.: Rn-emanáció: a Rn nemesgáz a kristályrácsból kiszabadul a talajgázokba

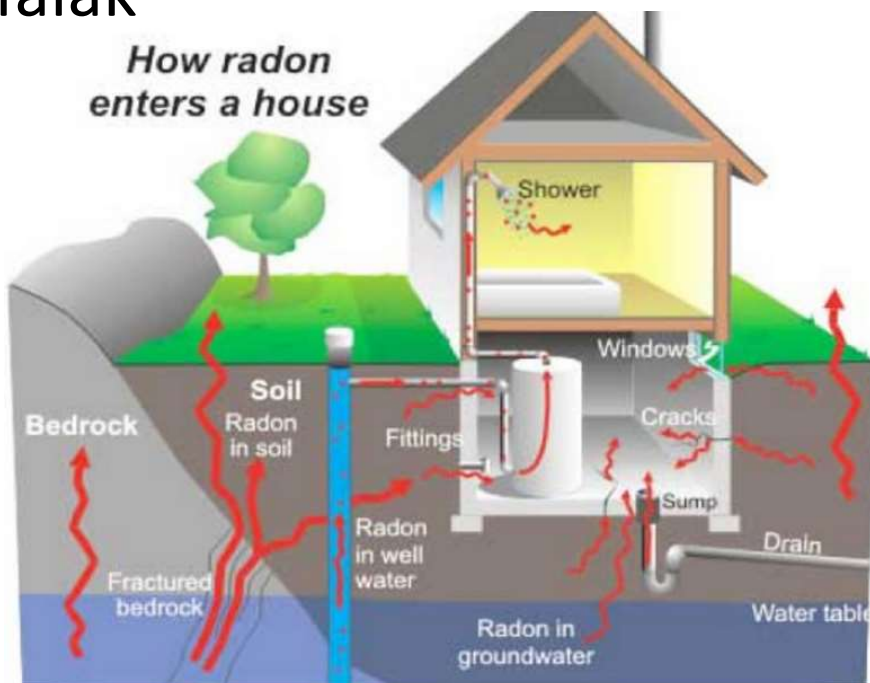
Rn-exhaláció: a Rn a talajból kikerül a légkörbe.

Rn-222 koncentrációk

Különösen télen, amikor kicsi a szellőztetés, a lakótérben felgyülemlik a Rn-nemesgáz. Az emberek többsége életének kb. 80 %-ban zárt térben tartózkodik (dolgozik, szórakozik, alszik,...)



Radon és leányelemei a lakóterekben (Rn-forrás: épületanyag, falak)



Átlagos környezeti koncentráció: 5-15 Bq/m³

Átlagos beltéri koncentráció: 39 Bq/m³

Beavatkozási szint: 200-400 Bq/m³ (Ausztrália 200)

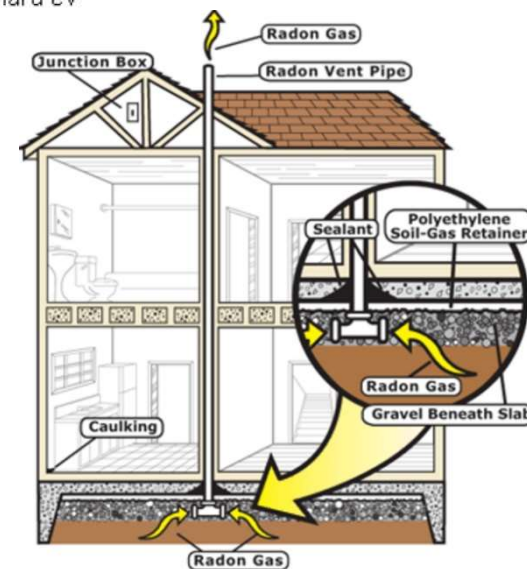
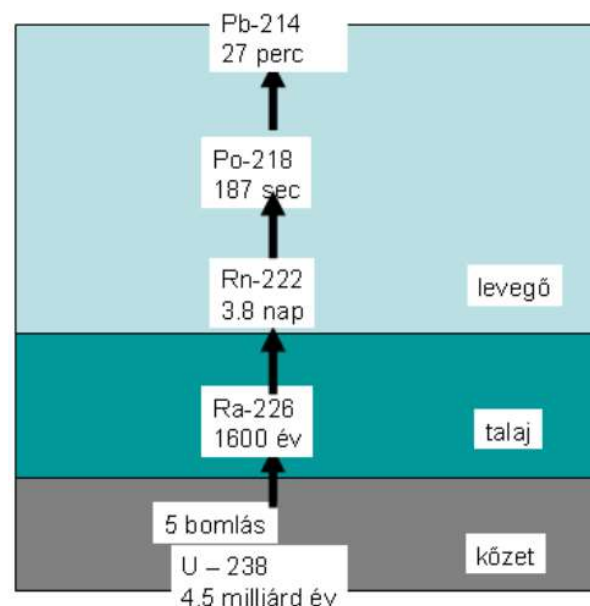
A tüdőrák kockázatnövekedése 16% per 100 Bq/m³ radon koncentráció növekedés

A függvény lineáris, küszöbérték nélkül

A dohányzás szinergetikusan növeli a kockázatot

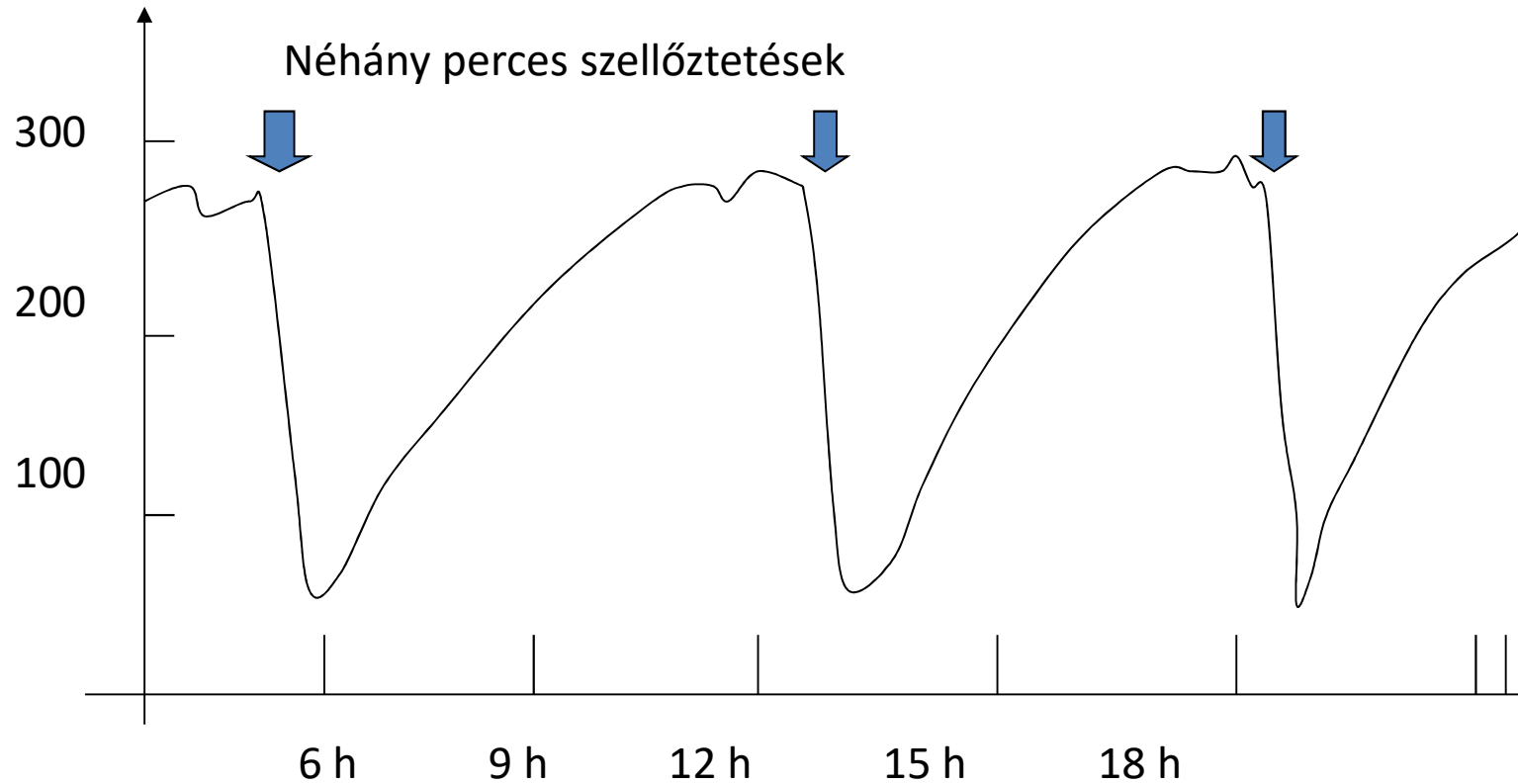
Az enyhe dohányzás is növeli a kockázatot a kis dózisok tartományában

A ²²²Rn



Rn-koncentráció változása 5-6 óránkénti, néhány perces szellőztetés esetén

- C_{Rn} (Bq/m³)



Mesterséges forrásokból eredő sugárterhelés

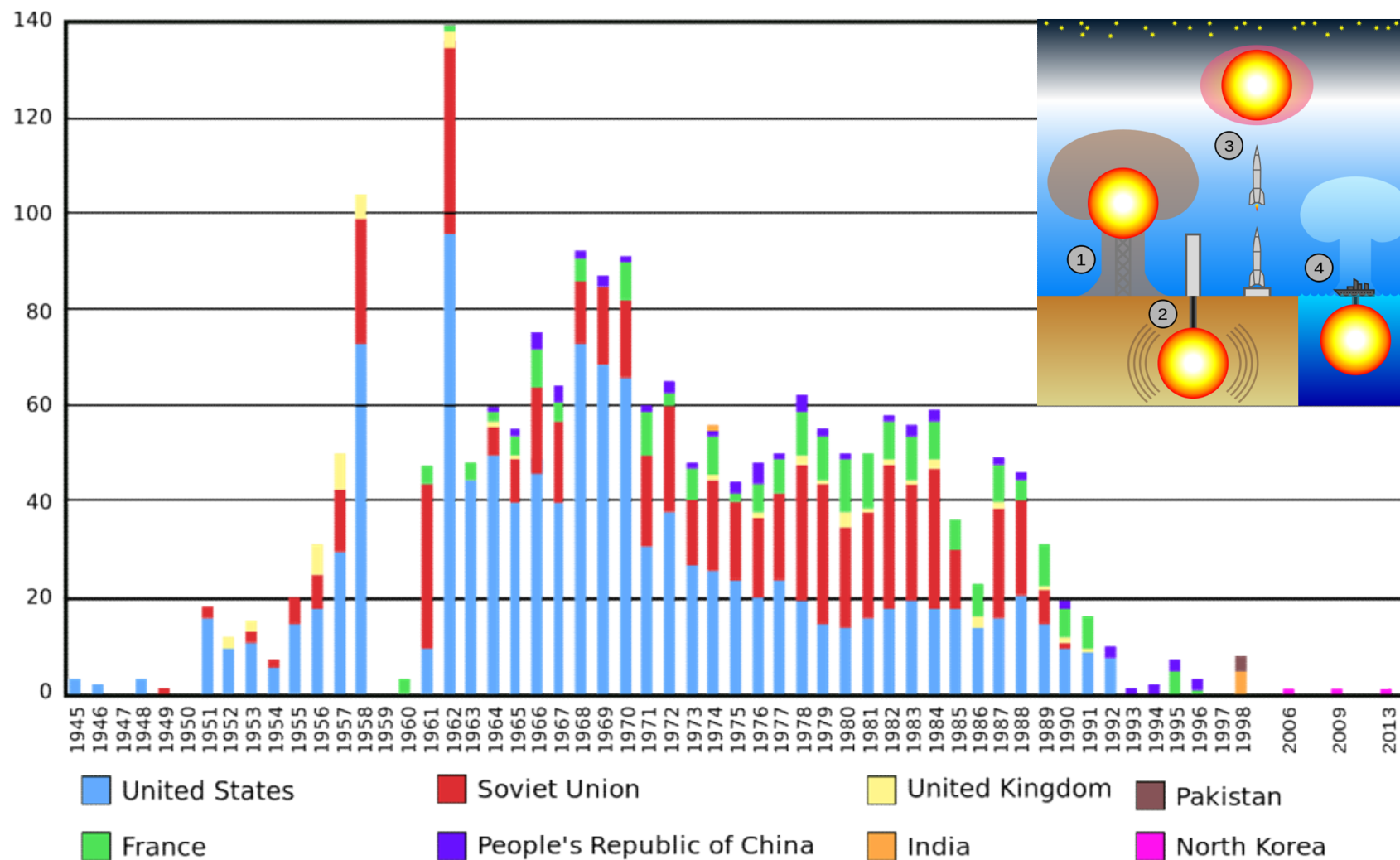
- orvosi sugárterhelés (mint páciens, rtg diagn.)
- atomerőművek, izotóplaboratóriumok környezetében a levegő, növényzet radionuklid koncentrációja
- radioakt. hull. tárolók környezetében a kutak, forrás vizek radionuklid tartalma
- Nukleáris kísérleti robbantások
- NORM anyagok
- Balesetek

Ezek a jelentősebb, mesterséges lakossági sugárterhelés járulék komponensek.

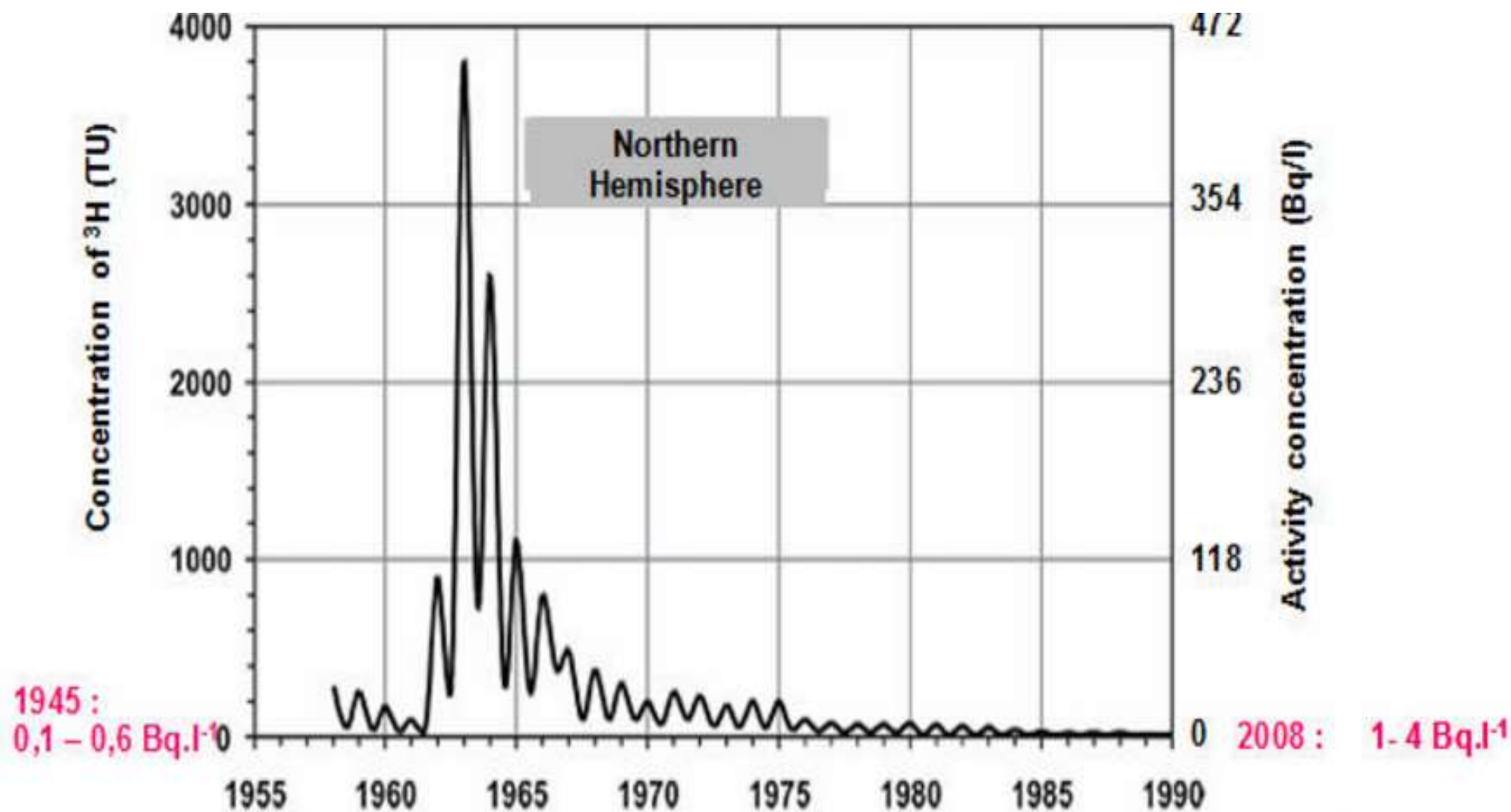
Kibocsátási forrás	Ország	év	Összes aktivitás (Bq)	nuklidok
Hirosima,Nagaszaki	Japán	1945	4×10^{16}	Aktinidák, Xe-133, I-131, Sr-90, Cs-137,
Léggöri robbantások	USA, USSR	1963-ig	2×10^{20}	Fúziós,H-3,C-14,Cs-137, aktinidák
Windscale	UK	1975	1×10^{15}	I-131
Chelyabinsk	USSR	1957	8×10^{16}	Aktinidák ,Xe-133, I-131, Sr-90, Cs-137,
Csernobyl	USSR	1986	2×10^{18}	Cs-137, I-131, Sr-90

Nukleáris kísérleti robbantások száma

Worldwide nuclear testing, 1945 - 2013

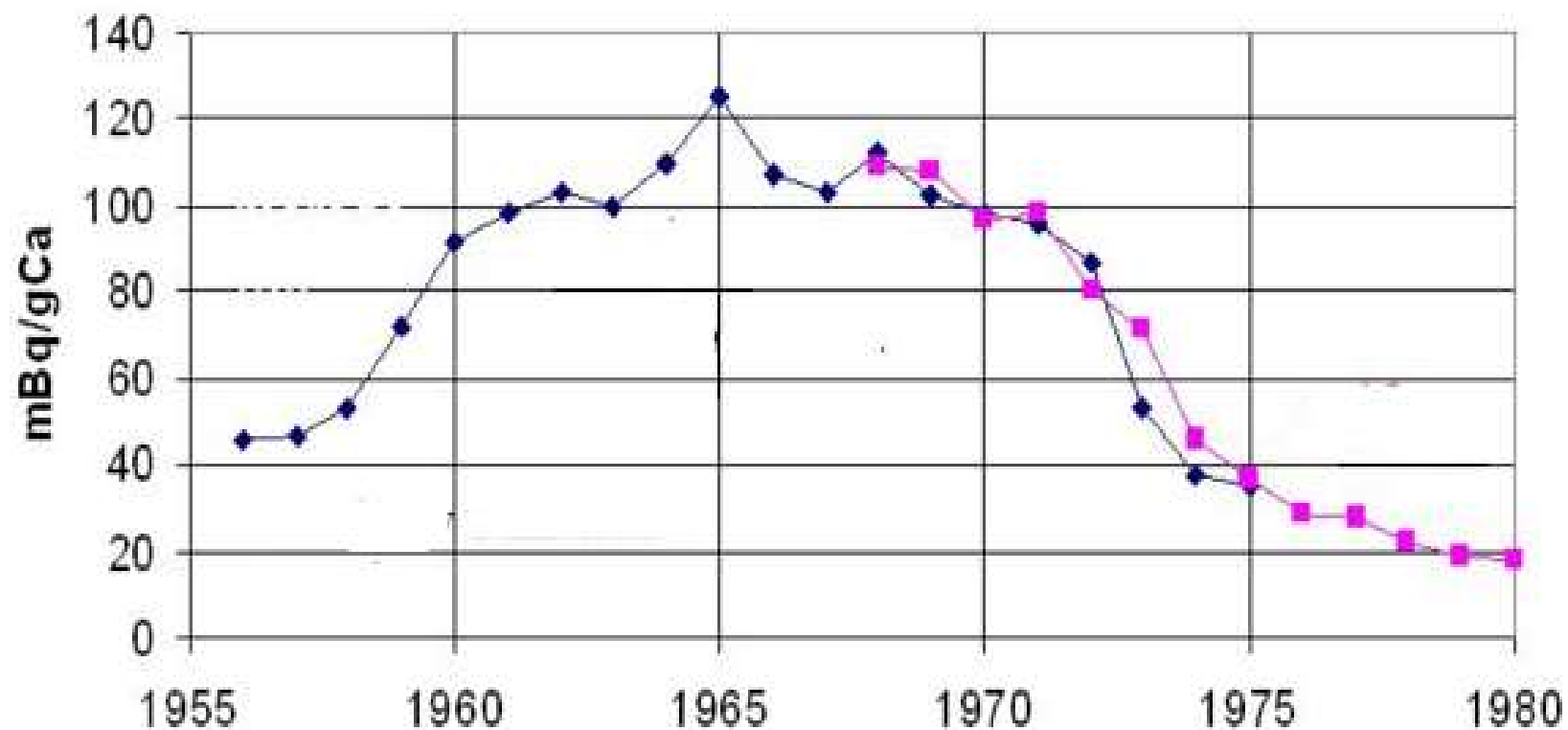


Trícium felszíni aktivitás koncentráció változás



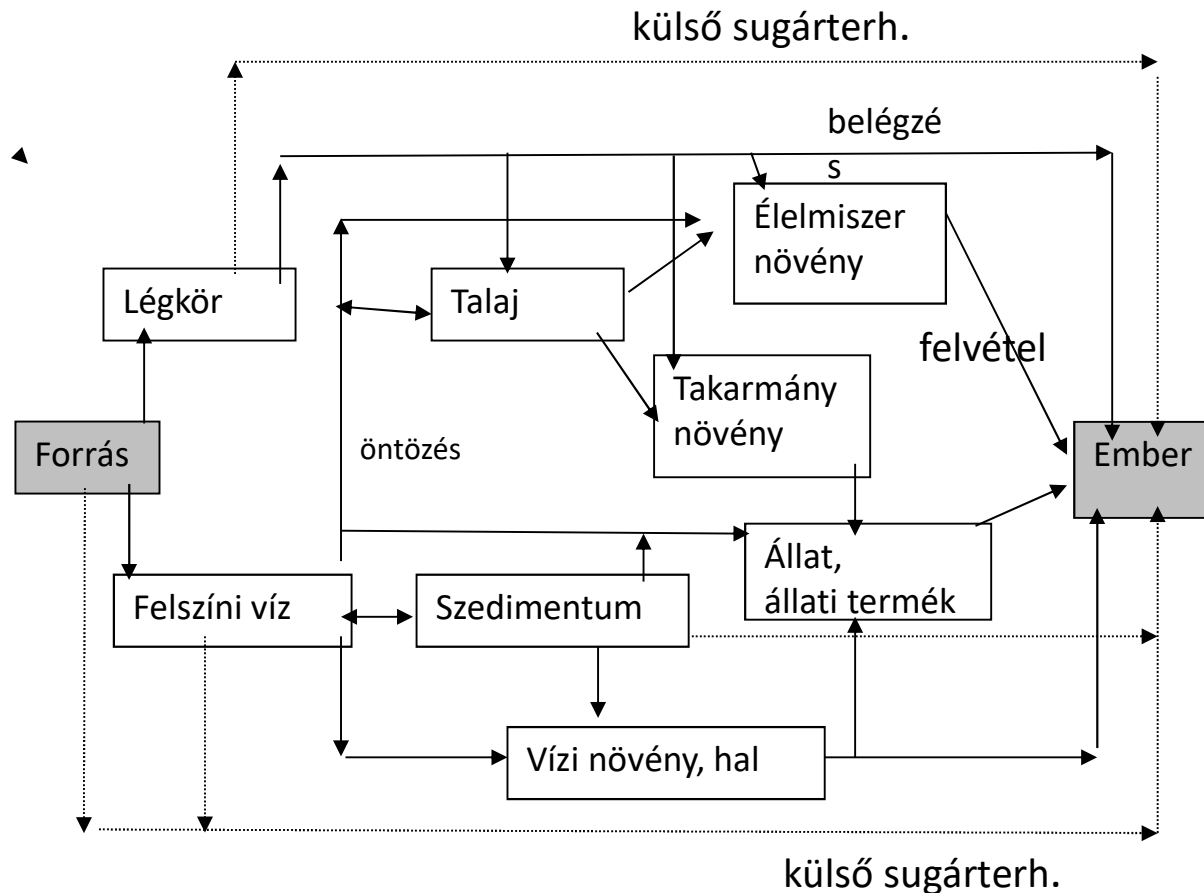
Smooth curve showing the average ^3H concentrations in precipitation over the continental surface in the Northern hemisphere. *Source = IAEA Isotope hydrology, 2006*

Fogak és tejfogak Sr-90 aktivitás koncentráció változása



(Turai I.: Sugáreg. ismeretek, 1993)

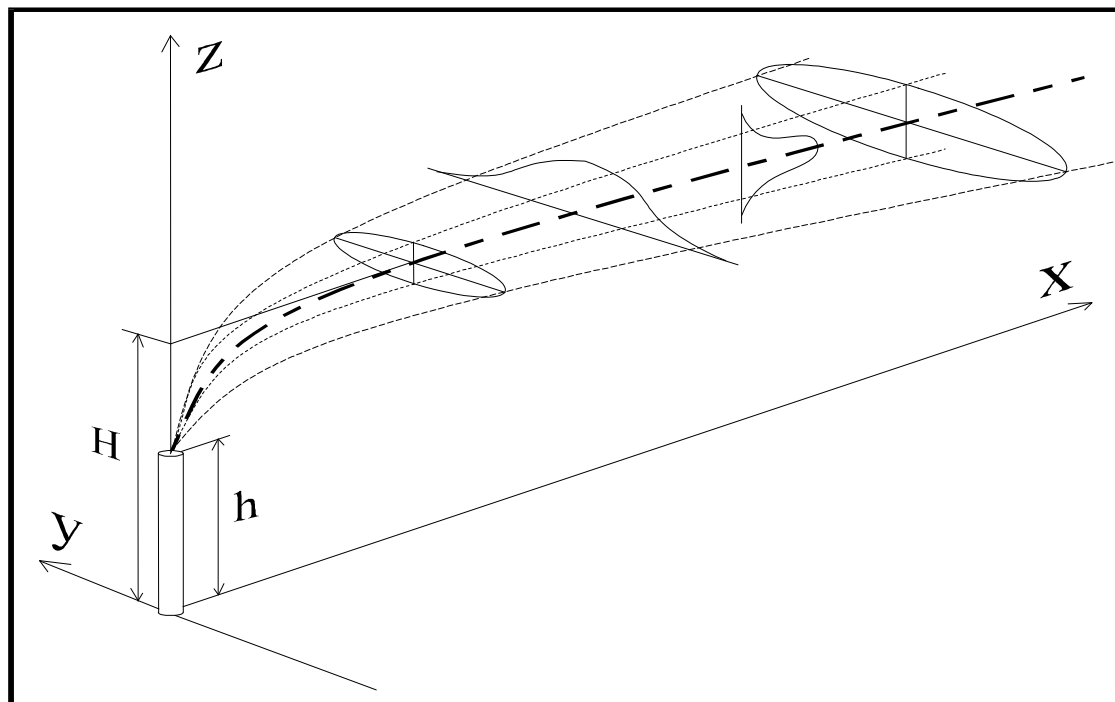
Nukleáris üzemből, izotóplaboratóriumból kikerülő radioaktív anyag mozgása a környezetben: expozíciós útvonalak



- A radioaktív anyag migrációja a bioszférában és besugárzási útvonalak az ember esetén (*szaggatott nyíl a sugárzás, folyamatos nyíl a radioaktív anyag terjedését jelöli*)

Légköri terjedés nukleáris létesítmény (atomerőmű, izotóplaboratórium) környékén

- Normál üzem mellett a forrástól 2-3 km távolságban már rendszerint nem mérhető a szennyeződés, csak becsülhető a kibocsátásból és a meteorológiai adatokból (Gauss-féle terjedési modellek).



TENORM anyagok

Technológia révén módosított természetes radioaktív anyagok

- Szén tüzelésű erőművek
- Geotermikus energia termelés
- Foszfát műtrágya
- Építő anyagok
- Fogyasztási cikkek (üvegáruk, kerámia, festékek)
- Ipari hulladékok (iszap, hamu, por, vízkő)



•Építőanyagok

Építőanyagok becsült átlagos radioaktív anyag tartalmát az alábbi táblázatban mutatjuk be:

Építőanyagok radioaktivitása

Építőanyag	Urán		Tórium		K-40	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
Gránit	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
Homokkő	0.4 5	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Cement	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Mészkő (tömörített)	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Homokkő (tömörített)	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Száraz farostlemez	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
Gipsz melléktermék	13.7	186 (5.0)	16.1	66 (1.78)	0.02	5.9 (0.2)
Természetes gipsz	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Fa	-	-	-	-	11.3	3330 (90)
Vályogtégla	8.2	111 (3)	10.8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

Átlagos környezeti dózisszintek, a konfidencia intervallumokkal (**természetes**)

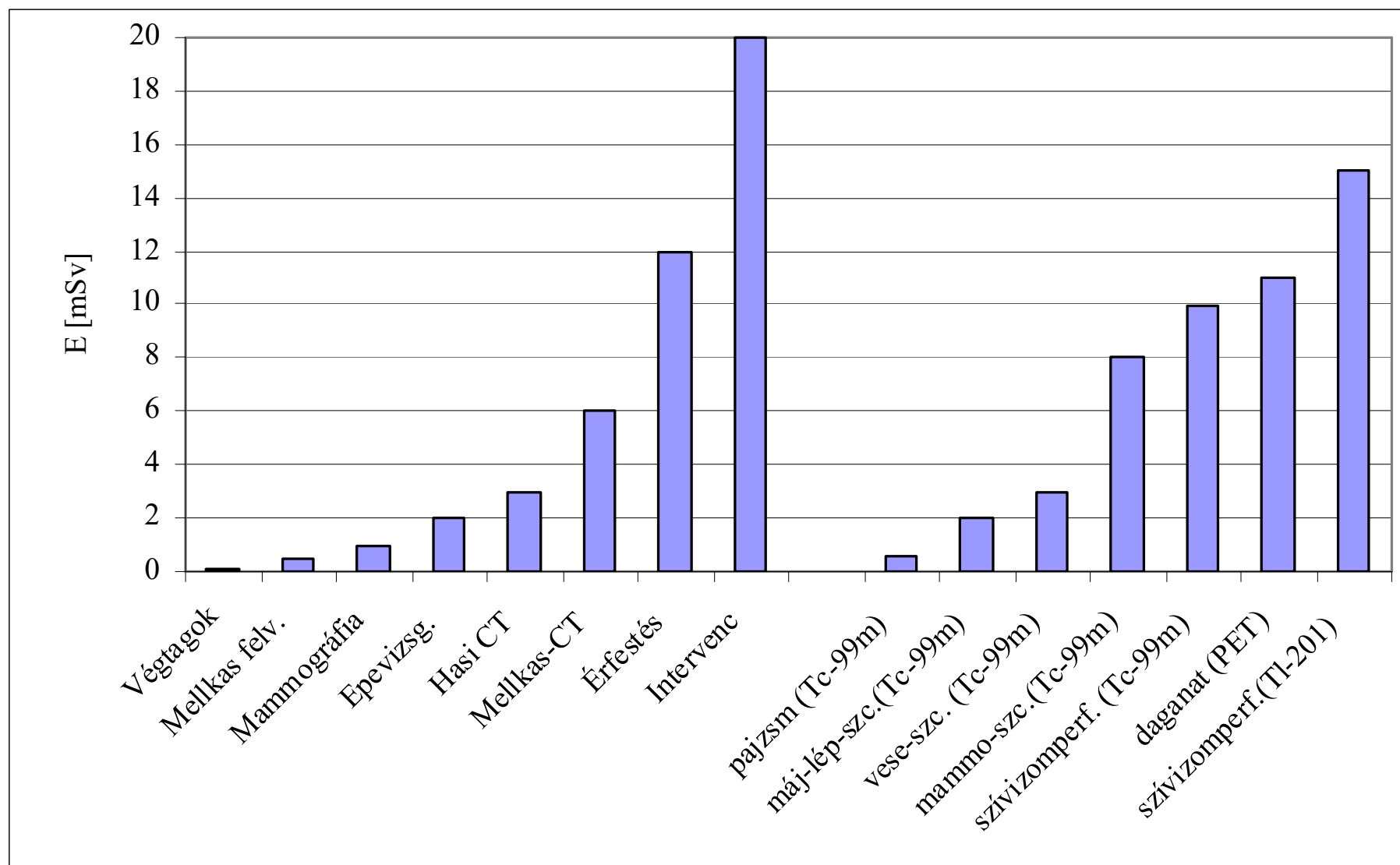
Forrás, komponensek	Átlagos dózis és intervallum (mSv)
Kozmikus, külső, effektív dózis, éves	0,38 (0,3-1,0)
Kozmogén radionuklidok belégzése, lenyelése (belső, lekötött effektív dózis), éves	0,012 (0,008 - 0,02)
Földkérgi, külső, effektív dózis, szabadban, éves lakóépületben, éves	0,45 (0,3-0,6) 0,55 (0,4-0,8)
Földkérgi, belső, lekötött eff. dózis (kivétel: Rn leányelemei), éves	0,27 (0,2-0,5)
Földkérgi, belső, lekötött eff. dózis, Rn és leányelemei, éves	1,2 (0,5-5,0)
Földkérgi, belső, lekötött egyenérték dózis tüdőre, Rn és leányelemei, év	10

Átlagos környezeti dózisok (folytatás: mesterséges források)

Forrás, komponensek	Átlagos dózis és intervallum (mSv)
Orvosi, külső (elsősorban rtg diagn), effektív dózis, éves	1,5 (0,1-5)
Atomerőművek (1-5 km távolságban), éves	0,01 (- 0,1)
Atombomba (Hiroshima, Nagaszaki, városterületeken belül)	100-5000
Atomfegyver kísérletek, északi félteke	0,1-2
déli félteke	< 0,01
Csernobili baleset, effektív dózis r ≈ 30 km-es körön belül	1-20
Közép- és Nyugat Európa	0,1-2
Észak Amerika	0,01
Japán	0,01
déli félteke	< 0,01

SE rtg munkahelyeken a dolgozók (utóbbi 3 évben):	≈ 0,5 mSv / év
SE fogászati rtg munkahelyeken a dolgozók (u 3 év):	< 0,3 mSv / év
SE izotópos munkahelyeken a dolgozók (u 3 év):	≈ 0,7 mSv / év

Orvosi sugárterhelések (eff.dózis per vizsgálat)



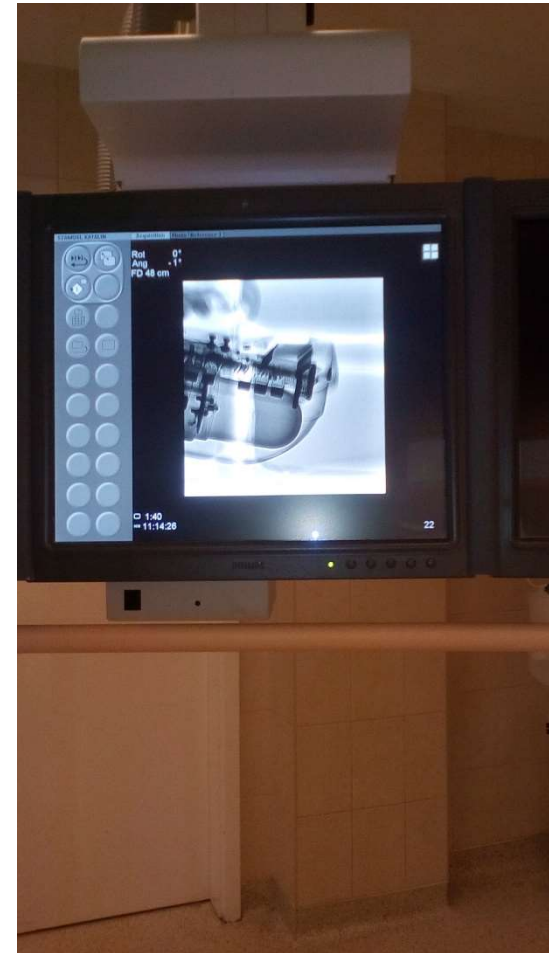
Sugárterhelések mérése

- **Külső sugárzás mérése** (esetek közel 100 %-ban a fogorv. alkalmazásban)
 - képi diagnosztika, röntgen
 - sugárterápia ,
 - *rtg sugárzás*, energia: ≈ 60 keV (20-150 keV), ionizációs kamrával dózis, ill. dózisteljesítmény mérés , termoluminescens mérés (TLD),
- **Belső sugárterhelés-radioaktív izotóp**, (belélegzés, lenyelés, bőrön történő felszívódás, seb)
 - anyagcsere folyamatokból: lágy szövetek, csontok, vizelet (24 órás) széklet (48 órás), orr-száj váladék minta, (LSC, HpGe detektor, NaI det.)
 - fogminták radionuklid szennyeződése (kémiai mintafeldolgozás, majd mérés NaI (Tl), folyadék-szcintillációs stb. detektorral)
 - aktivációs elemzések,
 - α -, β - és γ -sugárzás, mint szennyeződés mérése dörzsmintában stb.

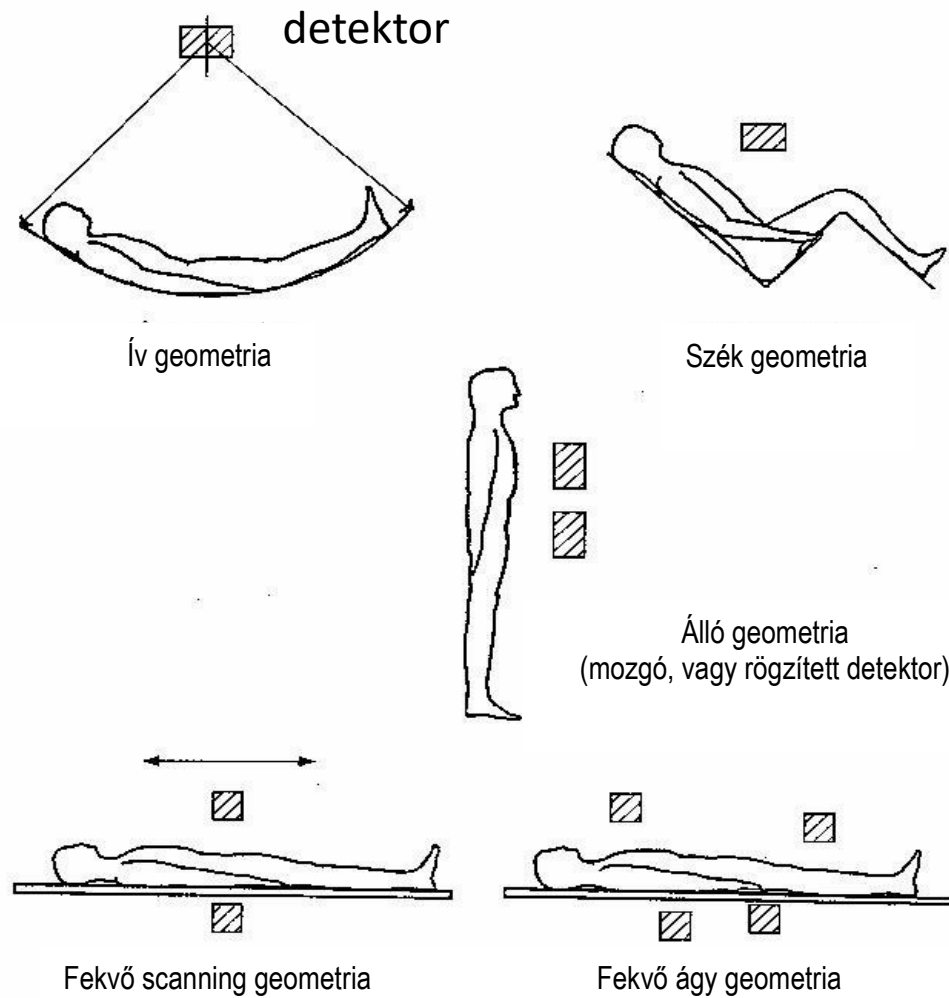
külső sugárterhelést okozó gamma- vagy röntgen-fotonsugárzásból származó személyi dózisegyenérték, $H_p(10)$ (0,3mSv-től)

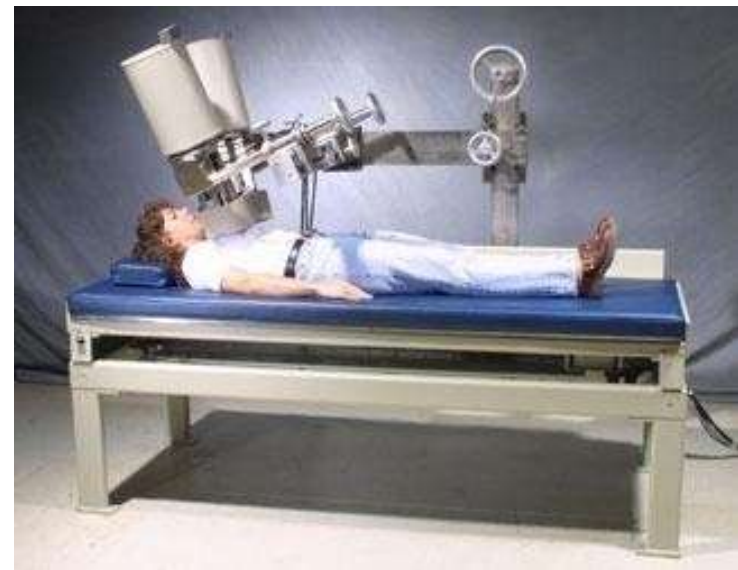


Egyetemen lehet belső ellenőrzésre TLD és
dózis teljesítmény mérést igényelni

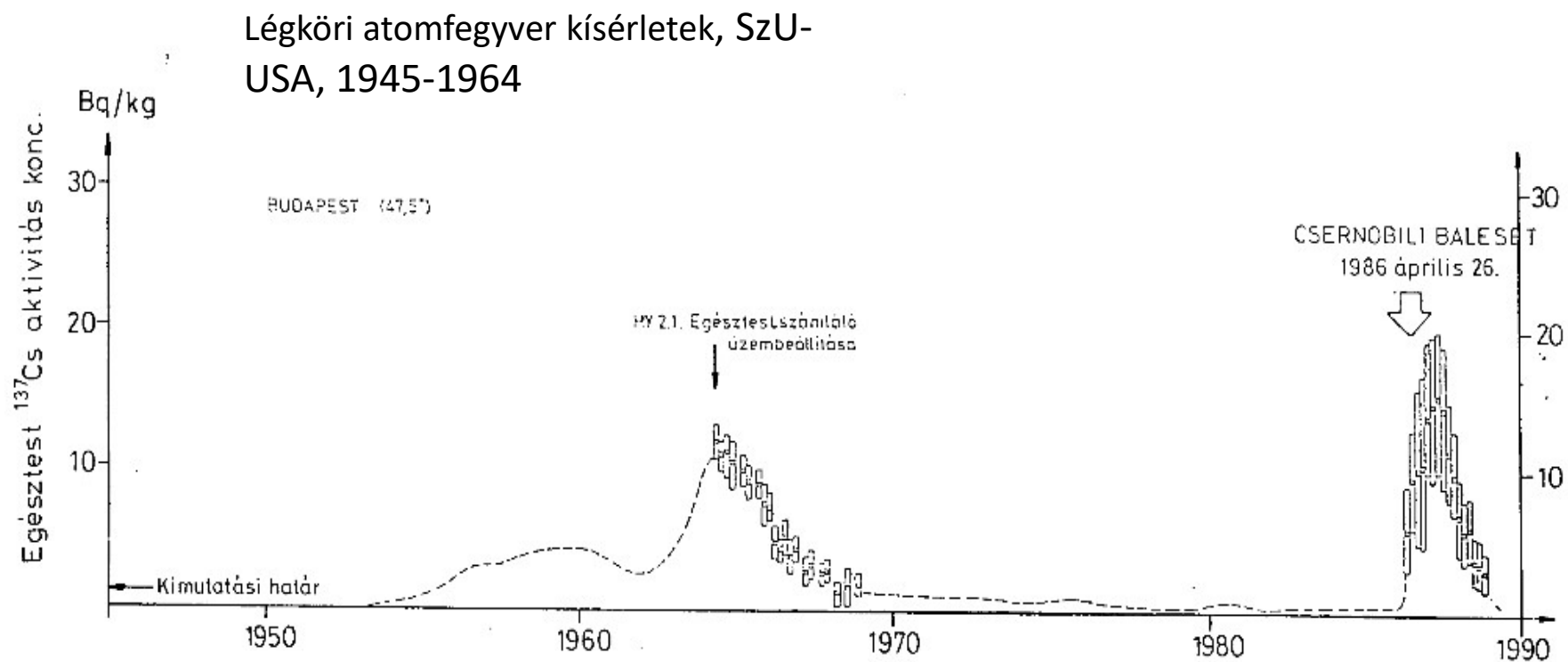


Egésztest számláló, inkorporált radioizotóp kimutatására (mérési geometriák)





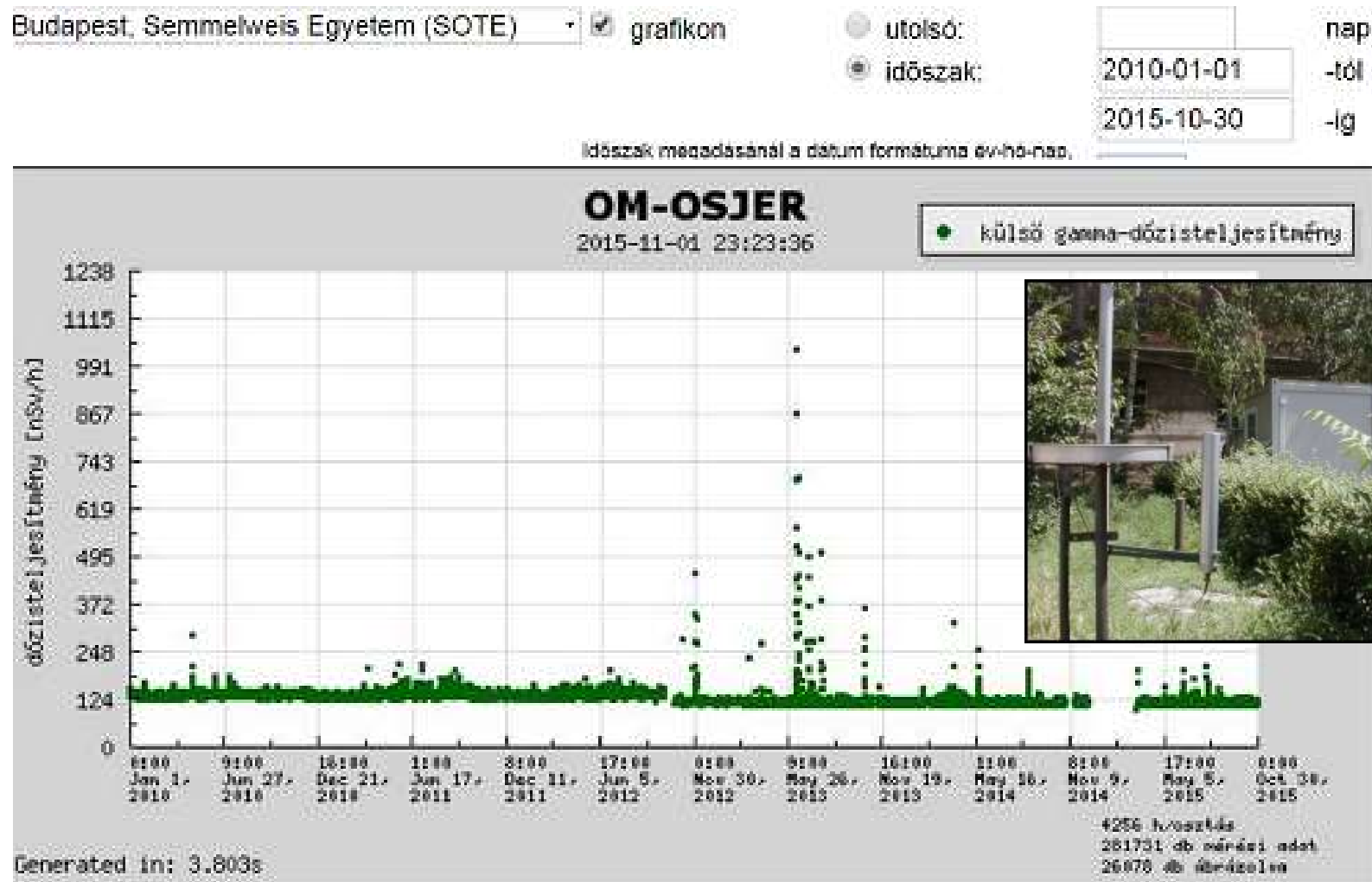
A Cs-137 megjelenése a fővárosi lakosságban (Andrási A., ... (KFKI) mérései). (A Cs-137 $E=662$ keV energiájú gamma-sugárzást bocsát ki, ami nagyrészt áthatol az emberi testen, azaz az emberbe, belégzéssel, étellemszerrel bekerült radionuklid az emberi testen kívül is „jól” mérhető.)





Környezeti monitorozás

Folyamatos (néhány percenkénti) mérés, kb. 1 m magasságban, rendellenesség gyors észlelésére



„Esőcsúcsok”: megnőtt lemosódás a talajra, a levegőből

Irodalom:

Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat: az ionizáló sugárzás elleni védelem és a sugárforrások biztonsága (fordítás 1996-ban, az eredeti kiadvány: IAEA Safety Series No. 115, Vienna, 1996)

Köteles Gy. (szerk): Sugáregészségtan. Medicina Könyvkiadó, Budapest 2002.

Kanyár B., Béres Cs., Somlai J., Szabó S. A.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004 (2. kiadás).

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról. Magyar Közlöny 1996/112. szám (XII.18.) 6321-6334.

Az egészségügyi miniszter 16/2000 (VI.8.) EüM rendelete. Magyar Közlöny 2000/55. szám, 3204-3228.

A környezetvédelmi miniszter 15/2001. (VI.6.) KÖM rendelete. Magyar Közlöny, 2001/62. szám, 4004-4012.

EU Radiation Protection No. 136, 2004. European guidelines on radiation protection in dental radiology

ICRP Public. No 103, Pergamon P., New York, London, 2007.

Fehér I., Deme S. (szerk): Sugárvédelem. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2010 (600 oldalas, 8 szerző).

Pátzay György Radiokémia IV. (BME)

Biztonság Kultúra

