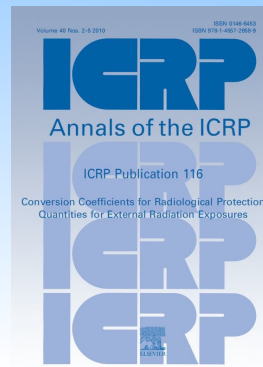


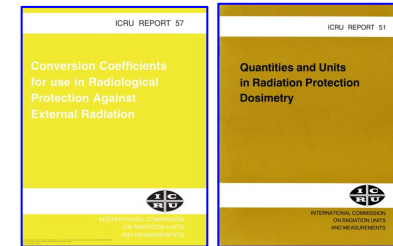
Új sugárvédelmi mennyiségek a mérési gyakorlatban

Csete István nyugdíjas (IAEA)



1. Mi a gond a jelenleg használatos **dózisegyenérték** mennyiségekkel?

$(H^*(d), H_p(d), H'(d, \Omega))$



2. A terület ellenőrzés $(H^*, D'_{szemlencse}(\Omega), D'_{bőr}(\Omega))$ és a személyi dozimetria $(H_p, D_p \text{ szemlencse}, D_p \text{ bőr})$ új mennyiségei az ICRU 95 (2020) alapján

3. Gyakorlati következmények, *(régi és új konverziós tényezők összehasonlítása)*

4. Mérőeszközök? Újrakalibrálás?

5. Átállás? Mikor? Hogyan?



Mi a jelenlegi helyzet a **szabályzásban** használt és **gyakorlati** dózisegyenérték mennyiségekkel?

1. Cél a szabályzásban használt **effektív dózis** (E) vagy **egyenérték dózis** (H_T) becslése mérőeszközzel mérhető mennyiségekkel. ICRP 60, (1991), ICRP 116, (2010)
 $H=Q(L_\infty)\cdot D$; $H^*(d)$, $H_p(d)$, $H'(d,\Omega)$ ICRU 39,47,51,57(1985,92,98)

2. $E = \sum_T w_T H_T$; $H_T = \sum_R w_R D_{TR}$; $\sum w_T = 1$ ICRP 116,147(2007,2021)
külső és belső sugárzásra csak daganatok és örökletes elváltozások kockázatának becsléséhez. **(20-100)mSv**, max. 1Sv
(ha nincs bőr reakció és $>5mSv/h$)

$w_R=1$ (foton, elektron müon)

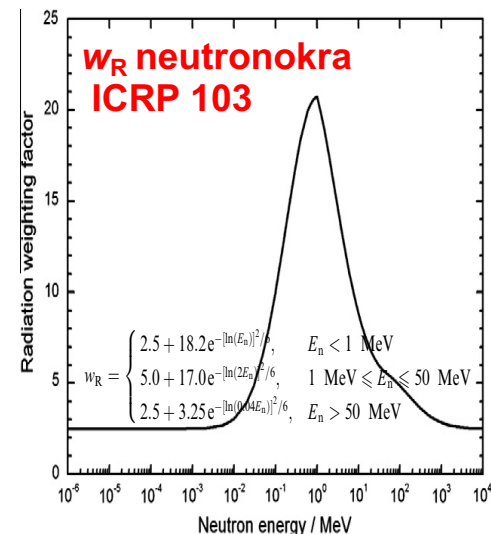
$w_R=2$ (proton, töltött pion)

$w_R=20$ (alfa, hasadási term. nehéz ionok)

3. Gondok:
Dózis korlátok Sv-ben szemre és bőrre?
Orvosi alkalm. szervdózisai (pajzsm.) $H_T \leftrightarrow E$?

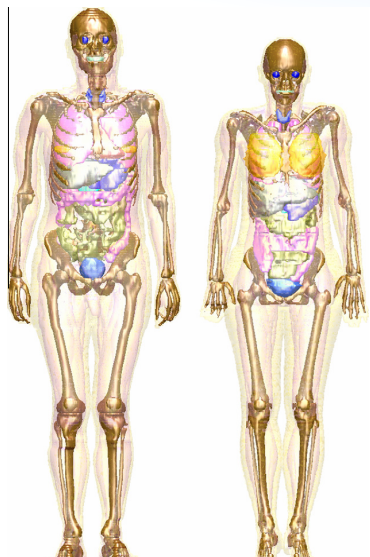
4. Várható változások:



Bőrre, végtagokra és szemlencsére H_T helyett jön a D_T (ICRP 147, 2021), kor szerinti E (ICRP 144, 2020)

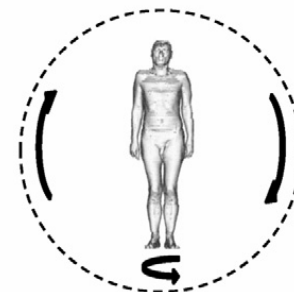
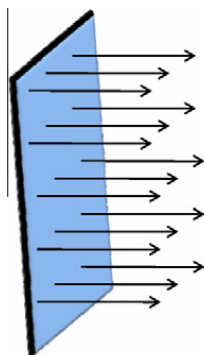
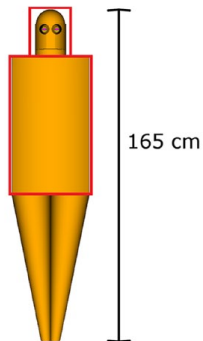
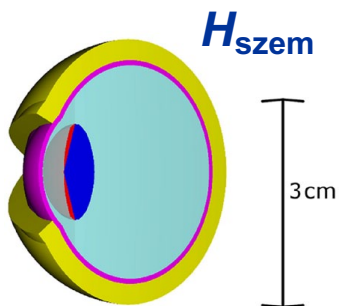


Effektív dózis (E), H_{szem} , $H_{bőr}$ meghatározása

Felnőtt voxel fantom az effektív dózis számításához (ICRP 110)



Property	Male 	Female 
Height (m)	1.76	1.63
Mass (kg)	73.0	60.0
Number of tissue voxels	1,946,375	3,886,020
Slice thickness (voxel height, mm)	8.0	4.84
Voxel in-plane resolution (mm)	2.137	1.775
Voxel volume (mm ³)	36.54	15.25
Number of columns	254	299
Number of rows	127	137
Number of slices		



AP

PA

LLAT

RLAT

ROT

ISO

IS-ISO SS-ISO

MC programok: (ICRP 116 4.1 táblázat)

EGSnrc (Kawrakow and Rogers, 2003)

MCNPX (Waters, 2002; Hendricks et al., 2005)

GEANT4 (GEANT4, 2006a,b).

PHITS, FLUKA, EGS5 (ICRU 95, App. B)

10 cm-es bőrszövet kocka (változhat!)

Mit kell tudni a gyakorlati dózisegyenérték mennyiségeknek?

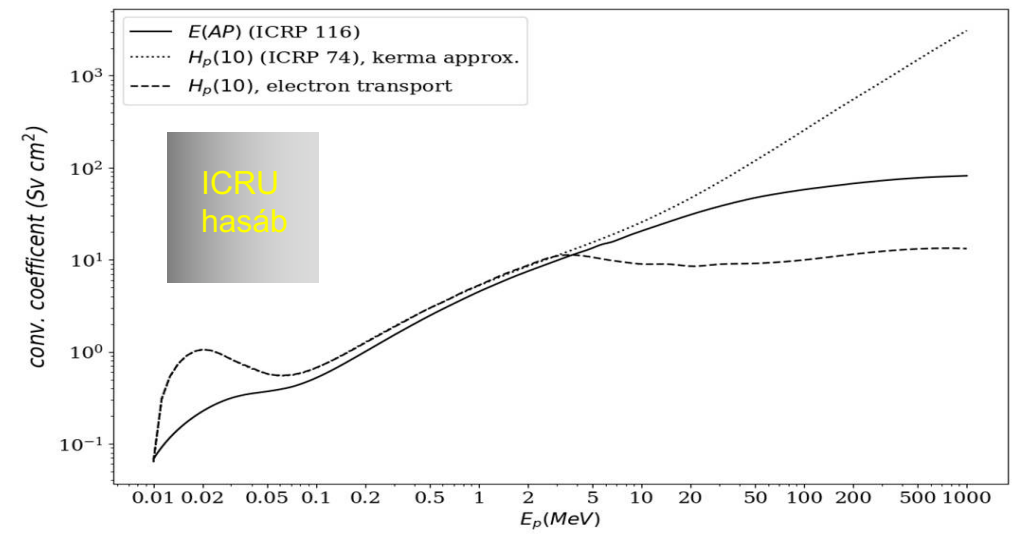
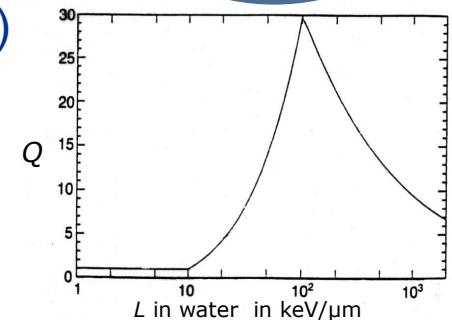
1. Ha ember nélkül, a terület ellenőrzése a cél a sugárzási tér egy adott pontjában legyen értelmezhető.
A személyi dozimetria céljára az emberrel együtt, annak egy pontján legyen értelmezhető.
2. Becsülje jól -a legkisebb mértékben felül- a szabályzásban használt mennyiséget.
3. Legyen megbízhatóan mérhető mérőeszkővel.



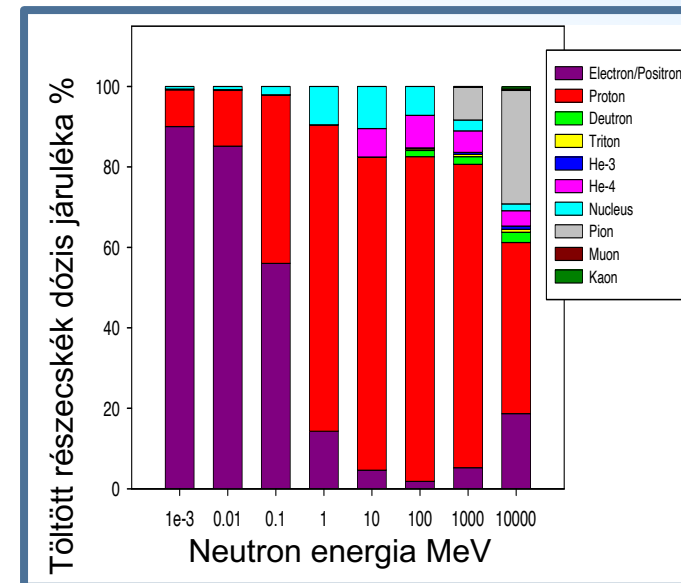
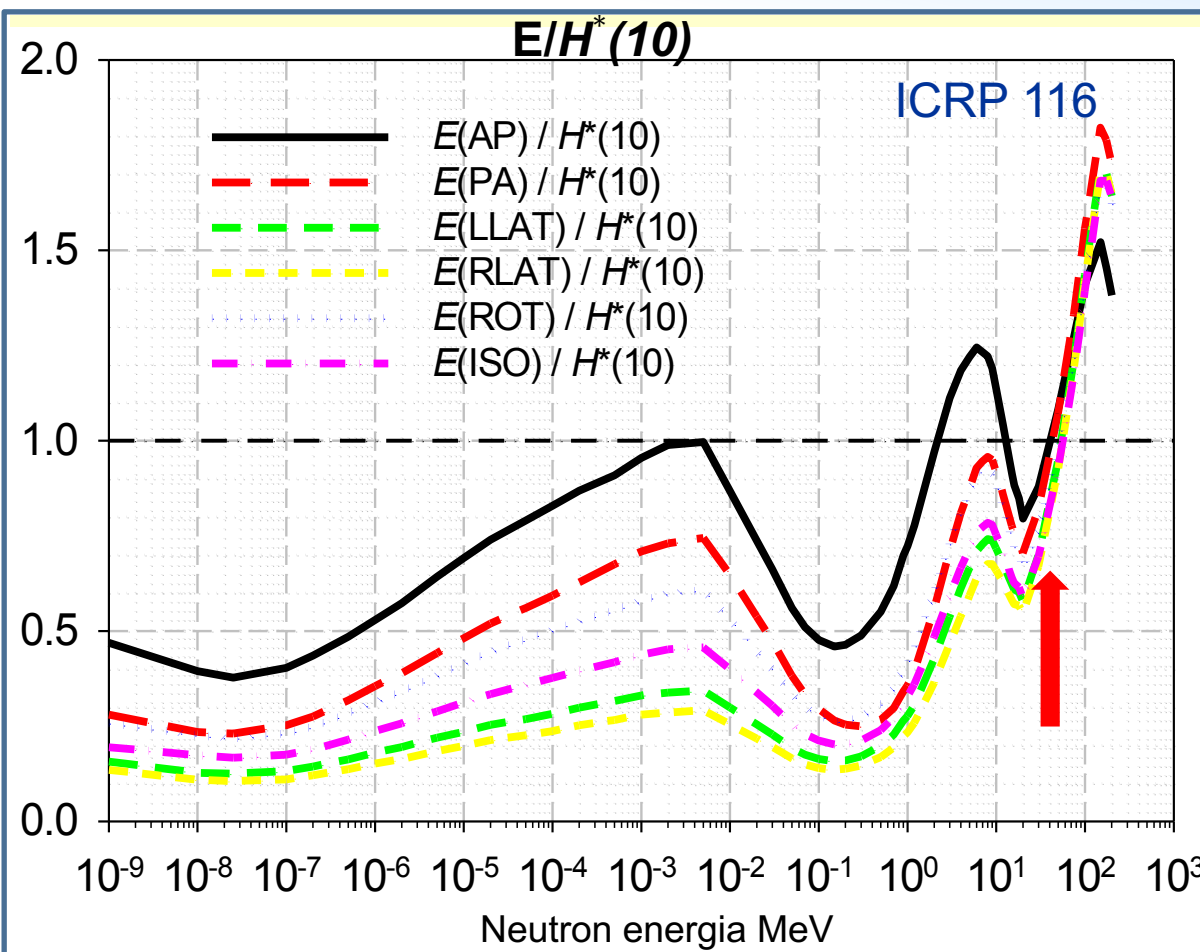
Mi a probléma a jelenlegi $H^*(d)$, $H_p(d)$ $H'(d,\Omega)$ gyakorlati dózisegyenérték mennyiségekkel?

1. Nem lett primer etalonjuk. **Nincs ICRU gömb a valóságban!**
2. A fantomok **fix 10, 3, 0.07** mm mélységeiben lettek definiálva.
3. A referencia értékeik a fluens vagy kerma értékből vákuumban számított konverziós tényezőkkel, (h) elektronegyensúlyt feltételezve lettek meghatározva.
4. h értékei csak foton, elektron (ICRU 47) és neutron (ICRU 57) sugárzásokra publikáltak.
5. Nincs bizonytalanságuk? (ISO 4037-2019)
6. **$H=Q(L_\infty)\cdot D$** elmélet nem azonos a W_R használatával.
7. Fotonokra 3 MeV felett a teljes transzport számítás **alá**, a töltött részecske egyensúly feltételezése **-mérőeszköz kalibrálás szükséges- felül** becsli az E , D_{szem} , $D_{bőr}$ értékeket.

ICRU gömb
 $\varnothing = 300$ mm
 $\rho = 1$ cm³
 76.2% oxigén
 11.1% szén
 10.1% hidrogén
 2.6% nitrogén




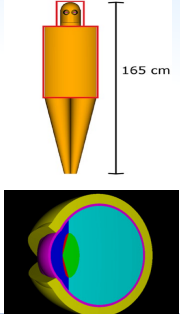

Mi a probléma a jelenlegi gyakorlati dózisegyenérték mennyiségekkel (8. pont)?




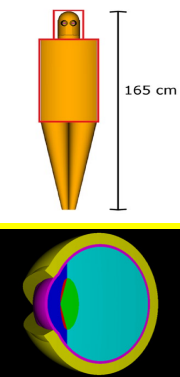
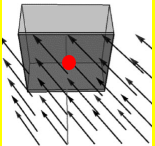
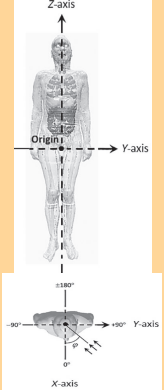
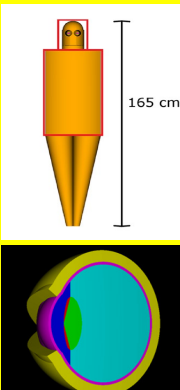
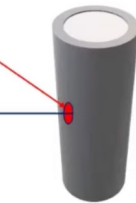
$H^*(10)$ 50 MeV felett már minden irányból alábecsli az effektív dózist!

Az új gyakorlati dózisegyenérték mennyiségek



Sievert	Egész test	Szemlencse	Helyi bőr dózis
Szabályzás mennyiségei (ICRP 116)	 <p>Effektív dózis (E) ICRP férfi női voxel fantomok: $E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$ <i>konverziós tényezők:</i> $h_E = E / \Phi$ (pSvcm²)</p>	 <p>Egyenérték dózis szem modell (Behrens) egész szemlencse (ICRP 116, Annex F): $H_{szem} = \sum_R w_R D_{szem,R}$</p>	<p>Egyenérték dózis Bőr szövet egyenérték kocka (10x10x10 cm); 1 cm² felületen  (e, α) 50 – 100 μm mélységben átlagolt elnyelt dózis (ICRP 116, Annex G): $H_{bőr} = \sum_R w_R D_{bőr,R}$</p>

Gyakorlati mennyiségek definíciói: $H = h \cdot \Phi$; (Sv) $D = d \cdot \Phi$ (Gy)

Gyakorlati mennyiségek (ICRU 95)	<p>Terület ellenőrzés</p>  <p>Környezeti dózis $H^* = h_{E,max} \cdot \Phi$ $h_{E,max} = E_{max} / \Phi$ ICRP férfi női voxel fantomok: $h_{E,max}$ AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO, SS-ISO, IS-ISO irányok <i>max.</i></p>	 <p>Írány szerinti elnyelt dózis szemlencsében $D'_{szem}(\Omega) = d'_{szem}(\Omega) \cdot \Phi$ $d'_{szem}(\Omega) = D_{szem} / \Phi$ Stilizált szem modell; $D_{p\ szem}$ = teljes lencsére átlagolt elnyelt dózis <i>(max. job és bal ($\pm 90^\circ$))</i></p>	 <p>Írány szerinti elnyelt dózis helyi bőr felületen $D'_{bőr}(\Omega) = d'_{bőr}(\Omega) \cdot \Phi$ $d'_{bőr}(\Omega) = D_{bőr} / \Phi$ ICRU hasáb fantom (30x30x14.8 cm (1.0 g/cm³) + 2 mm bőr (1.09 g/cm³)) $D'_{bőr}$ = közepén 1 cm² -en 50 – 100 μm mélységben átlagolt elnyelt dózis</p>
	<p>Személyi doz.</p>  <p>Személyi dózis $H_p = h_E \cdot \Phi$ $h_E = E / \Phi$ ICRP férfi női voxel fantomok: <i>job és bal oldali átlag ($\pm 90^\circ$), 180°, ROT, ISO, SS-ISO, IS-ISO</i></p>	 <p>Személyi elnyelt dózis szemlencsében $D_{p\ szem}(\Omega) = d_{p\ szem}(\Omega) \cdot \Phi$ $d_{p\ szem} = D_{szem} / \Phi$ Stilizált szem modell; $D_{p\ szem}$ = teljes lencsére átlagolt elnyelt dózis <i>(max. job és bal ($\pm 90^\circ$))</i></p>	<p>Személyi elnyelt dózis helyi bőr felületen $D_{p\ bőr} = d_{bőr} \cdot \Phi$ $d_{p\ bőr} = D_{bőr} / \Phi$ ICRU hasáb, és henger fantomok, 300 mm, $\phi 63$, $\phi 15$ mm (1.11 g/cm³) +2 mm bőr; $D_{p\ bőr}$ = közepén 1 cm² -en 50 – 100 μm-mélységben átlagolt elnyelt dózis</p> 

Konverziós tényezők energia (MeV) és irány tartománya az új gyakorlati sugárvédelmi mennyiségekre

$$H^*, H_p, (D'_{\text{szem}} D_p \text{ szem}), (D'_{\text{bőr}} D_p \text{ bőr})$$

A fantomok vákuumban vannak, széles homogén nyaláb, teljes töltött részecske követés, PHITS, FLUKA, GEANT4, EGS5, MCNPX, EGSnrc MC programok+(ICRP 116-ból)

Sugárzás faj.	h^*/h_p	d_p szem	d_p bőr
foton	5E-3 - 1E+4 / 5E-3 - 1E+3 kermára 5E-3- 5E+1 *CPE-re is 1E-2 - 5E+1	5E-3 - 5E+1 kermára és *CPE –re is	1E-2 - 5E+1 törzs 2E-3 - 5E+1 végtag, uj kermára és CPE –re is
elektron (poz)	1E-2 - 1E+4 / 1E-2 - 1E+3	1E-2 - 5E+1	1E-2 - 5E+1
\pm müon	1E+0 - 1E+4 / 1E0 - 1E+3		
neutron	1E-9 - 1E+4 / 1E-9 - 1E+3	1E-9 - 5E+1	1E-9 - 5E+1 törzs 5E-9 - 5E+1 végtag, uj
proton	1E+0 - 1E+4 / 1E+0 - 1E+3		
\pm pion	1E+0 - 2E+5 / 1E+0 - 1E+3		
Alfa (MeV/u)	1E+0 - 1E+5 / 1E+0 - 1E+3		6,6E+0 - 1E+1

*** CPE= kerma közelítés az elnyelt dózisa, másodlagos elektronok egyensúlya esetén, mérőeszköz vizsgálatnál szükséges! Eredmények eltérése $\leq 10\%$**

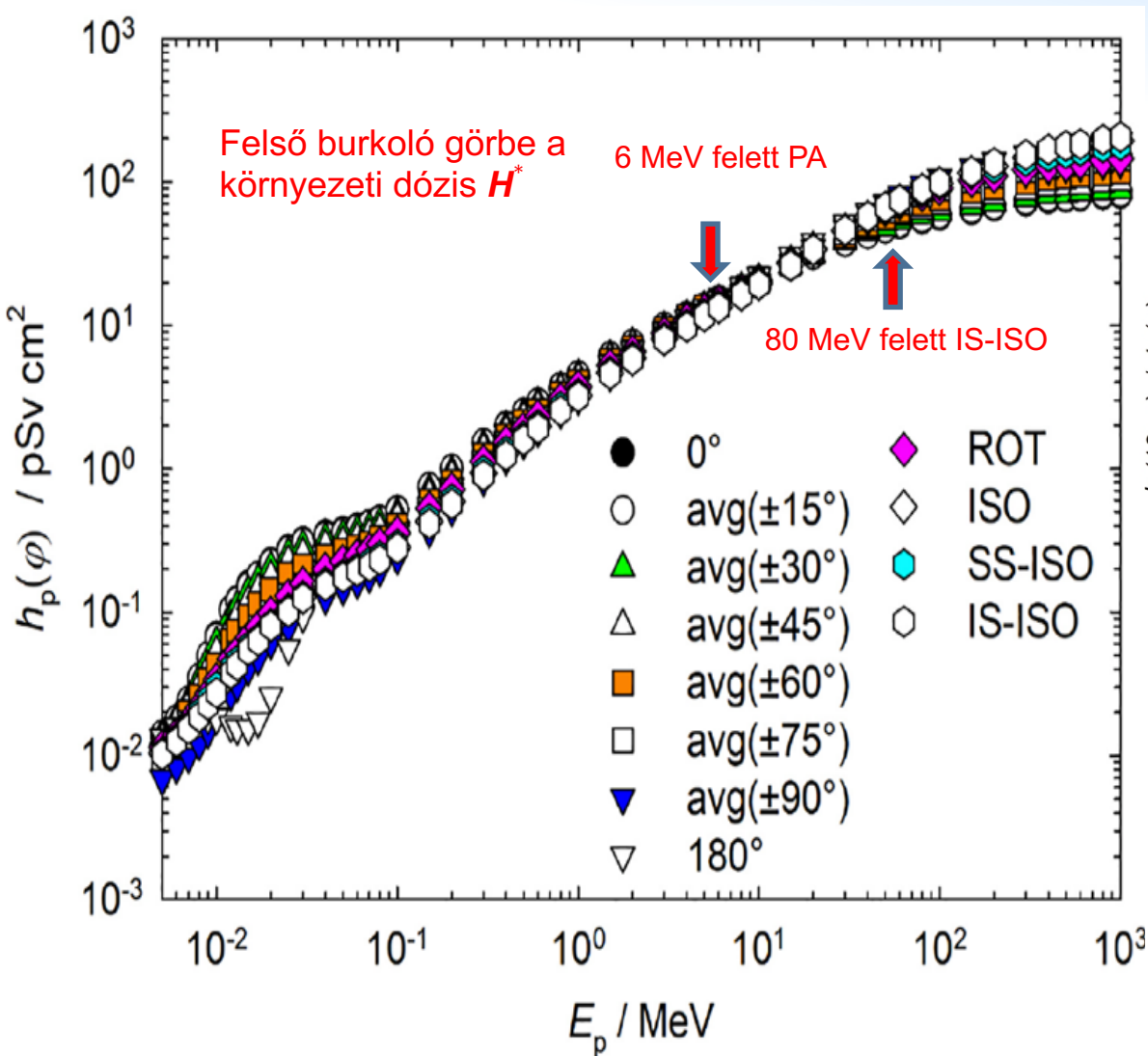
h_p 0°, 15°-ként $\pm 90^\circ$ – ig (*átlag*), 180°, ROT, ISO, SS-ISO, IS-ISO irányok

d_p szem 0°, 15°-ként $\pm 90^\circ$ –ig (*max.*), és ROT irányok ($u=2,6\%$, 40 keV alatt $u=3,6\%$)

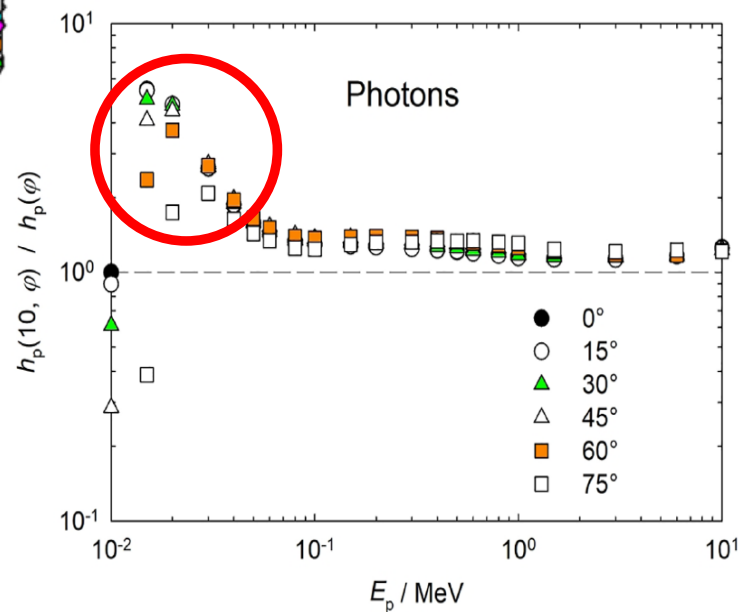
d_p bőr Törzsre (*hasáb fantom*) 0°, 15°-ként 75 ° –ig, (alfára csak 90°, ICRU kocka fantom)
Végtagokra és újra (*henger és rúd fantomok*) 0°, 15°-ként **180°-ig** és ROT

Személyi dózis/fluens konverziós tényezők **fotonsugárzásra**

(ICRU 95 A.2.1.a táblázat, 4.2 ábra)



A régi $H_p(10)$ (kerma közelítéssel) és az új H_p hányadosa

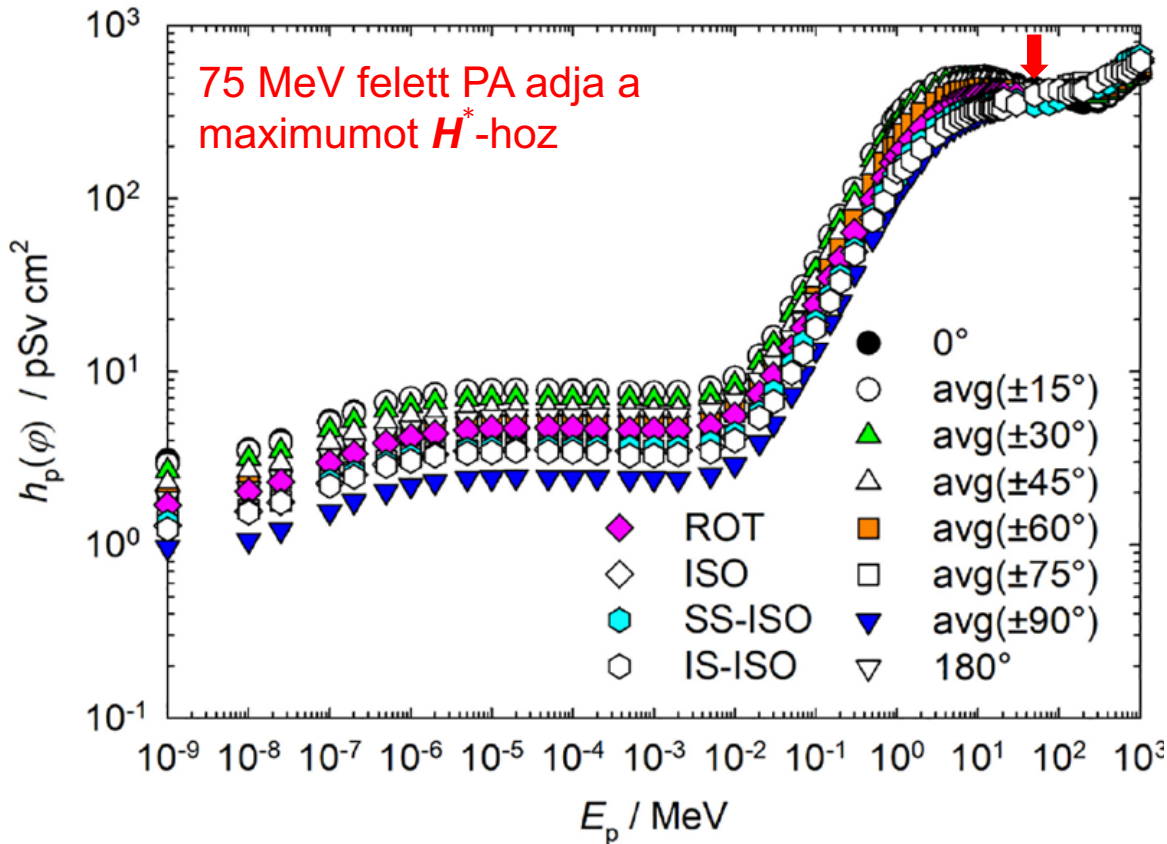


80 keV alatti nagy felülbecslést a 10 mm-es mélység adja.

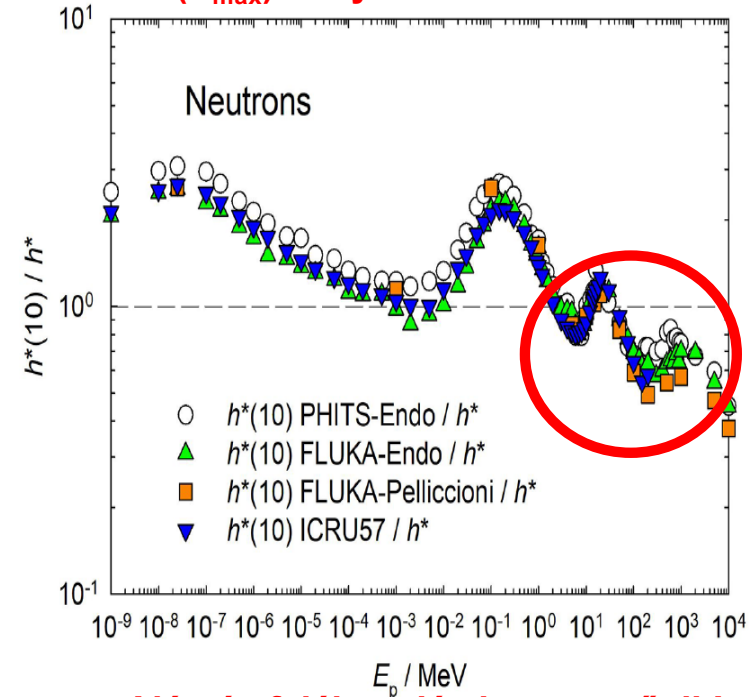
(A voxel fantomban az emlőt és a tüdőt kivéve minden mélyebben van, nem éri el a lágy sugárzás.)

Személyi dózis/fluens konverziós tényezők **neutronsugárzásra**

(ICRU 95 A.2.2. táblázat, 4.5 ábra)



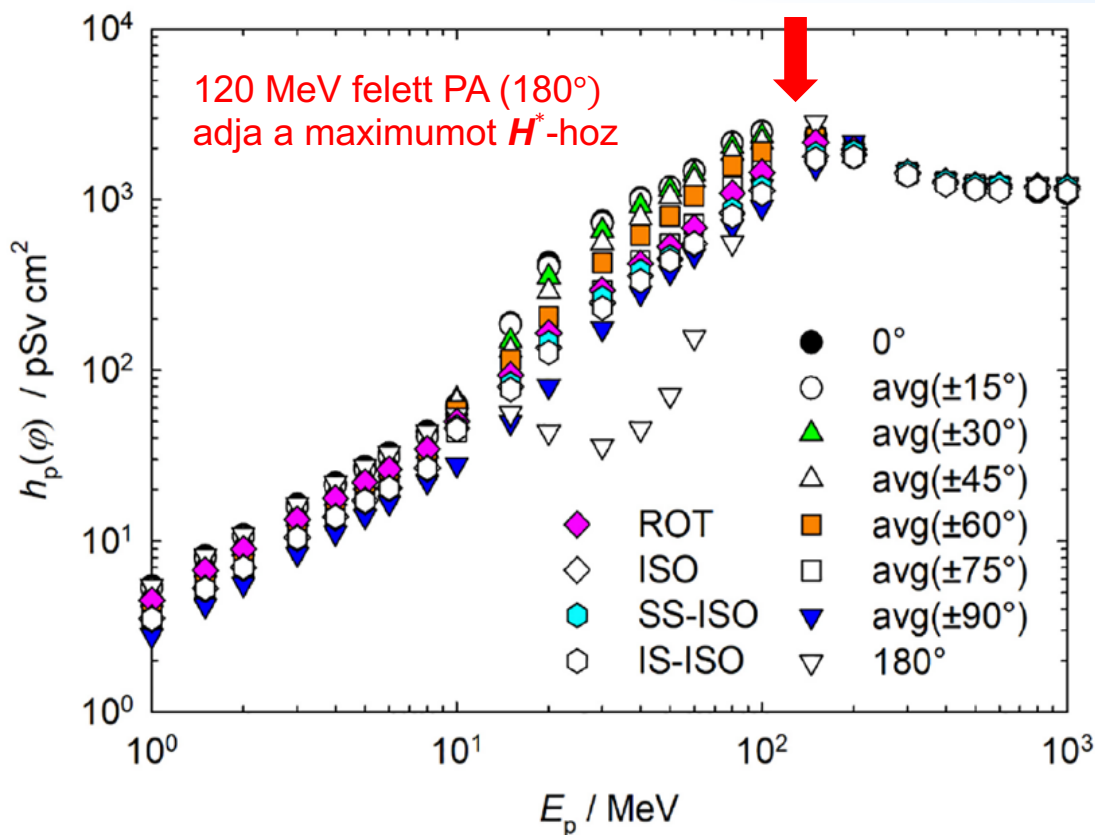
A régi $H^*(10)$ és az új $H^*(E_{\max})$ hányadosa



Alá- és felébecslés is megszűnik!

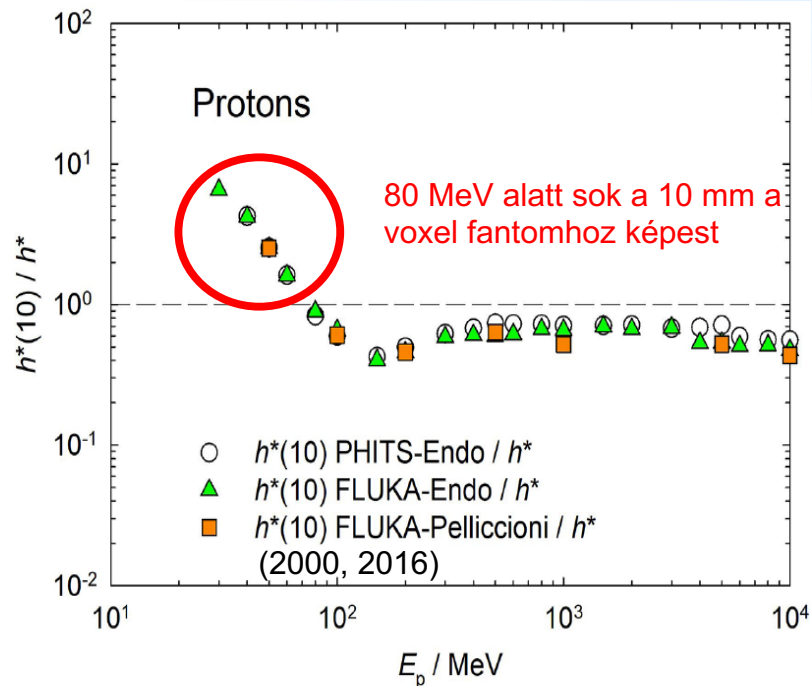
Személyi dózis/fluens konverziós tényezők **proton**-sugárzásra

(ICRU 95 A.2.5. táblázat, 4.9 ábra)

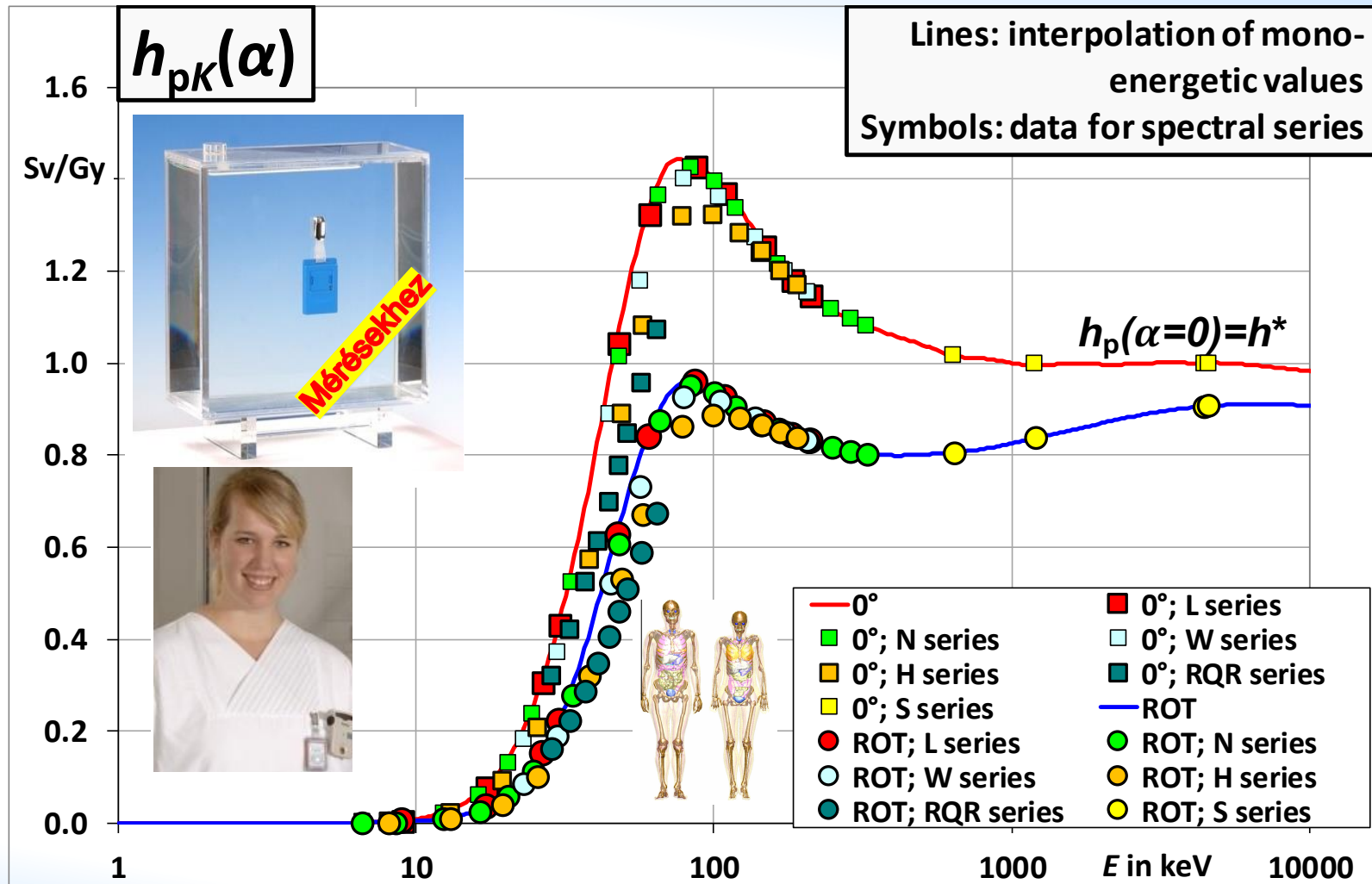


Nagy dinamia (5640), legnagyobb h és E , még akkor is, ha w_R csak 2.

$H^*(10)$ és az új H^* hányadosa

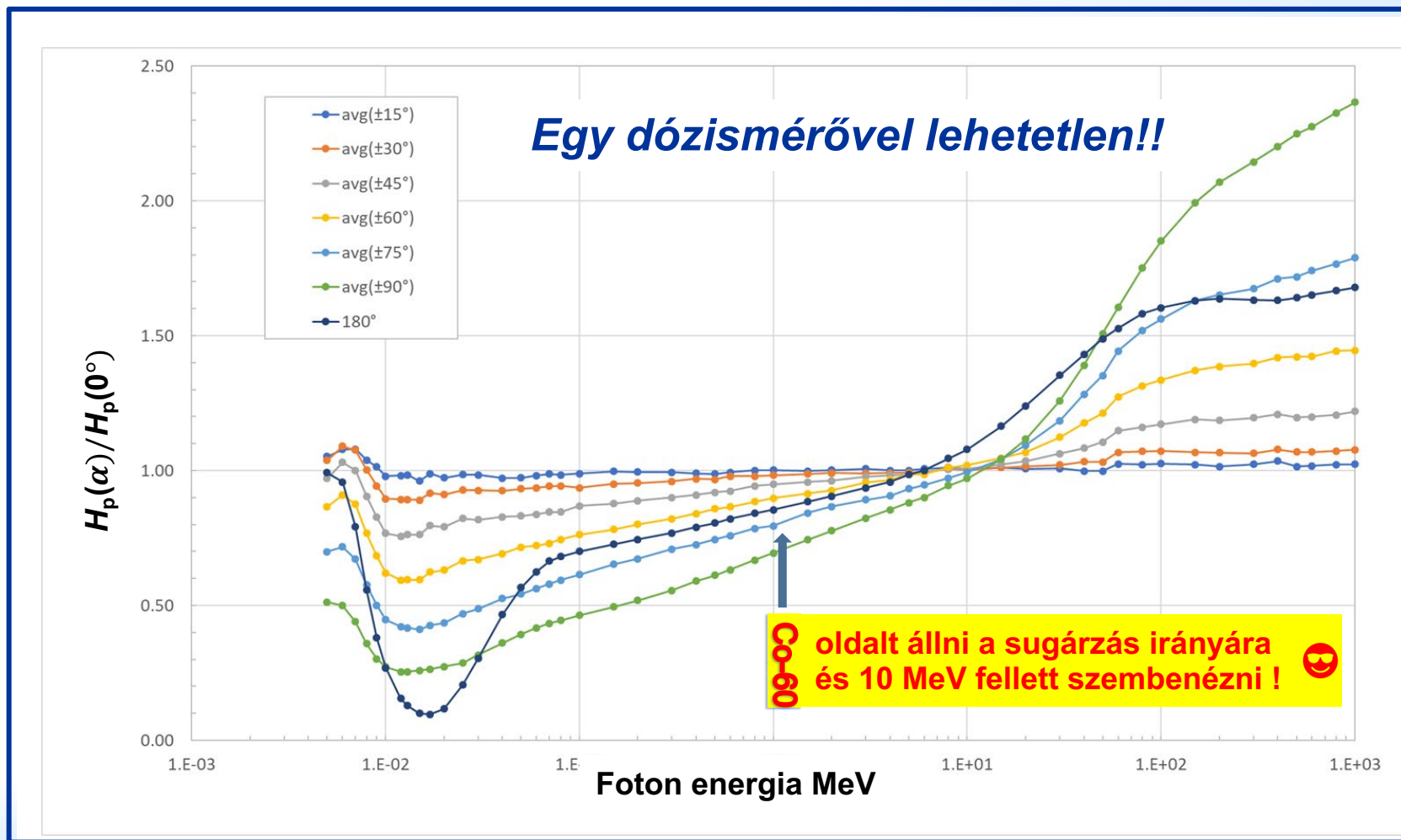


Személyi dózis (H_p)-kerma konverziós tényezők szabványos röntgen sugárzásokra (ISO 4037(2019))

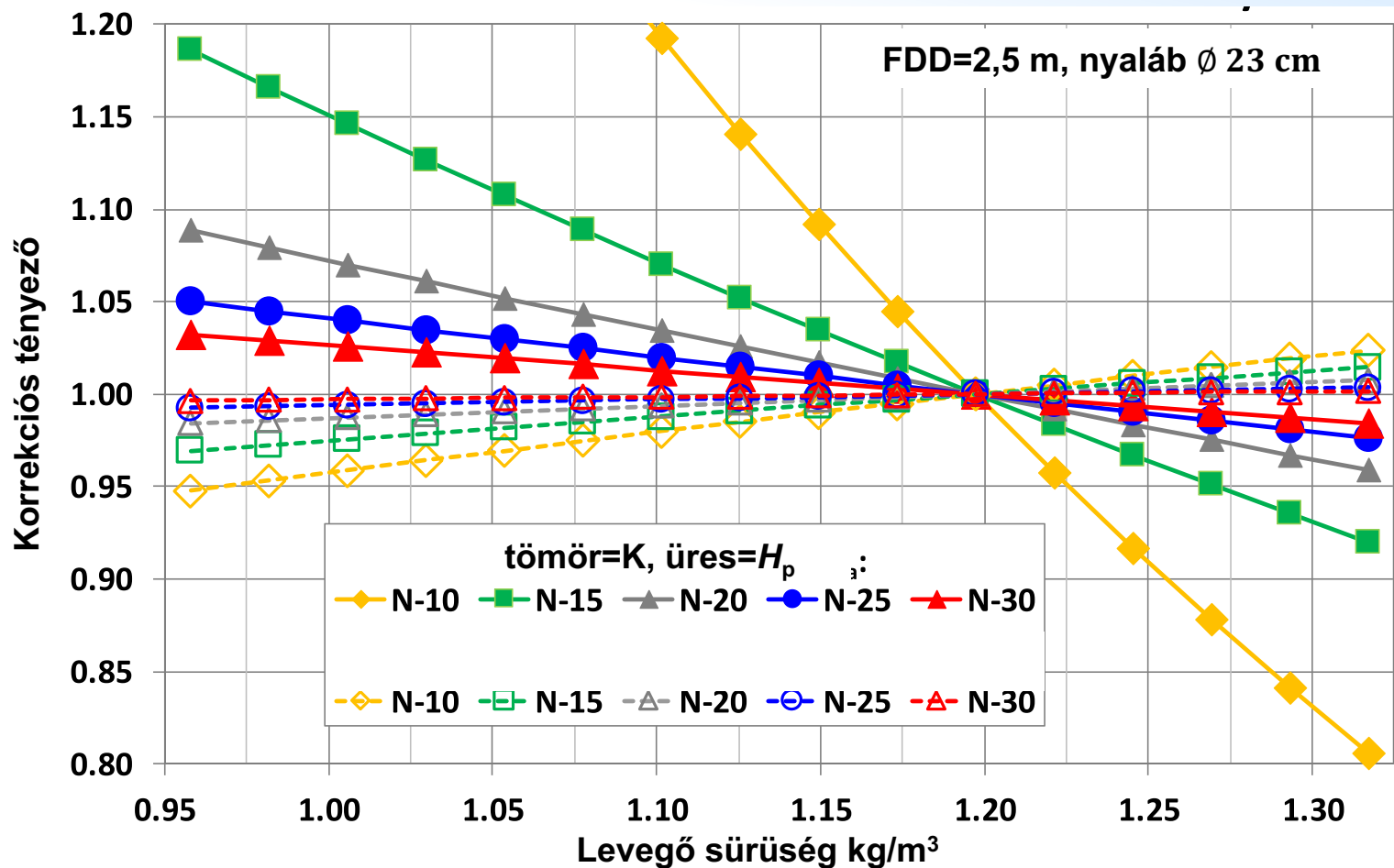


R. Behrens and T. Otto: *J. Radiol. Prot.* 42, 011519 (2022) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/abc860>

Személyi dózis (H_p) irányfüggése ($\pm 90^\circ$) és 180° a törzsön a foton energia függvényében AP irányra normálva

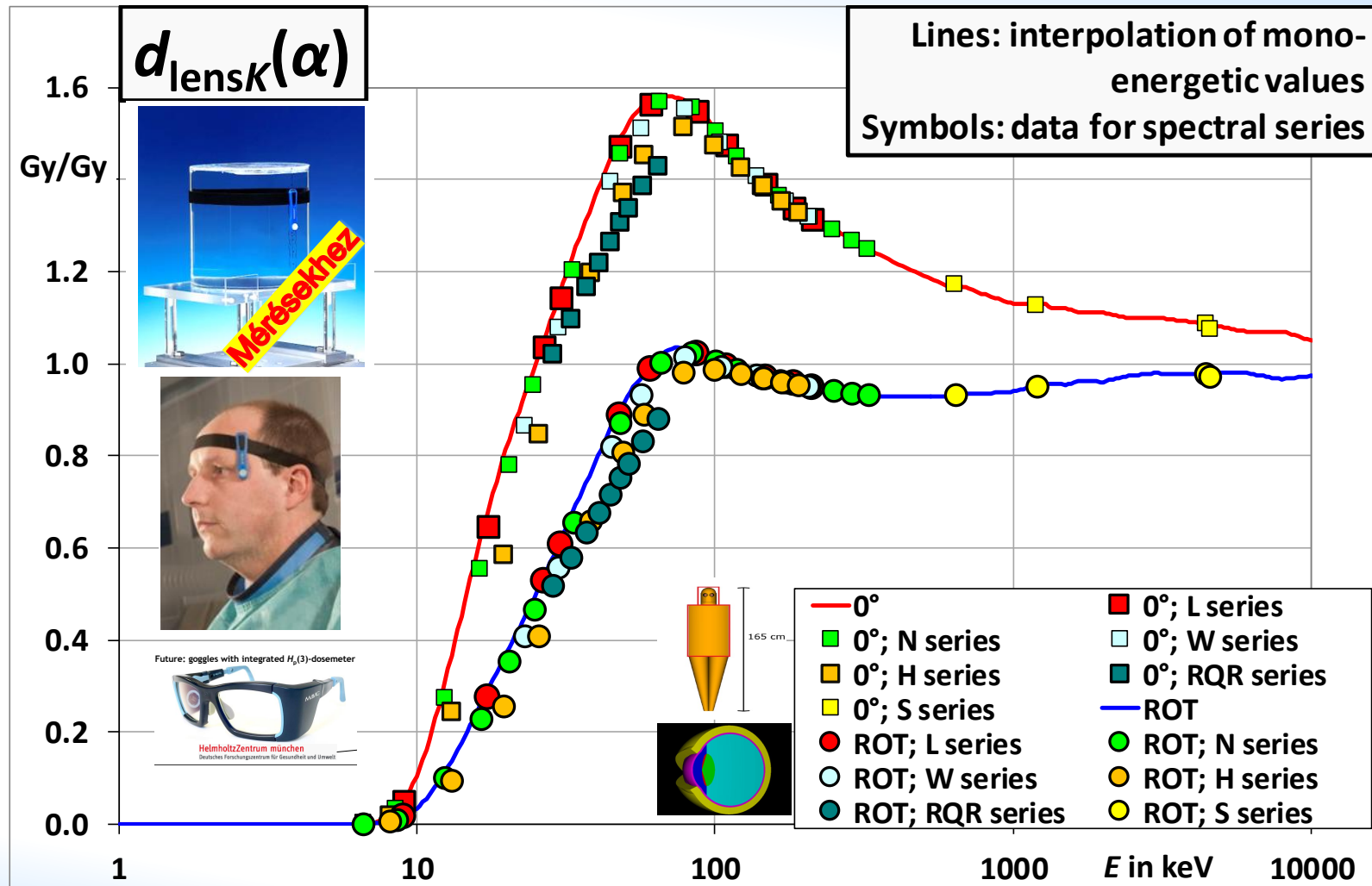


Közölt dózisa (K) és személyi dózisa (H_p) vonatkozó korrekciós tényezők a levegő sűrűségére lágy röntgen sugárzások esetén.



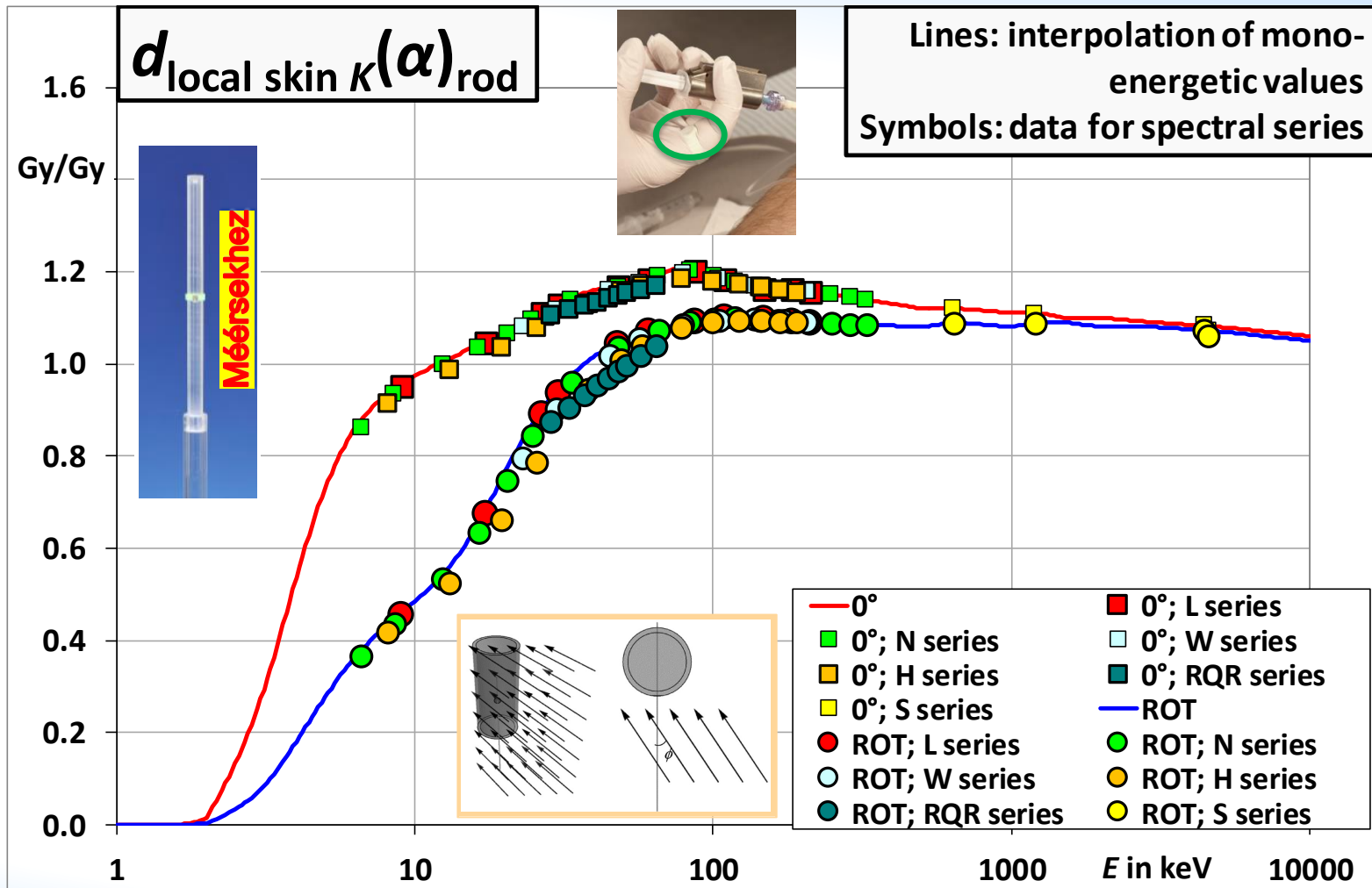
R. Behrens and T. Otto: *J. Radiol. Prot.* 42, 011519 (2022) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/abc860>

Szemlencse elnyelt dózis (D_{szem})-kerma konverziós tényezők röntgen sugárzásokra ISO 4037(2019)



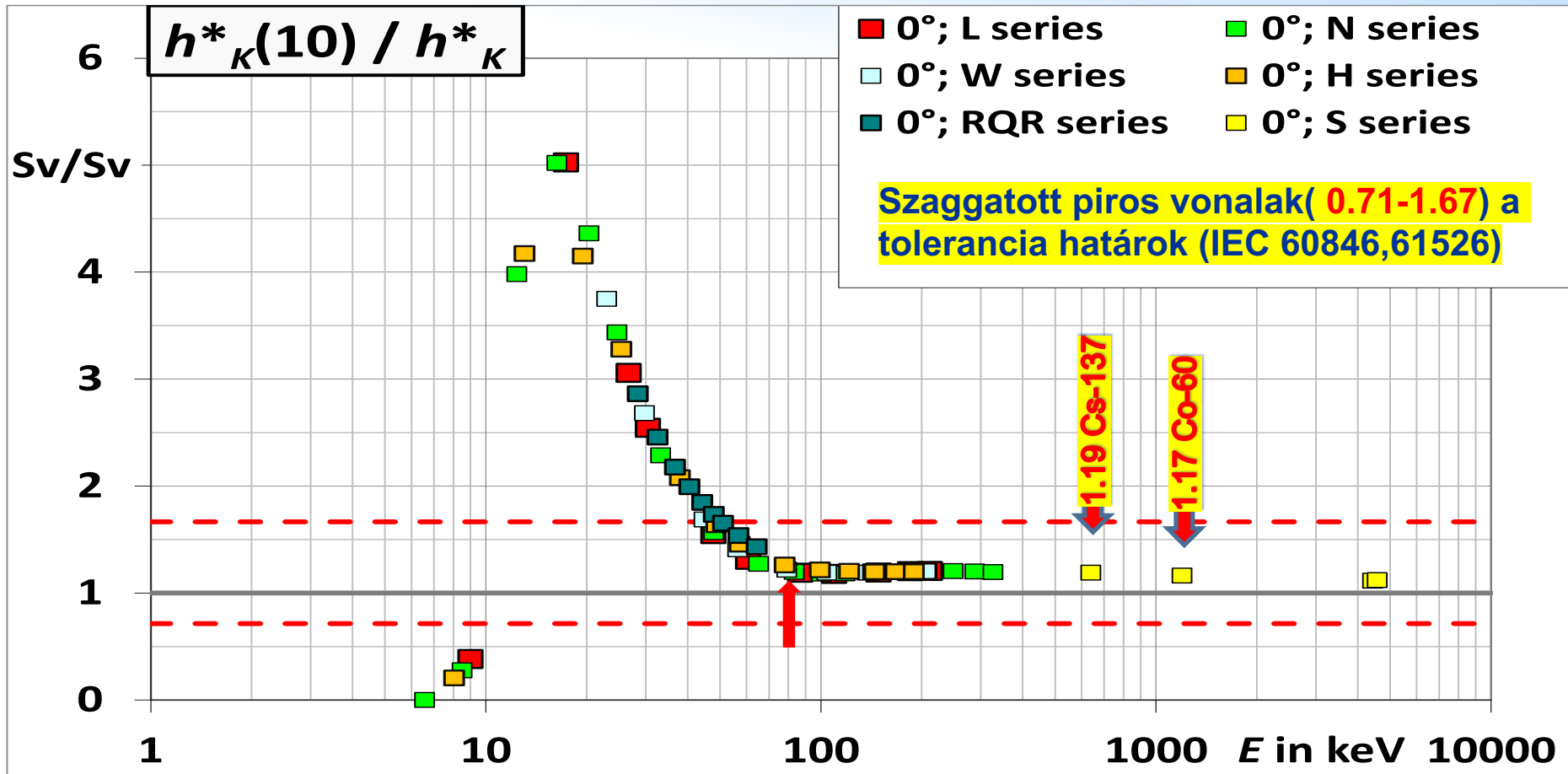
R. Behrens and T. Otto: J. Radiol. Prot. 42, 011519 (2022) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/abc860>

Bőrben elnyel helyi dózis ($D_{\text{bőr ujj}}$)-kerma konverziós tényezők röntgen sugárzásokra ISO 4037(2019)



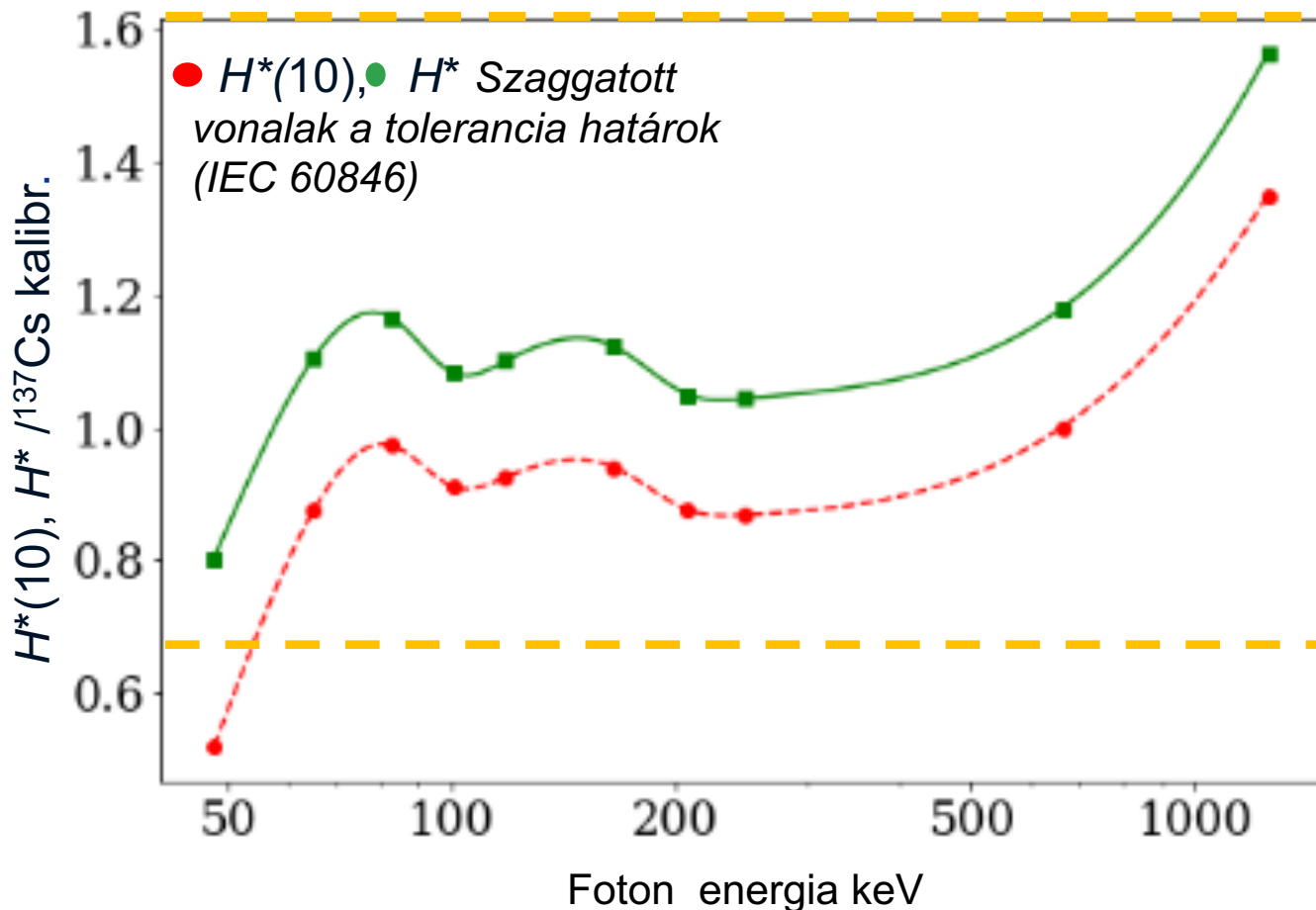
R. Behrens and T. Otto: J. Radiol. Prot. 42, 011519 (2022) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/abc860>

Milyen pontos a fotonsugárzást mérő dózismérő az új környezeti dózis (H^*) mennyiségben?

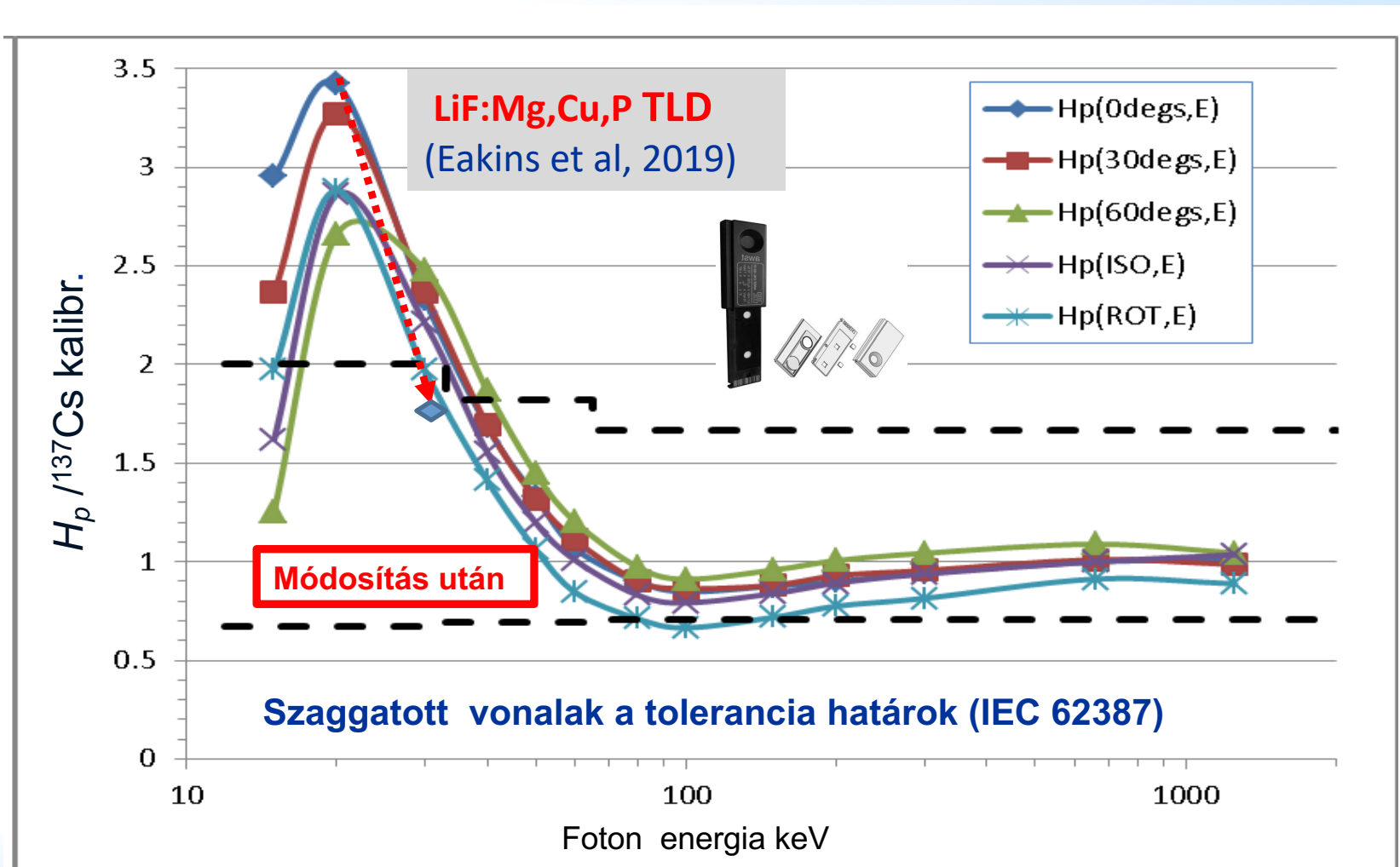


Elég újra kalibrálni (~-16%) ha a méréstartomány 70 keV-nél kezdődik!
70 keV alatt változtatni kell! (Analóg vagy szoftveres módszerekkel)
Személyi dózist (H_p) mérő aktív és passzív eszközökre is igaz!

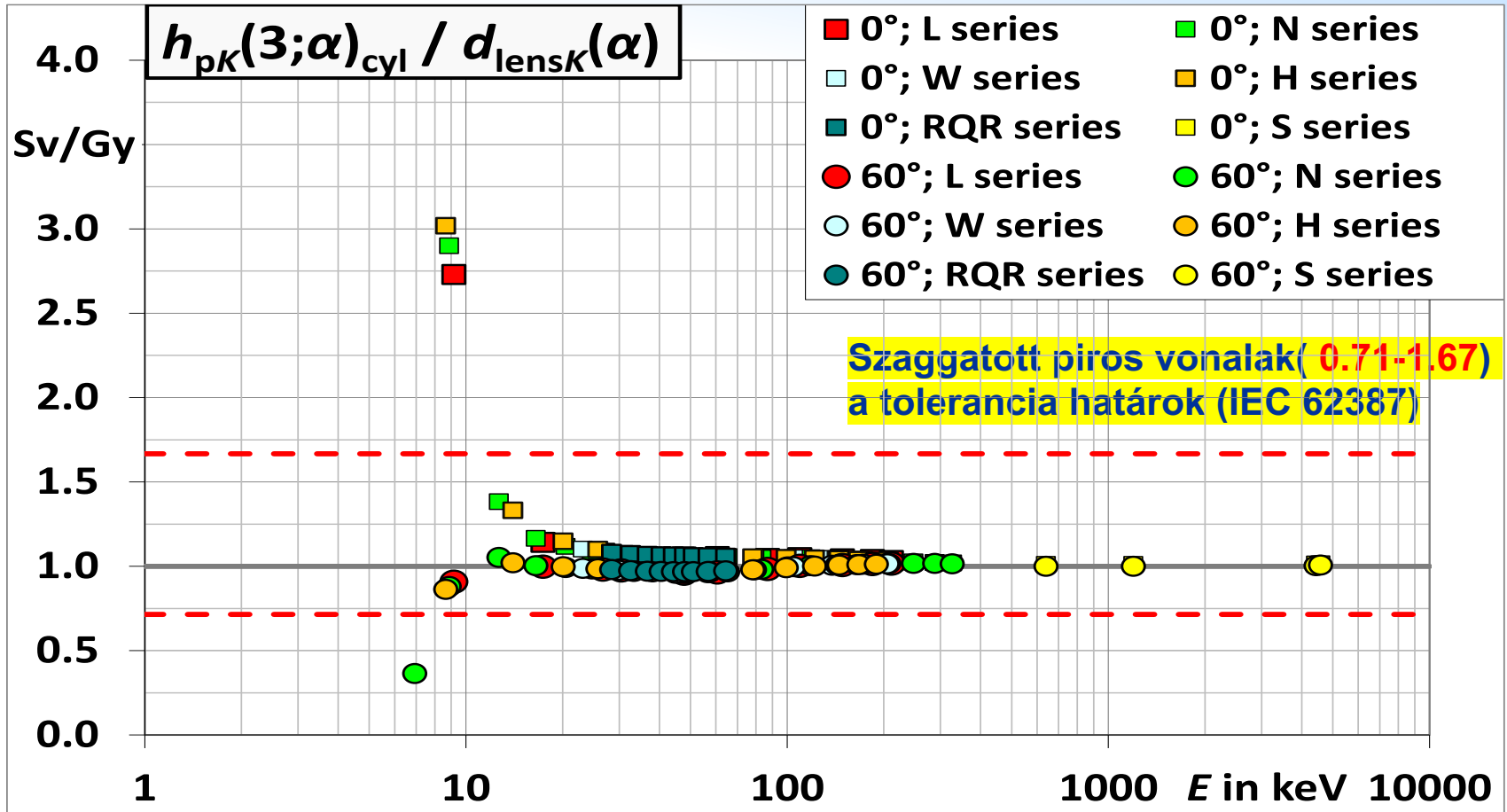
Milyen pontos a fotonsugárzást mérő terület ellenőrző dózismérő az új környezeti dózis (H^*) mennyiségben?



Milyen pontos a fotonsugárzást mérő TLD az új személyi dózis (H_p) mennyiségben?



Milyen pontos egy szemdózismérő az új “személyi elnyelt dózis szemlencséiben” ($D_{p\text{ szem}}$) mennyiségben foton sugárzásra?

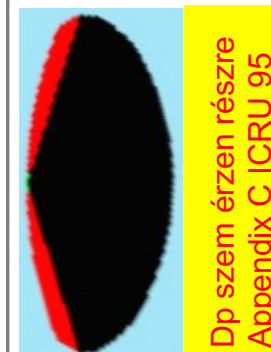
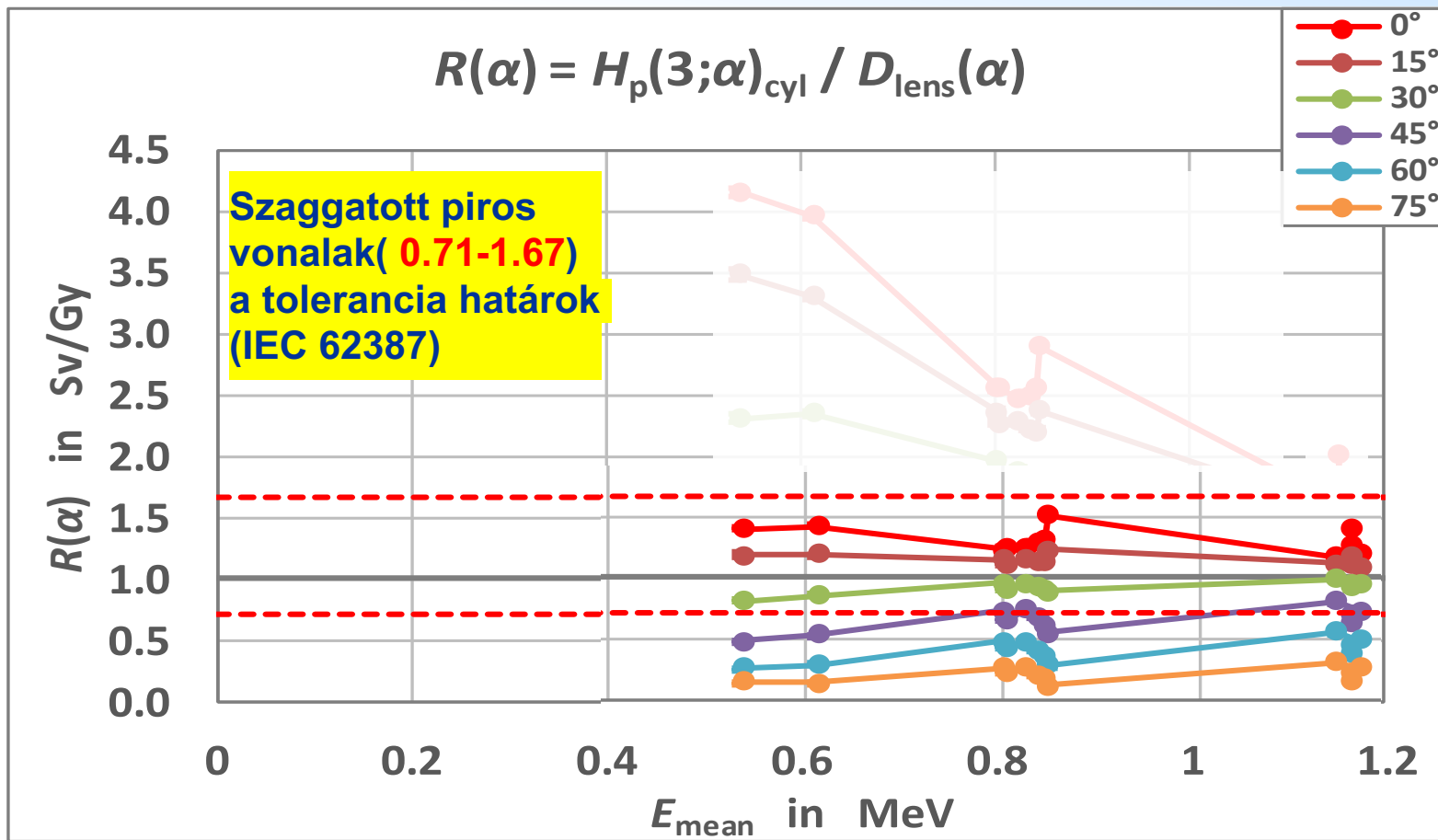


10 keV alatt kell változtatni, a bőrdózist ($D_{p\text{ bőr}}$) törzsön és végtagokon mérő eszközökre is!

β - sugárzásra 0,2 MeV felett nem kell módosítani a $D_{p\text{ bőr}}$ méréseket!

R. Behrens and T. Otto: J. Radiol. Prot. 42, 011519 (2022) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/abc860>

Milyen pontos egy szemdózismérő az új “személyi elnyelt dózis szemlencséiben” (D_p szemlencse) mennyiségben β - sugárzásra?



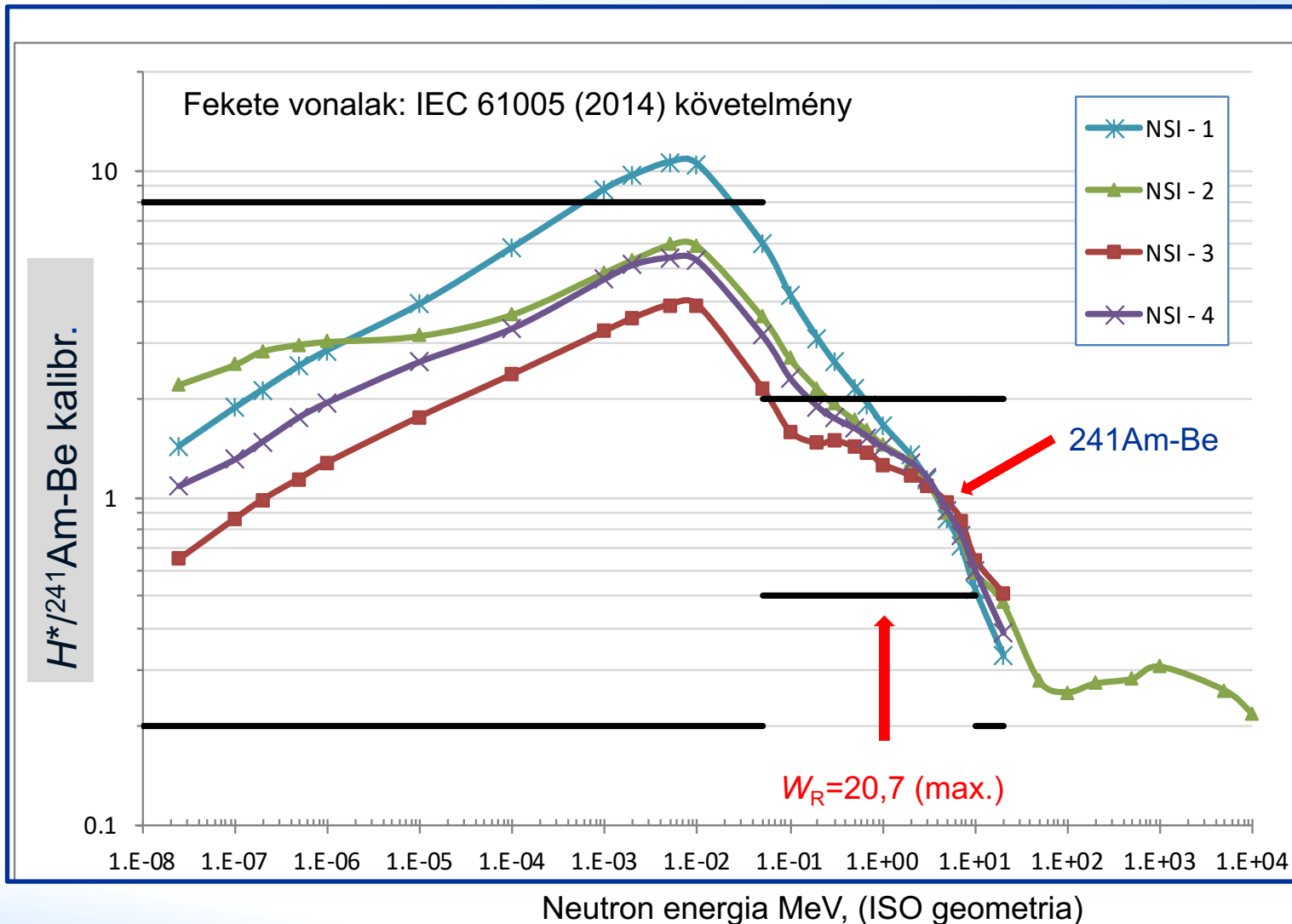
Dp szem érzen részre
Appendix C ICRU 95

R. Behrens J. Radiol. Prot. 41, No 4

Az irányfüggésen változtatni kell!

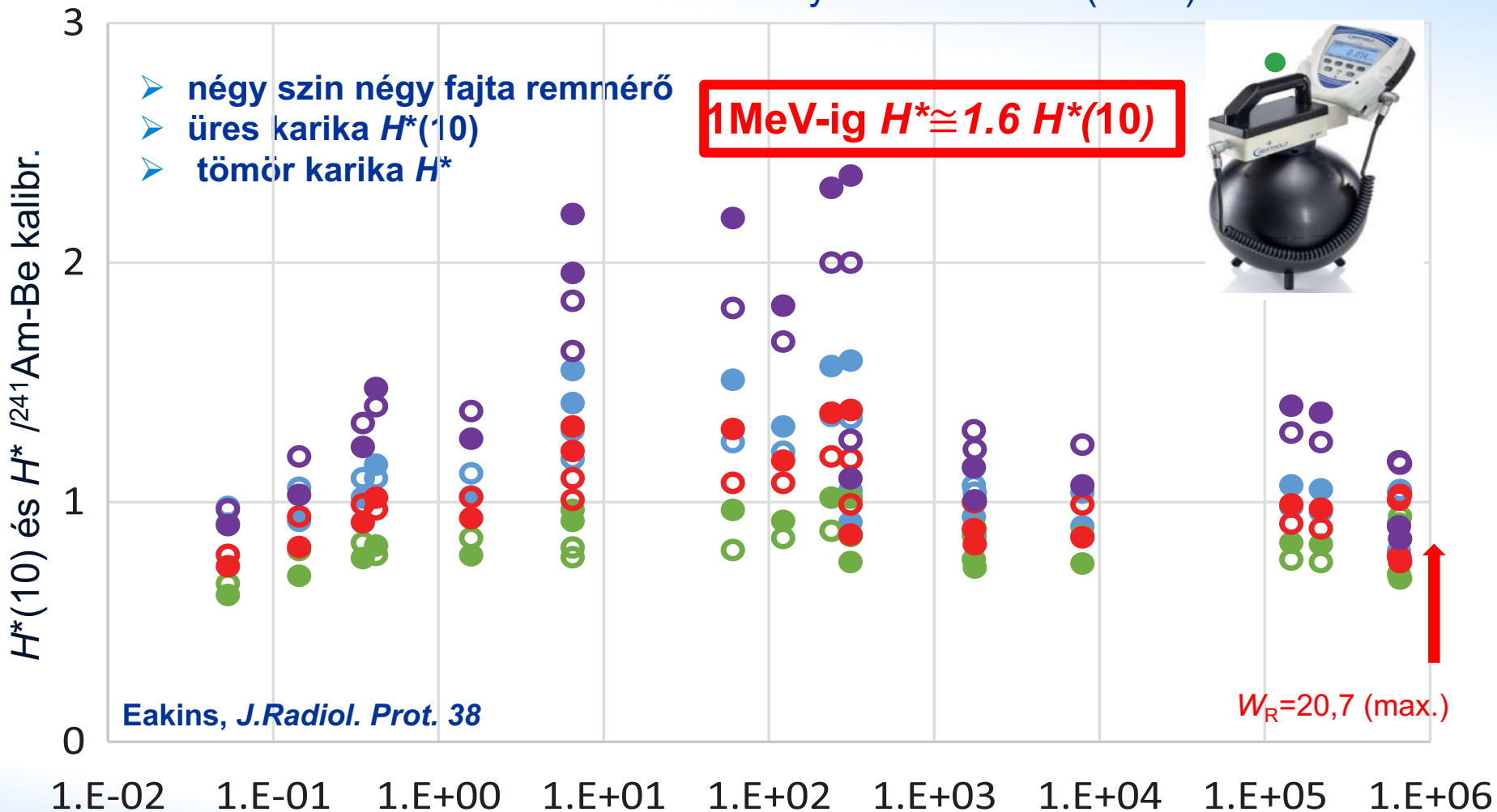
Az E_{mean} energia pontok $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ és $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ források, szűrő és távolság kombinációk R. Behrens. (referencia sugárzások ISO 6980-1)

Milyen pontosak a neutronsugárzás terület ellenőrző dózismérői az új “környezeti dózis (H^*)” mennyiségben?



Milyen pontosak a “remmérők” az új “környezeti dózis (H^*) mennyiségben a munkahelyi neutron térben ?

Méréstechnikai követelmények: IEC 61005 (2014)



19 "neutronos" munkahely $h^*(10)$ -zel súlyozott átlag energiája eV-ban

Átállás?, Mikor?, Hogyan?



Az ICRP 147 3.8 pontja már ismerteti az új gyakorlati mennyiségeket!
Az ICRP új általános ajánlásában H_T helyett D_T lesz a végtagokra!
A bőr és szem dózis korlátok addig Sv-ben maradnak!!!
(w_R csak kis dózisok sztohasztikus hatásának becsléséhez alkalmas!)


Nemzetközi és hazai jogi követelmények az ICRU 95 ajánlások alkalmazáshoz

IAEA


IAEA Safety Standards
for protecting people and the environment

Radiation Protection and
Safety of Radiation Sources:
International Basic
Safety Standards

Jointly sponsored by
EC, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, UNEP, WHO



General Safety Requirements Part 3
No. GSR Part 3



European Union



Basic Safety Standards Directive

Better radiation protection

A TANÁCS 2013/59/EURATOM
IRÁNYELVE
(2013. december 5.)

Magyar jogszabályok

**Törvényt nem kell
módosítani!**

487/2015 Korm. rend.

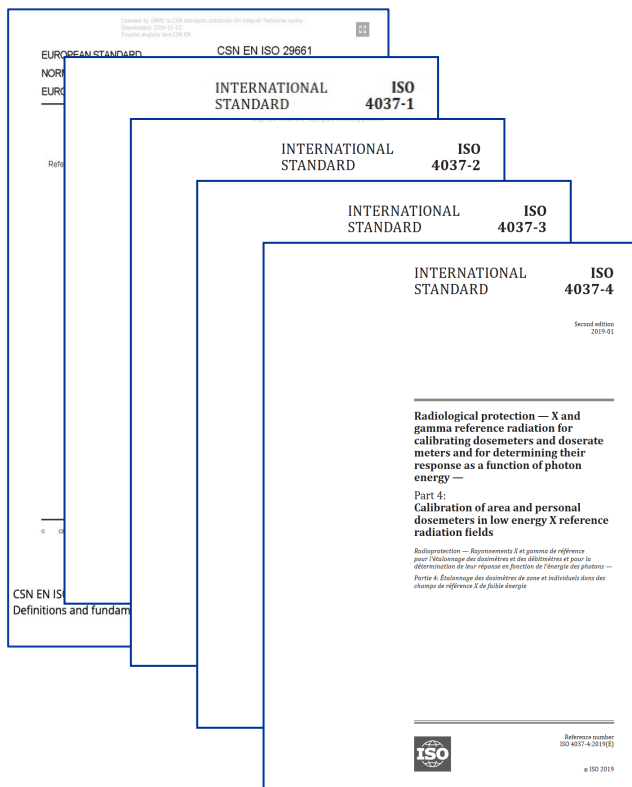
2/2022. OAH rendelet
stb.

Az új mennyiségek jogszabályi átvezetése min. 5 év és

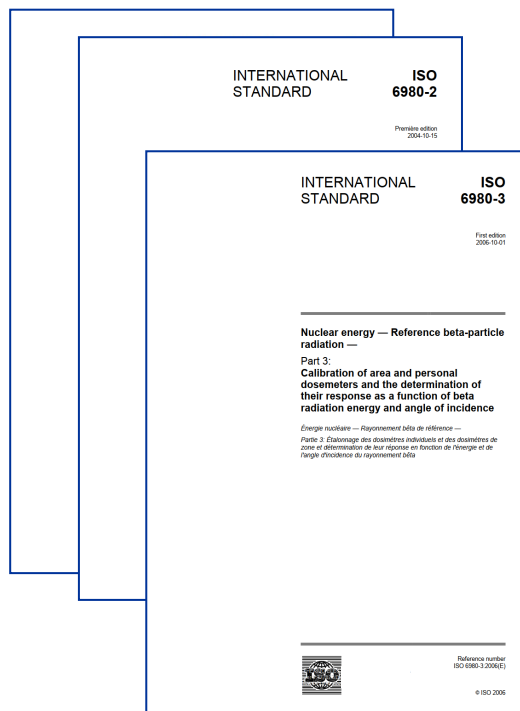


ISO szabványok sugárzási terekre az ICRU 95 ajánlások alkalmazáshoz

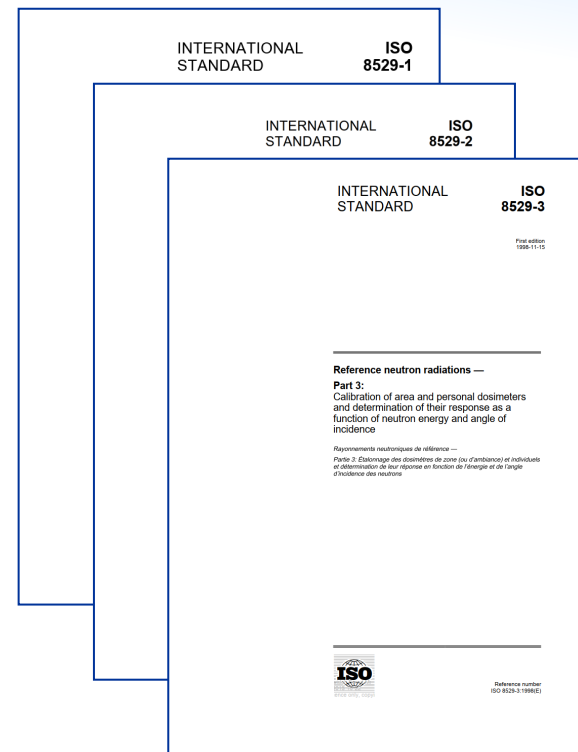
Foton: ISO 4037: 2019
ISO 29661: 2012



Beta: ISO 6980: 2022



Neutron: ISO 8529: 2021



MSZ 14341:2017 stb.

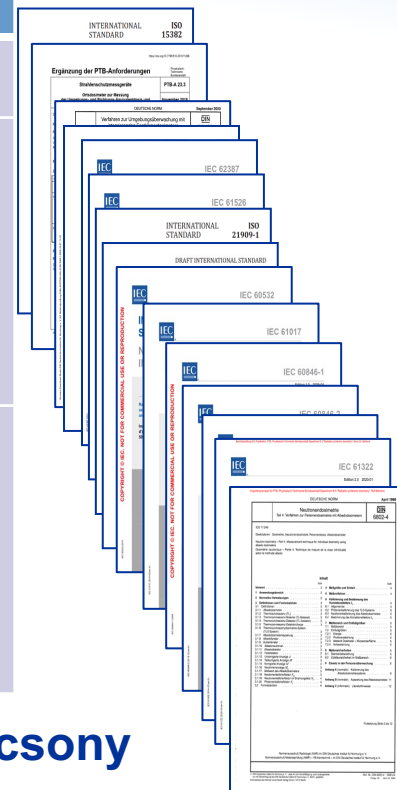
További kb. 5 év

Szabványok a dózismérők követelményeire

Mérési módszerekre: ISO 15382: Dosimetry in practice (2015),

ISO 14146: Routine test for dosimeters (2018)

Típus	Terület ellenőrzés		Személyi dozimetria	
	aktív	passzív	aktív	passzív
foton és béta	IEC 61017, 2016 IEC 60532, 2010 IEC 60846-1, 2009 IEC 60846-2 2015 (vészhelyzeti)	IEC 62387, 2020	IEC 61526, 2010	IEC 62387, 2020
neutron	IEC 61526, 2014 IEC 61322, 2020	Nincs	IEC 61005, 2014	ISO 21909-1, 2021 ISO 21909-2, 2021 (munkahelyi)



- Foton spektrumot és környezeti dózist (H^*)mérő eszközök alacsony energiás (10-80 keV) szűrését növelni kell!
- Személyi dózis mérőkre irány és energia függést is kell változtatni.
Új EPD modellek várhatók!

Összefoglaló

(ICRU 95, 2020. Külső sugárzások gyakorlati mennyiségei)



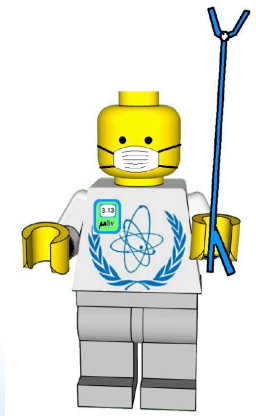
1. Az új mennyiségek az effektív dózis lehető legjobb közelítését adják az azonos fantomok és w_R használatával.
2. A dózisegyenérték helyett az elnyelt dózis bevezetése a szem és bőr determinisztikus sugárkárosodására.
3. Egyszerű definíciók, új konverziós tényezők meghatározása további sugárzásokra és energia tartományra az új igényeknek megfelelően.
4. **Az új mennyiségek nem érintik a mérőeszközök vizsgálatát és kalibrálását, fantomok és módszerek ugyanazok.**
5. A gyakorlati fotonsugárzási terekben többnyire megvalósul az elektron egyensúly, így az **5. függelék adatait kell használni.**
6. Bizonyos mérőeszközök alacsony fotonenergiás érzékenységén változtatni szükséges.
7. Az intervencióos orvosi munkahelyek dózismérését tovább kell vizsgálni és fejleszteni (*szórt sugárzás energiája és iránya*)
8. A munkavállalók mSv körüli dózisa csökkenhet.
9. **A gyakorlati bevezetés kb 10 évet is igénybe vehet.**

Munkahelyi sugárvédelmi szolgálatok aggályai az ICRU 95 mielőbbi bevezetés ellen

1. **Nagy országok** (USA, CA, AU, FR, RU) nagy (magán) cégei költség-haszon elven működnek így **nem lelkesek**.
2. Tizezreket átképezni, számítógépes programokat módosítani, mérőeszköz fejlesztést támogatni? **A régi rendszer konzervatívabb**.
3. **NPP karbantartás (kollektív) dózisa jelentősen csökkenhet, mert egy másik (H_p) mennyiséggel mérjük és becsüljük az effektív dózist?**

Megjegyzés: A személyi dózismérők havi értékének teljes bizonytalansága kb. 100%, spektrum, irány, viselés módja stb. *Radiation Protection and Environment | Volume 44 | Issue 2 | April-June 2021)*

Köszönet R. Behrens-nek (PTB) az ábrákért! 😊



További összefoglalók:
[Thomas Otto. \(videó\)](#)
[EURADOS Report 2022-02](#)

Köszönöm a türelmet!



fotó: J. J. J. J.