



NNGYK

NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT

Gyakorlati dozimetria I. Személyi dozimetria: külső és belső sugárterhelés meghatározása

Átfogó fokozatú sugárvédelmi továbbképző képzés

Képiró Gábor

2026.

Szóbeli vizsgakérdések

- 8.1.1. Operatív dozimetriai mennyiségek
- 8.1.2. Hatósági személyi monitoring célja és eszközei, a TLD doziméter kiértékelésére vonatkozó előírások
- 8.1.3. A külső- és belső sugárterhelés személyi dozimetriájának főbb mérési módszerei
- 8.1.4. Egyenérték és effektív dózis használata és becslése

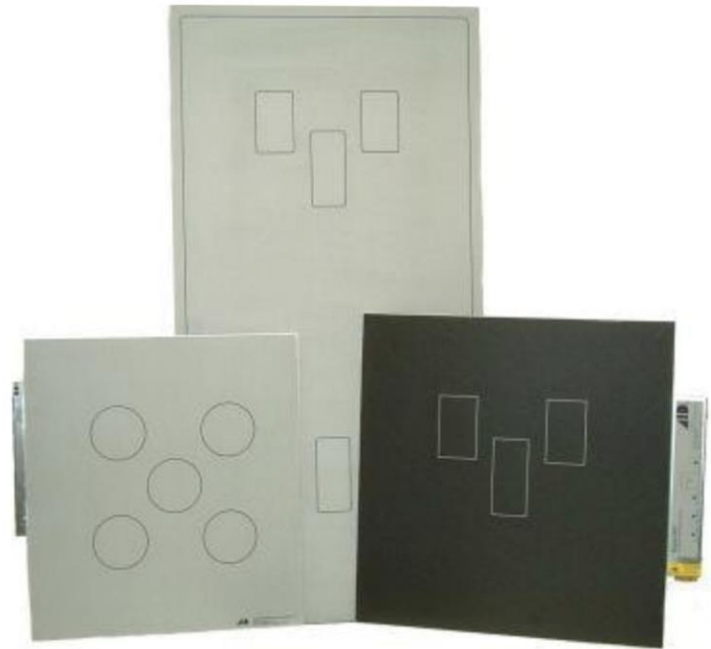
Miről szeretnék beszélni

- Dozimetriai mennyiségek (K_{air} , D , H , E , $H^*(d)$, $H'(d, \Omega)$, $H_p(d)$)
- 2/2022 OAH rendelet releváns részei (Dózis-korlátok, vonatkozási szintek, munkavállalók)
- Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás és Országos Személyi Dozimetriai Szolgálat
- Személyi doziméterek (TLD, OSLD), működésük és viselésük
- Belső sugárterhelés

Dozimetriai mennyiségek

Expozíció

- Mértékegysége [C/kg]
- Felszabadított töltések levegőben fotonok által
- Megmaradt, mint pl. AEC
- Semmit nem mond az elnyelt energiáról szövetekben



Kerma, K

- Mértékegysége [J/kg, Gy]
- Kinetic Energy Released in unit MAss (MediA?, MAterial?)
- Fotonok által leadott energia valamilyen egységnyi anyagban
- K_{air} kiváltotta az expozíciót
- KAP, DAP értékek

Elnyelt Dózis, D

- Mértékegysége [J/kg, Gy]
- Ionizáló sugárzás által leadott energia tömegegységben
- Diagnosztikában használt energiák K_{air} és D közelítőleg egyenlő
- A sugárzás egészségre gyakorolt determinisztikus hatásainak megítélésére jó
- Sztochasztikus hatást nem vesz figyelembe

Egyenérték Dózis, H

- Mértékegysége [J/kg, Sv]
- Figyelembe veszi a sugárzás típusát egy dimenziótlan súlyfaktoral
- $H = w_r \times D$
- Innentől kezdve kockázati mennyiség

Sugárzás típusa	w_r súlytényező
Foton (Röntgen, γ)	1
Elektron	1
Proton	2
Alfa, nehéz ionok	20
Neutron	Folytonos függvény 20 maximummal

Effektív Dózis, E

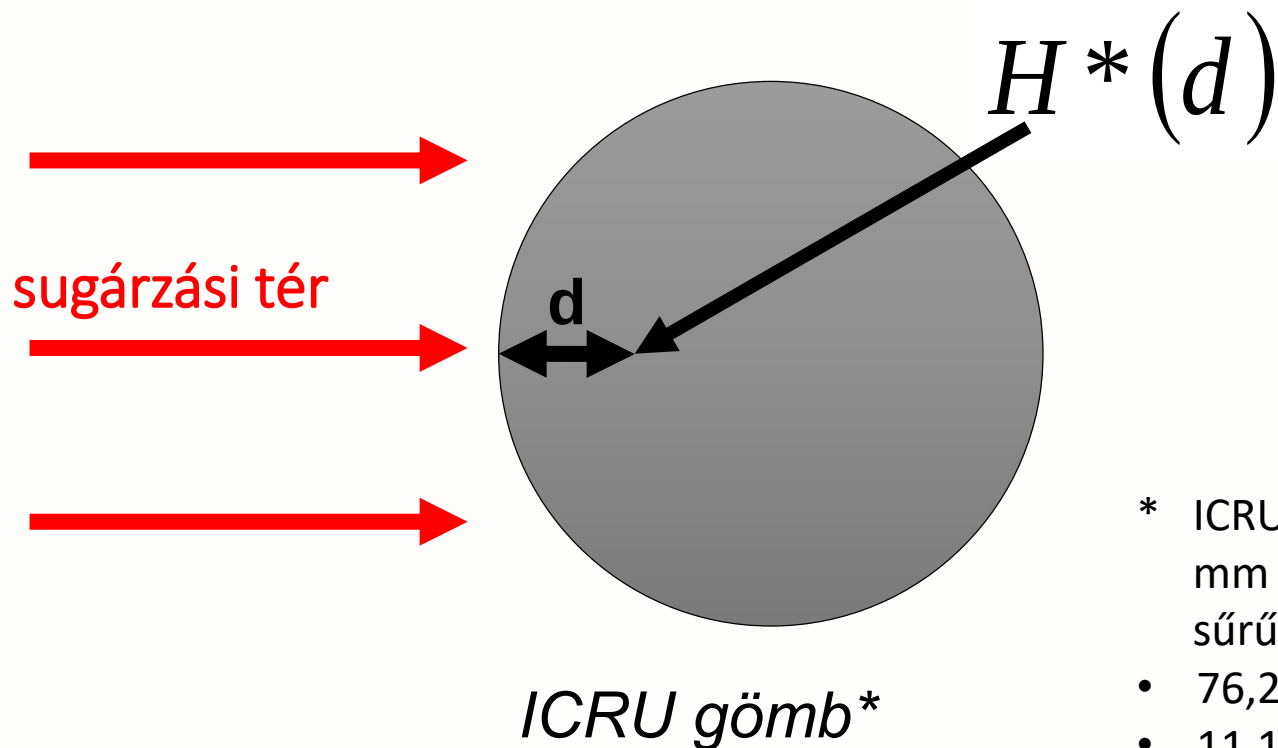
- Mértékegysége [J/kg, Sv]
- Figyelembe veszi melyik testrészt érte a sugárzás és azok érzékenységet
- $E = \sum_t w_t \times H_t$
- Sztochasztikus hatásról hordoz információt

Szövet	ICRP 1977	ICRP 1990	ICRP 2007
Ivarmirigyek	0.25	0.20	0.08
Vöröscsontvelő	0.12	0.12	0.12
Vastagbél	–	0.12	0.12
Tüdő	0.12	0.12	0.12
Gyomor	–	0.12	0.12
Mell	0.15	0.05	0.12
Hugyhólyag	–	0.05	0.04
Máj	–	0.05	0.04
Nyelőcső	–	0.05	0.04
Pajzsmirigy	0.03	0.05	0.04
Bőr	–	0.01	0.01
Csont felszín	0.03	0.01	0.01
Nyálmirigy	–	–	0.01
Agy	–	–	0.01
Maradék	0.30	0.05	0.12
Teljes	1.00	1.00	1.00

Környezeti Dózisegyenérték $H^*(d)$

- Mértékegysége [J/kg, Sv]
- Munkahelyi sugárzási terek jellemzésére alkalmas
- $d = 10$ vagy $0,07$ mm
- Doziméter ha Sievertet mutat ki nagy eséllyel ezt méri
- ICRU gömbből meghatározva

Környezeti Dózisegyenérték $H^*(d)$



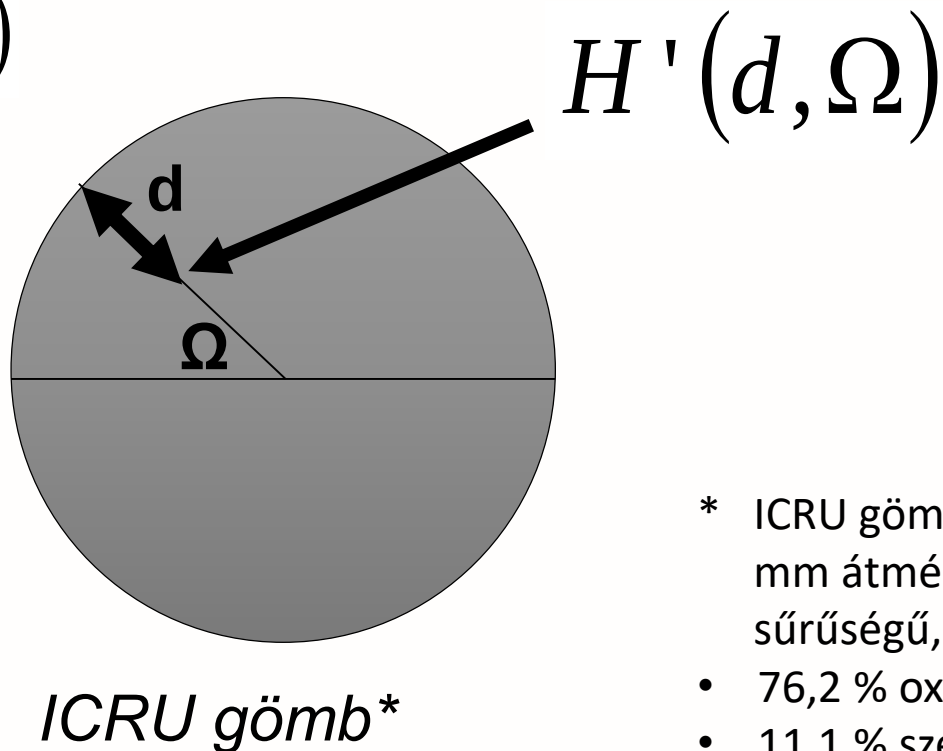
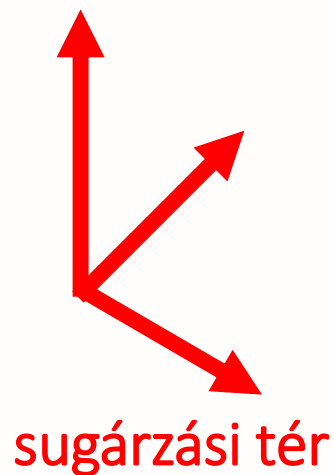
- * ICRU gömbfantom: 300 mm átmérőjű, 1 gcm^{-3} sűrűségű,
 - 76,2 % oxigén
 - 11,1 % szén
 - 10,1 % hidrogén
 - 2,6 % nitrogén

Írány szerinti dózisegyenérték $H'(d, \Omega)$

- Mértékegysége [J/kg, Sv]
- Munkahelyi sugárzási terek jellemzésére alkalmas
- $d = 3$ vagy $0,07$ mm
- Kis energiás fotonok illetve béta sugárzás okozta szemlencse (3mm) és bőr(0,07mm) egyenérték dózis meghatározására
- ICRU gömbön meghatározva

Írány szerinti dózisegyenérték $H'(d, \Omega)$

$$H'(d, 0) = H^*(d)$$

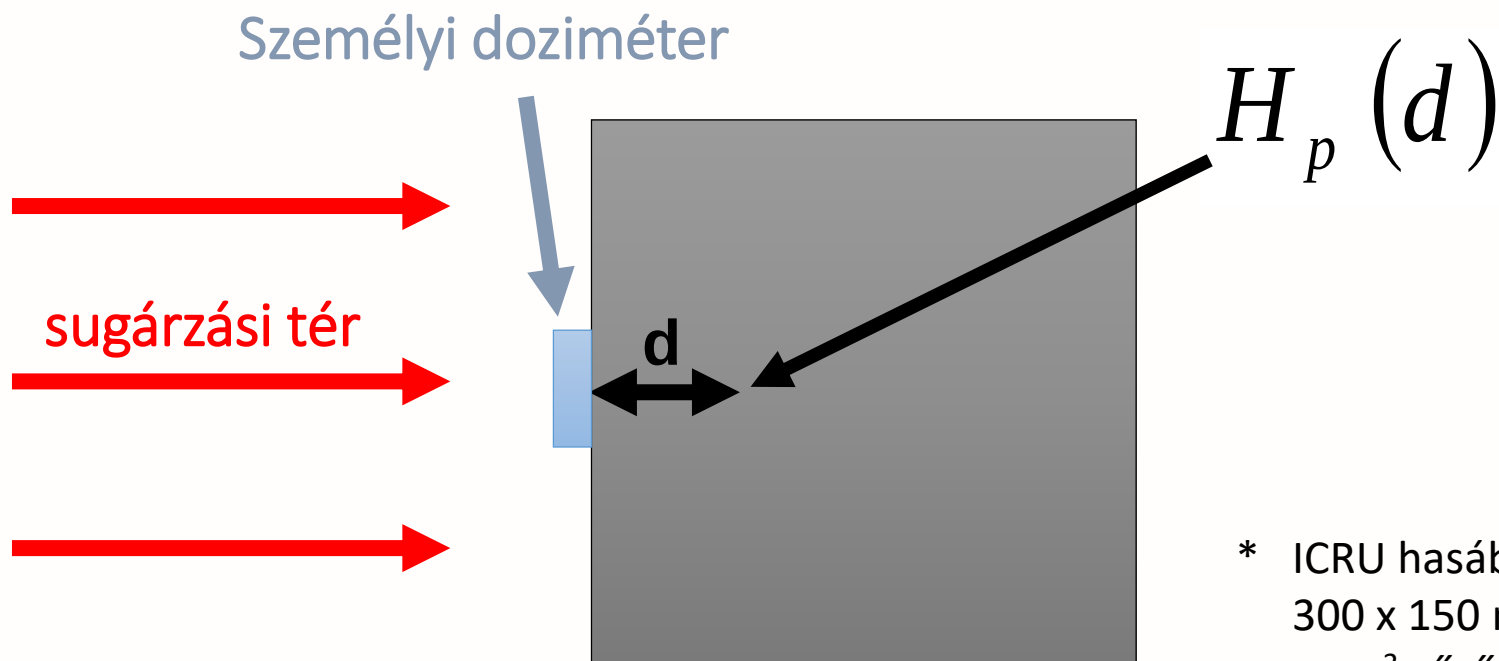


- * ICRU gömbfantom: 300 mm átmérőjű, 1 gcm^{-3} sűrűségű,
 - 76,2 % oxigén
 - 11,1 % szén
 - 10,1 % hidrogén és
 - 2,6 % nitrogén

Személyi dózisegyenérték $H_p(d)$

- Mértékegysége [J/kg, Sv]
- Munkahelyi ellenőrzésekhez használt
- $d = 10$ vagy $0,07$ mm
- Személyi doziméterek ezt az értéket mutatják
- ICRU hasábból meghatározva

Személyi dózisegyenérték $H_p(d)$



*ICRU hasáb**

- * ICRU hasábfantom: 300 x 300 x 150 mm méretű, 1 gcm⁻³ sűrűségű,
 - 76,2 % oxigén
 - 11,1 % szén
 - 10,1 % hidrogén
 - 2,6 % nitrogén

2/2022 OAH rendelet releváns részei

A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) 103-as kiadványának koncepciója

Expozíciós helyzet	Expozíciós kategória		
	foglalkozási	lakossági	orvosi
tervezett	dóziskorlát dózismegszorítás	dóziskorlát dózismegszorítás	diagnosztikai irányadó szint dózismegszorítás
veszélyhelyzeti	vonatkoztatási szint	vonatkoztatási szint	–
meglevő	–	vonatkoztatási szint	–

Dóziskorlátozások

Expozíciós kategória		Effektív dózis-korlát mSv/év	Egyenérték dózis-korlát mSv/év		
			szemlencse	bőr (1 cm ² -es átlag)	végtagok
Lakossági		1	15	50	-
Foglalkozási	Tanulók, gyakornokok (16-18 éves)	6	15	150	150
	Felnőttek	20 *	20	500	500

* különleges esetben a hatóság engedélyezhet 50 mSv/év-et is (de 5 év alatt max. 100 mSv).

2/2022 OAH rendeletről

- „34 § ... (4) A testfelület alatt 10 mm mélységben elhelyezkedő lágy testszövetben elvégzett értékelés eredményeként meghatározott mennyiség a személyi dózisegyenérték [Hp(10)]. A sugárterhelés kiértékelésekor külső gamma-dózis esetén a dóziskorlátozásban szereplő effektív dózis a Hp(10) személyi dózisegyenértékkel azonosnak tekintendő.”

2/2022 OAH rendeletről

- „34 § ... (5) A testfelület alatt 0,07 mm mélységben elhelyezkedő lágy testszövetben elvégzett bétadózis-mérés eredményeként meghatározott mennyiség a személyi dózisegyenérték [Hp(0,07)]. A sugárterhelés kiértékelésekor a dóziskorlátozásban szereplő bőregyenérték dózis a Hp(0,07) személyi dózisegyenértékkel azonosnak tekintendő. „

Vonatkozási szintek

- Veszélyhelyzeti munkavállalókra
 - Következmény elhárítása: 50 mSv/év
 - Lakosság jelentős sugárterhelésének megakadályozása: 100 mSv
 - Életmentés: 250 mSv
- 100 mSv elszenvedésének lehetősége felett
 - Előzetes tájékoztatást kell tartani a hatásokról
 - Csak önkéntes jelentkezéssel
 - Élethosszig tartó nyomonkövetéssel

Vonatkozási szintek

- Nem foglalkoztatható sugárveszélyes munkakörben
 - Várandós / szoptató munkavállaló
 - 16 év alatti személy
 - Nem sugaras tanuló/gyakornok

Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás és Országos Személyi Dozimetriai Szolgálat

OSzDNy, OSzDSz

- OAH fent tart egy személyi dozimetriai nyilvántartást
- Hatósági dozimétert az OAH-tól kell igényelni(vagy lemondani)
- magyarorszag.hu -> Közigazgatás, jog -> Kérelem benyújtás -> OAH-133

OSzDNy, OSzDSz

- Az OAH megbízásából az országos tisztifőorvos Személyi Dozimetria Szolgálat mint szolgáltató biztosítja a hatósági dozimétereket, kiértékelését.
- Ezt a tevékenységet csak akkreditált laboratórium végezheti
- Emiatt viszont a dózismérőket az NNGYK-ba kell visszaküldeni

OSzDNy, OSzDSz

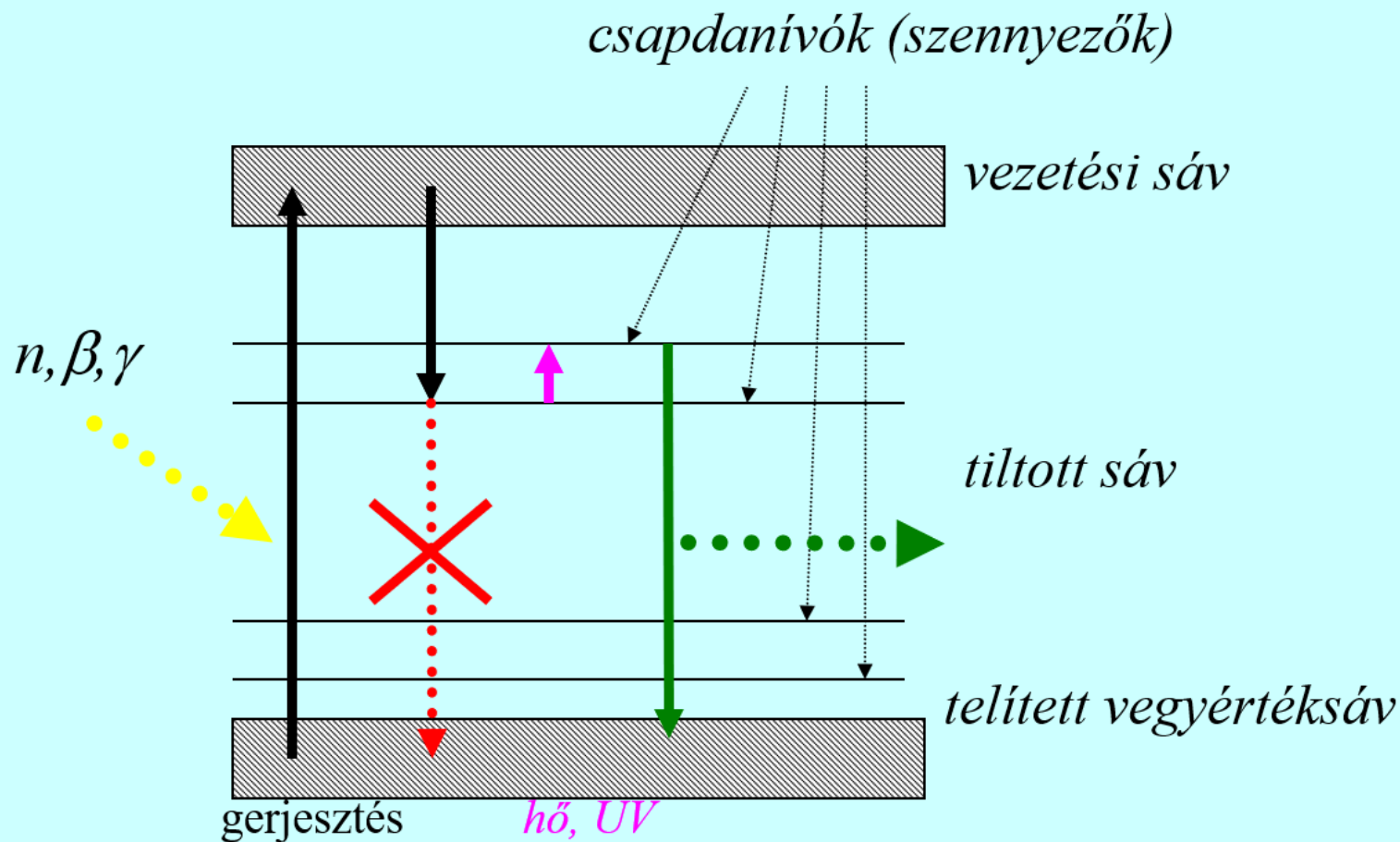
- Az ellenőrzési periódus jelenleg 2 hónap
- Összesítés 1 és 5 naptári évre
- Munkahelyi kivizsgálást von maga után ha egy időszakban meghaladták a korlát 10%-át
- Hatósági kivizsgálást ha meghaladta a korlát 30%-át

TLD, OSLD doziméterek, működésük és viselésük

TLD

- Termo Lumineszcens Doziméter
- Kiolvasás hővel történik, fényt bocsájt ki
- Magyarországon a hatósági doziméterek ilyenek
- CaSO_4 , LiBO kristály port használ(unk)
- Védeni kell fizikai behatástól, hőhatástól és kémiai hatásoktól

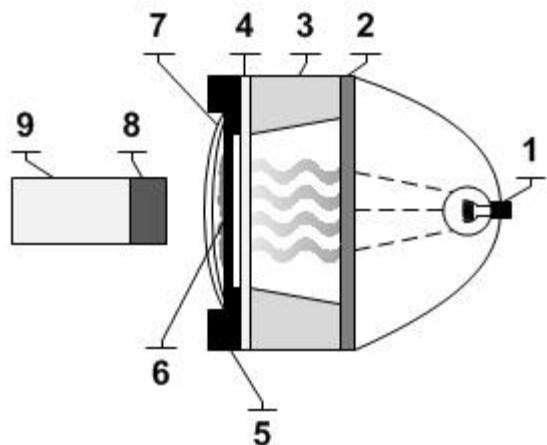
TLD működési elve



UD802AT Doziméter



TLD kiolvasása



1 – wolfram-szálas halogén-lámpa
(infravörös hőforrás)

2 – vörös szűrő

3 – fókuszáló kónusz + hőmérséklet
mérő

4 – kvarc ablak

5 – TLD tablettákat tartalmazó lapka

6 – TL-tabletta ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ v. CaSO_4)

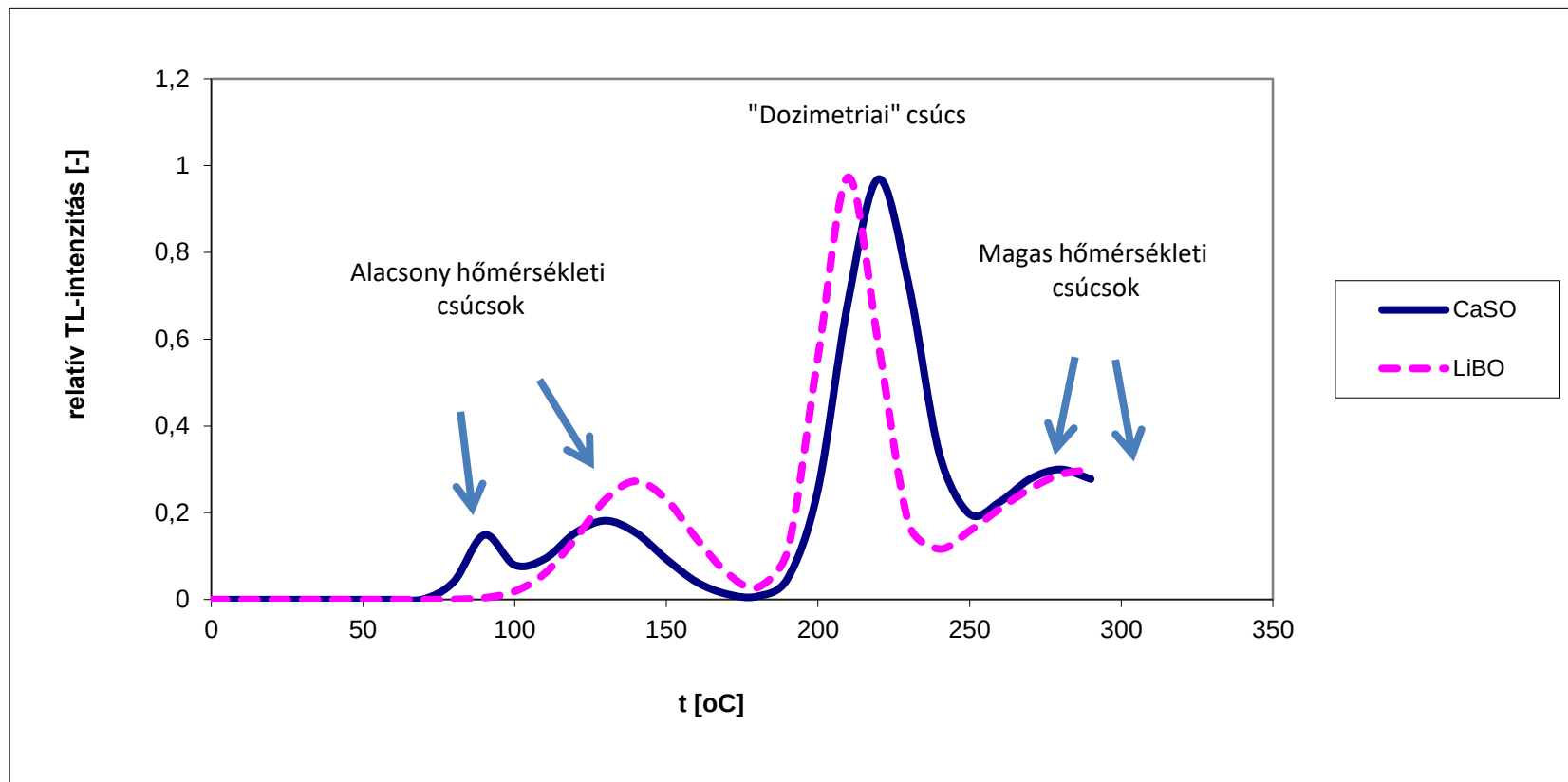
7 – teflon védőfólia

8 – kék szűrő

9 – fotoelektron sokszorozó (PMT)

készítette: Elek Richárd © 2013

A CaSO_4 és a $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (közelítő!) kifűtési görbéi



Dózis $\propto$ a „dozimetriai csúcs” területe
(a kibocsátott foton-szám adott hőmérsékleti tartományon belül)

UD802AT [UD807ATN] Doziméter

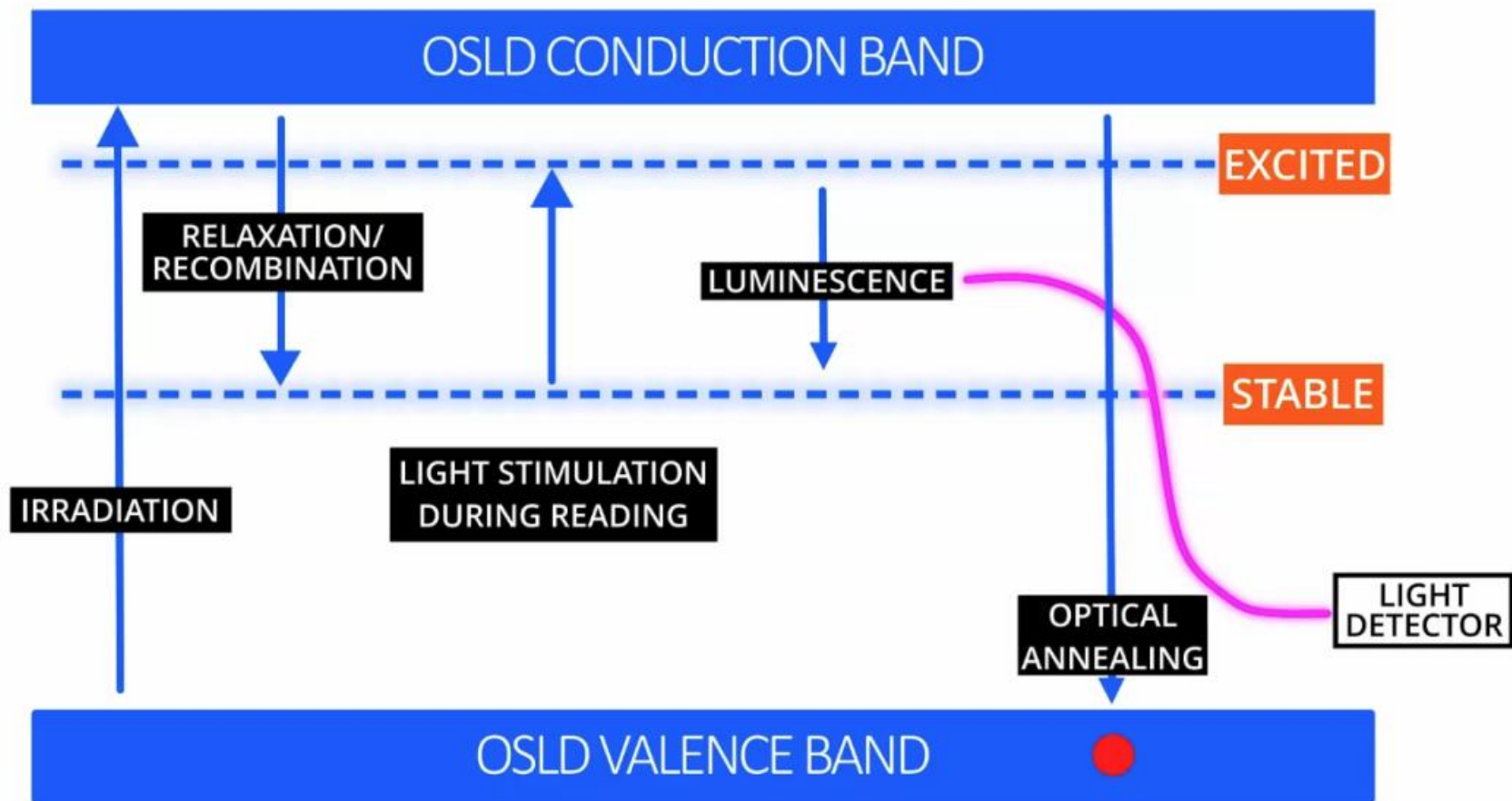
Elméleti specifikációk:

- 4 db szűrő / 4 db TL-detektor:
 - 14 mg/cm² műanyag / Li₂B₄O₇:Cu (β, γ) [$\equiv$ UD807ATN]
 - 160 mg/cm² műanyag / Li₂B₄O₇:Cu (β, γ)
 - 160 mg/cm² műanyag / CaSO₄:Tm (β, γ)
 - 700 mg/cm² ólom / CaSO₄:Tm (γ)
- $E_\gamma = 10 \text{ keV} \dots 10 \text{ MeV}$
- Tartomány = 10 μSv ... 10 Sv
- Kimutatási határ = 1,6 μSv (Cs-137)
- Kalibrálás = 1...5 mSv
- Élettartam > 1000 (7000) kiolvasás
- Fading (feledés) $\approx 5\%$ / év

OSLD

- Optikailag Gerjesztett(Stimulated) Lumineszcens Doziméter
- Kiolvasás látható fénnnyel (LED, lézer) történik, fényt bocsájt ki
- AlO kristályt használ
- Védeni kell fizikai behatástól, fénytől és kémiai hatásoktól

OSLD működési elve



<https://www.iaea.org/resources/video/what-is-an-osld>

TLD, OSLD

- Ahhoz, hogy különböző sugárzástípust tudjon mérni szűrőket helyeznek a kristályok elé
- A különböző elemeken mért fényből következtethető milyen forrásból származik dózis

Doziméterek viselése

- Ha csak 1 van, azt szívtájékon. Ólomköpeny alatt, ha viselve van
- Ha van 2, egyik galléron ólomköpeny felett másik övtájékon ólomköpeny alatt
- Gyűrűdozimétert kesztyű alatt, tenyér felé
- Csak az előírt munkahelyen, előírt sugaras munkavégzés közben

Külső sugárterhelés mérésének egyéb módszerei

- Munkahelyi monitoring
- Aktív, elektronikus doziméter
- Dózisbecslés területi monitorozó rendszerek jelzéséből

Belső sugárterhelés becslése

Belső sugárterhelés

- Csak ha inkorporáció veszélye fennáll
 - Belégzés
 - Lenyelés
 - Abszorpció bőrön keresztül
 - Vérbe kerülés seben át/injekcióval

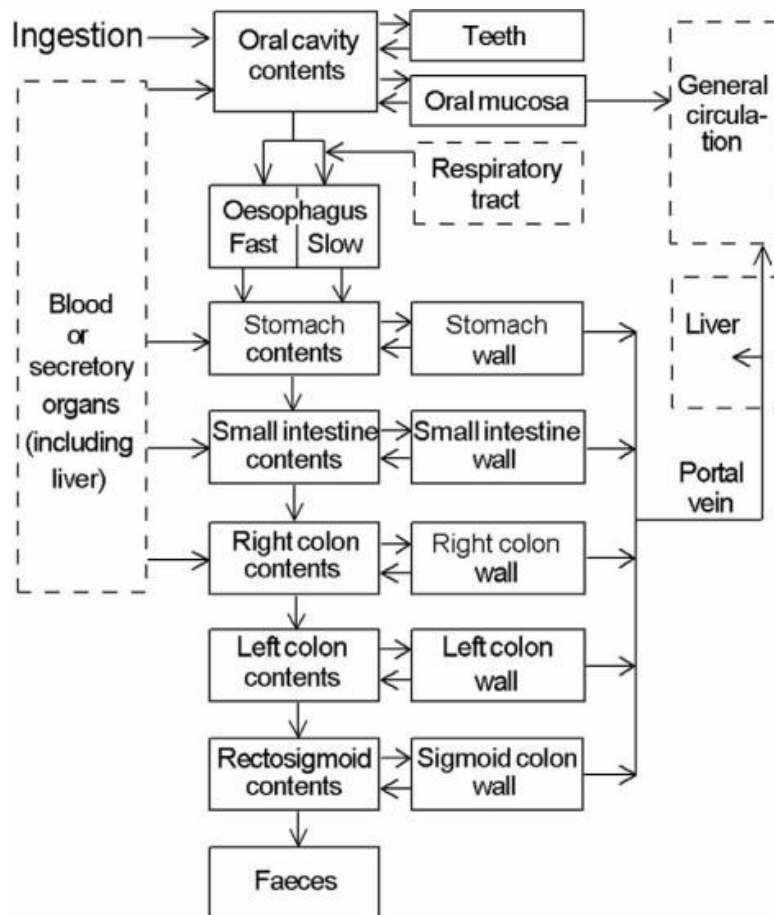
Belső sugárterhelés meghatározásának nehézségei

- Szervezetten belül mérni nem lehet, csak számolható
- Inhomogén eloszlású a testben és szervekben
- Elnyúló besugárzás
- Fizikai mellett kémiai tulajdonságok jelentősen befolyásolják
- Kísérletekkel, modellezéssel és számítással becsülhető
- Metabolizmus befolyásolja az eredményt

Biokinetikai modell

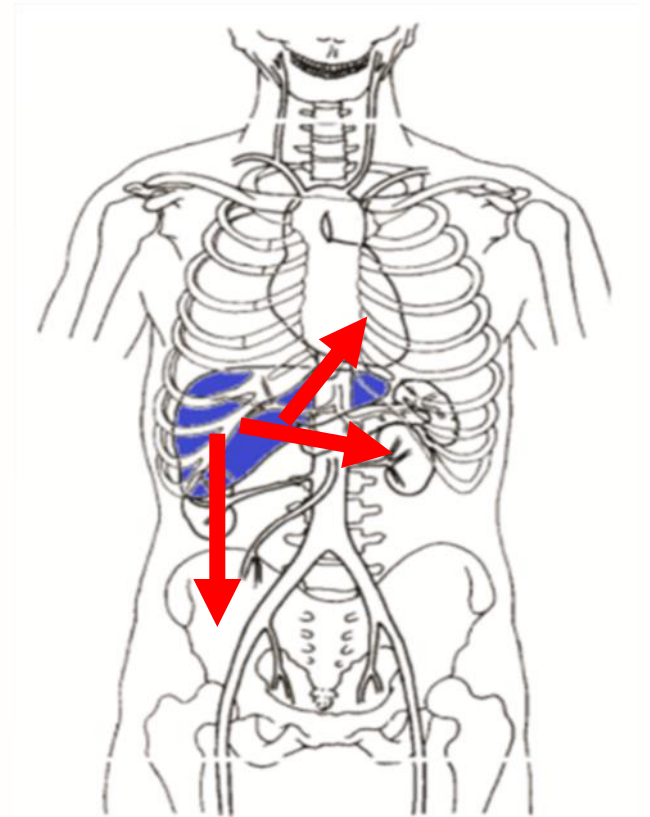
- Compartment / rekesz modell +
transzportfolyamatok matematikai leírása
 - Légző, emésztőrendszer modellek
- Szervezet számára szükséges / hasonló / idegen
elemek
- Hogy fog viselkedni a szervezetben adott vegyület

Emésztőrendszer rekeszmodell



Lekötött effektív dózis $E(\tau)$

- $E_{(50)} = \sum_T w_T \frac{H_T^M(50) + H_T^F(50)}{2}$
- $H_T(50) = \int_0^{50} \dot{H}(r_T, t) dt$



Ijesztegetés

- $\dot{H}(r_T, t) = \sum_{r_S} A(r_S, t) \cdot S_W(r_T \leftarrow r_S)$
- $S_W(r_T \leftarrow r_S) = \sum_R w_R \sum_i E_{R,i} Y_{R,i} \Phi(r_T \leftarrow r_S, E_{R,i})$
 - r_S - forrástérfogat
 - r_T - céltérfogat
 - $A(r_S, t)$ - aktivitás a céltérfogatban t idővel incorporáció után
 - $S_W(r_T \leftarrow r_S)$ -
 - $E_{R,i}$ - Energia Joule-ban i-edik bomlásból R típusú sugárzással (α, β, γ)
 - $Y_{R,i}$ - hozam i-edik bomlásból R típusú sugárzással
 - Φ - elnyelt hányadosa az R típusú $E_{R,i}$ energiájú sugárzásnak r_S térfogattól r_T térfogatban osztva az elnyelő tömeggel

Végezhető mérések

Direkt mérések

- Egésztest / résztest számlálás
 - Csak gamma sugárzó forrásra

Indirekt mérések

- Testnedvek, exkrétumok vizsgálata
 - Gamma spektrometria
 - Folyadékszintilláció
 - Alfa-spektrometria

OSSKI egésztest számláló



OSSKI egésztest számláló



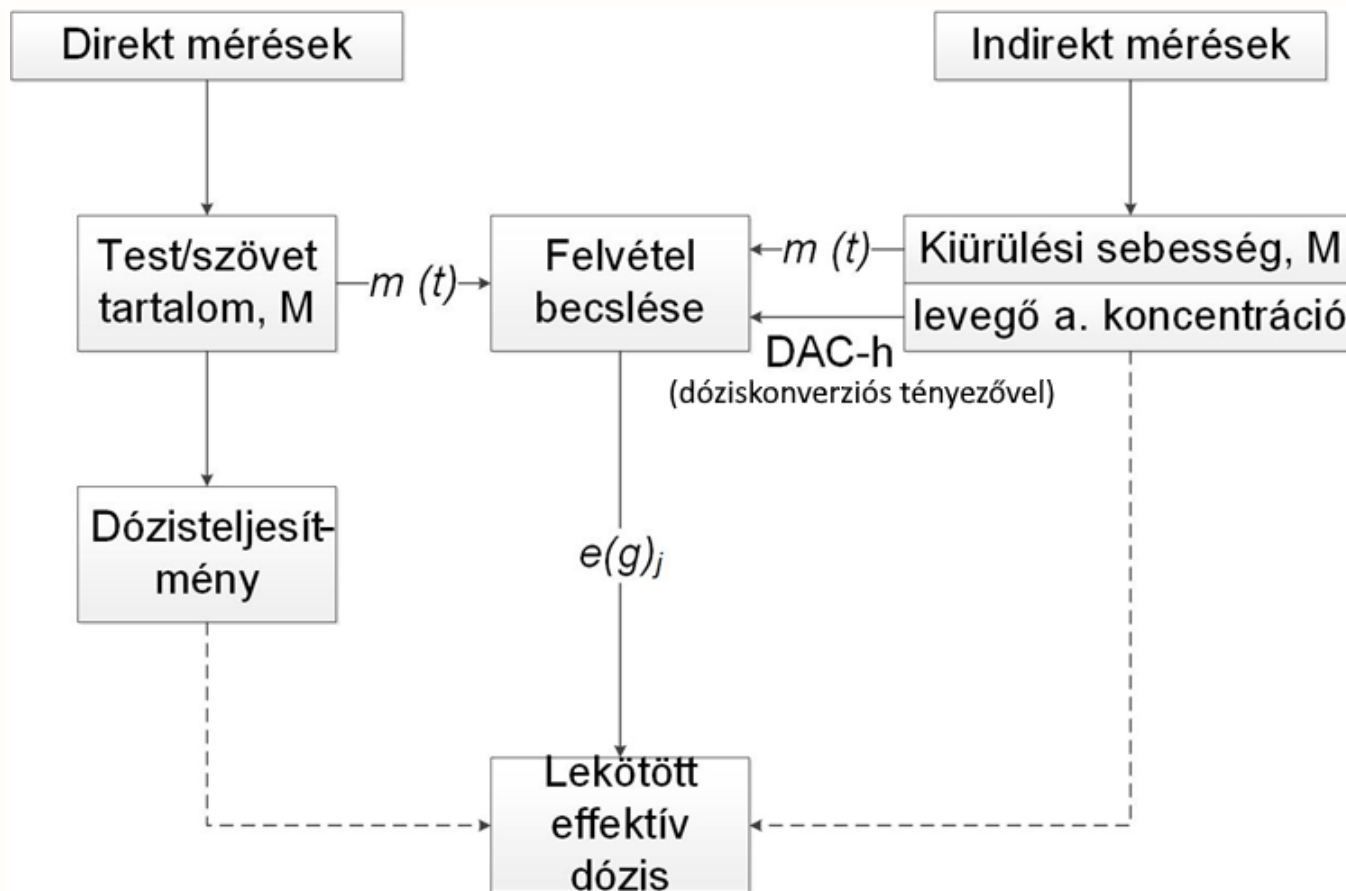
Lekötött effektív dózis $E(\tau)$

- Idővel lejátszódó folyamat így idő szerint integrálunk
 - Felnőttek esetén 50 évre
 - Gyerekek esetén 70 éves korukig
- Ismerni kell a szennyező fizikai és kémiai tulajdonságait
- Az inkorporáció idejét
- Az inkorporáció módját
- Felvétel sebessége

Lekötött effektív dózis $E(\tau)$

- $E_{(50)} = \text{Felvétel} \times \text{Effektív dózis koefficiens (Sv/Bq)}$
- $\text{Felvétel} = m(t) \times \text{Mért aktivitás}$
 - $m(t)$ = kiürülési vagy megkötődési frakció a mérés időpontjában
- Szerencsére ICRP ezeket kiszámolta és az ICRP 130, 134, 137 kiadványokban

Lekötött effektív dózis $E(\tau)$



Számoló programok

- Rad_toolbox
<http://ordose.ornl.gov/downloads.html>
- DCAL
<http://ordose.ornl.gov/downloads.html>)
- MONDAL3
- IMBA Integrated Modules for Bioassay Analysis
- AIDE Activity and Internal Dose Estimates
- IDEA expert system for internal dosimetry

Köszönöm a figyelmet!