

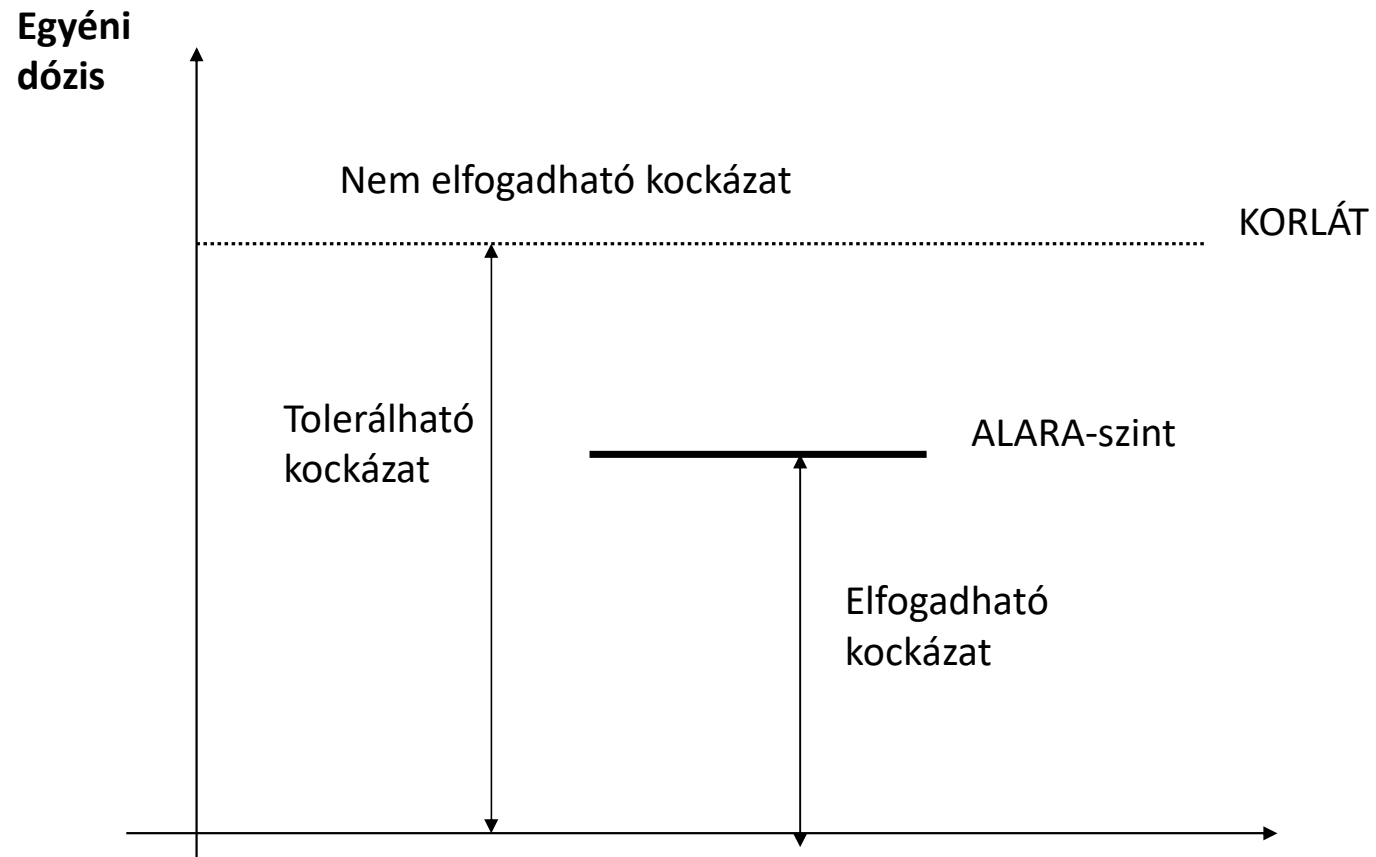
**Sugárvédelmi tervezés és értékelés alapjai:
kockázatelemzés, dózistervezés, optimalás**

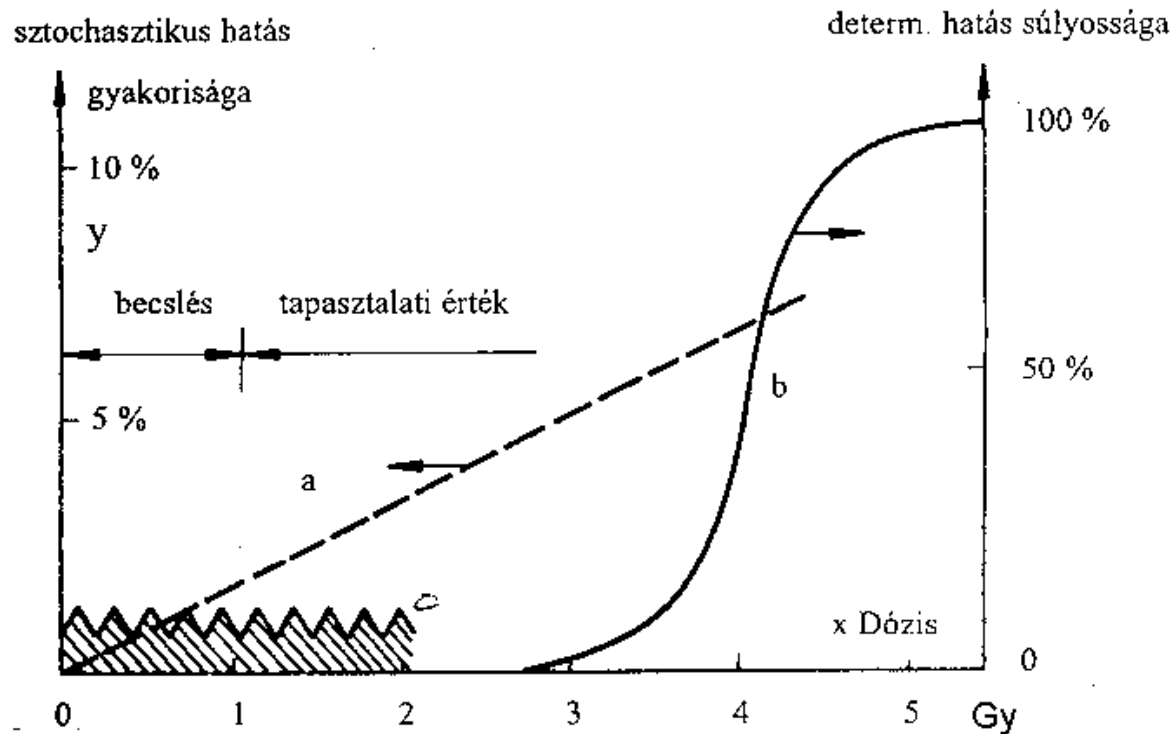
Optimálás a sugárvédelemben

Alapelvek:

- **Indoklás**
- **Optimálás**
- **Korlátozás**
- Dózismegszorítás
- Irányadó szintek

Kockázatkezelés





A sztochasztikus sugárhatás nominális károsodási együtthatói 1 Sv effektív dózis esetén, a dolgozókra és a teljes lakosságra külön-külön, az ICRP 1991-ben megjelent ajánlásai szerint

Populáció	Végzetes, rosszindulatú daganat, rák	Nem-végzetes rákos hatás	Súlyos örökletes hatások	Összesen
Felnőtt dolgozók	0,040	0,008	0,008	0,056
Teljes népesség	0,050	0,01	0,013	0,073

INDOKLÁS

$$\mathbf{B = V - (P + x + y)}$$

V - haszon

P - összes ráfordítás

x - azok a többlet ráfordítások, amelyek a sugárzás miatt szükségesek
(védőintézkedések, árnyékolás stb.)

y - az emberi élet károsodása miatt beszámított érték

Nem engedélyezhető olyan sugárveszélyes tevékenység, melynek eredménye nem ad elfogadható hasznot a sugárterhelést kapott egyénnek, vagy az esetleges sugárkárosodás következményeit kiegyenlíteni köteles társadalom számára.

OPTIMÁLÁS

ALARA-elv:

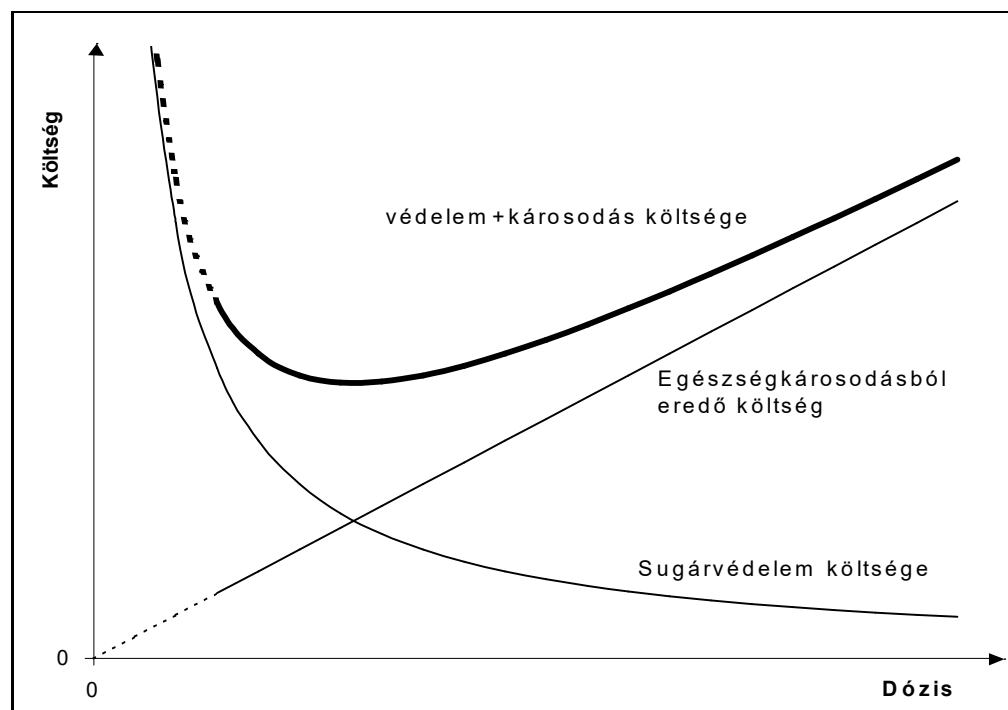
a dolgozók és a környezetben élő lakosság sugárterhelésének az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten tartása

A sugárvédelemben az optimálás rendszerint visszavezethető a költségek minimalizálására. Ugyanis, egyrészt a sugárzás károsító hatását költséges védelemmel rendszerint csökkenteni lehet, másrészt a védekezési költségek megtakarítása esetén várható, hogy a károsító hatások mértéke és így a helyreállítás, a gyógyítási költsége megnő.

OPTIMÁLÁS

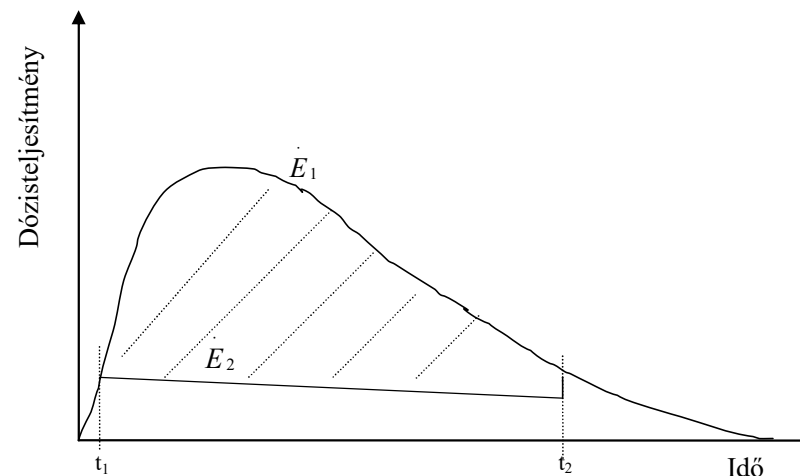
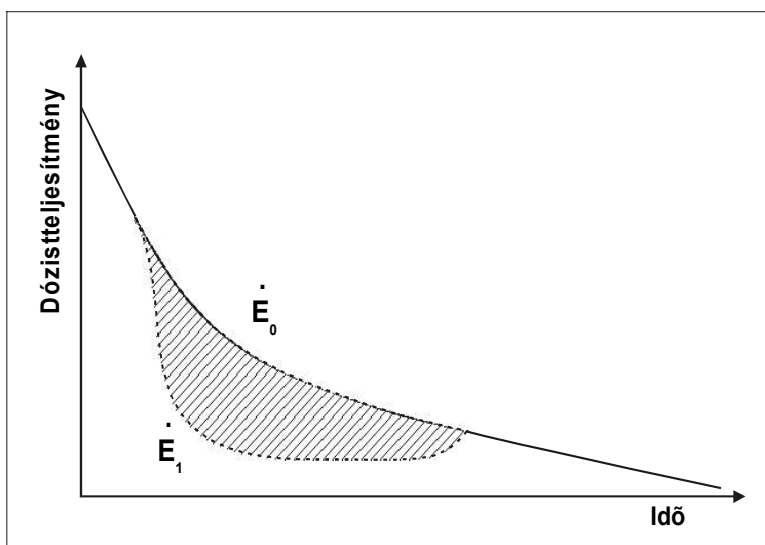
Kvantitatív megközelítés

Ha a sugárterhelés függvényében nézzük a védelem és a károsodásból eredő költségek előjeles összegét, akkor lesz olyan dózisérték, ahol az összeg a legkisebb. Ez az érték költség szempontból az optimális viszonyokat jelzi.



Kvalitatív megközelítés („tiszta” haszon)

Itt nem a költséget, hanem az elkerülhető dózist optimalizáljuk. Pl. több dóziscsökkentő lehetőség közül az optimális kiválasztása és alkalmazása.



- Baleset elhárításánál alkalmazandó védőintézkedések kiválasztása: kell e kitelepítés, vagy elég az elzárkóztatás, vagy esetleg az a legjobb, ha nem teszünk semmit?
- Munkahelyi tevékenységnél telepítsünk e árnyékolást, vagy végezzük el kevesebb idő alatt árnyékolás nélkül?
- A kiegészítő védőfelszerelés takarít e meg annyi dózist, amennyivel tovább tart a munkavégzés és a többlet radioaktív hulladék későbbi kezelése?

Kvantitatív megközelítés (anyagi, társadalmi haszon)

α -érték alkalmazása:

$$Y = \alpha \cdot S$$

Y - egészségkárosodás költsége (Ft)

α - egységnyi kollektív dózis költsége (Ft/ személy·Sv)

S - kollektív dózis (személy·Sv)

Ha a védőintézkedések költsége kisebb mint az egészségkárosodás költsége a védőintézkedések bevezetése költséghatékony

$\alpha_{Mo} = 100\,000$ Ft/ személy·mSv

Dózistartomány (mSv)	Javasolt α -érték (€/személy.mSv)
<2	15
2-5	75
5-20	400
20-50	2000

Franciaország

0-10 mSv: 650

10-16 mSv: 1300

16-20 mSv: 1800

USA

< 10 mSv: 466

> 10 mSv: 1331

Optimálás 1.

ALARA

Munkák előkészítése:

- főjavítások időben történő előkészítése
- sugárvédelmi személyzet bevonása a tervezésbe
- korábbi tapasztalatok felhasználása
- optimális munkavégzési körülmények felmérése
- árnyékolás
- jó gyakorlat átvétele
- gyakorlati képzés inaktív körülmények között
- munkaszervezés
- radioaktív hulladékok kezelése
- ellenőrzési szintek felállítása

Optimálás 2.

Munkák végrehajtása és visszacsatolás:

Végrehajtás

- dozimetriai engedélyezés
- eligazítás
- munkavégzés
 - eltöltött idő
 - sugárzási viszonyok
- együttműködés a végrehajtók és a sugárvédelmi személyzet között

Munkák értékelése és visszacsatolás:

- sugárvédelmi adatok gyűjtése
- tapasztalatok gyűjtése, visszacsatolás

Optimálás 3.

α -érték alkalmazása:

$$Y = \alpha \cdot S$$

ha $C < Y$

a védőintézkedések bevezetése költséghatékony

S - kollektív dózis (személy·Sv)

α - egységnyi kollektív dózis költsége (Ft/ személy·Sv)

Y - egészségkárosodás költsége (Ft)

C - védőintézkedések költsége (Ft)

$$\alpha_{M0} = 100\,000 \text{ Ft/ személy}\cdot\text{mSv}$$

Példa

Optimális-e árnyékolást telepíteni?

A személyzet várható sugárterhelése védőintézkedés nélkül 4,5 személy·mSv

Árnyékolás telepítése után várható sugárterhelés 0,5 személy·mSv

Megtakarítás 4 személy·mSv

Telepítés munkaköltsége, árnyékolás amortizációja, árnyékolás költsége:

pl.: 250 000 Ft.

Optimális 250000 Ft-ot költeni 4 személy·mSv dózismegtakarításra?

Attól függ, hogy mennyi 1 személy·mSv költsége.

Példa 1. eset

Ésszerű ráfordítás meghatározása:

Munkfolyamat	Várható dózis	Alfa-érték	költség	Ráfordítás
Munavégzés	4,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	450 000 Ft	450 000 Ft
Árnyékolás telepítése után	0,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	50 000 Ft	50 000 Ft
Megtakarítás (haszon)	4 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	400 000 Ft	400 000 Ft

Mindaddig ésszerű az árnyékolást telepíteni, amíg annak költsége el nem éri a 400 eFt-ot.

Példa 2. eset.

Ésszerű ráfordítás meghatározása:

Munkfolyamat	Várható dózis	Alfa-érték	költség	Ráfordítás
Munavégzés	4,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	450 000 Ft	450 000 Ft
Árnyékolás telepítése	2 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	200 000 Ft	200 000 Ft
Árnyékolás telepítése után	0,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	50 000 Ft	50 000 Ft
Megtakarítás (haszon)	2 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	200 000 Ft	200 000 Ft

Ha 250 eFt az árnyékolás telepítésének költsége, akkor nem célszerű telepíteni.

Példa 3. eset.

Ésszerű ráfordítás meghatározása:

Munkfolyamat	Várható dózis	Alfa-érték	költség	Ráfordítás
Munavégzés	4,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	450 000 Ft	450 000 Ft
Árnyékolás telepítése	5 Személy·mSv	100 001 Ft/(szem·mSv)	500 005 Ft	500 005 Ft
Árnyékolás telepítése után	0,5 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	50 000 Ft	50 000 Ft
Megtakarítás (haszon)	-1 Személy·mSv	100 000 Ft/(szem·mSv)	-100 000 Ft	-100 000 Ft

Nem szabad árnyékolást telepíteni, mert dózistöbbletet okoz.

Példa

Munkaterületen a következő aktivitás-koncentrációkat mérték a levegőben:

^{137}Cs 100 Bq/m³

^{60}Co 50 Bq/m³

A dolgozó légzésintenzitása: 1 m³/h

A munkavégzés ideje várhatóan 3 óra.

Egyéni védőeszközök használata nélkül mekkora lesz a dolgozók külső és belső dózisterhelése?

Optimális-e a 1000 Ft-ba kerülő légzésvédő használata, ha annak csökkentési tényezője: 10%?

Inkorporációból eredő lekötött effektív dózis:

$$E_x = K_x \cdot A_x$$

Belégzésből eredő lekötött effektív dózis:

$$E_i = V \cdot K_i \cdot C \cdot dt$$

K_i : az inhalációs dózistényező [$\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$],

V : a légzés intenzitása [$\text{m}^3 \cdot \text{nap}^{-1}$], (mivel a K_i erősen korfüggő, az E_i értéke így több korcsoportra is számolható)

Lenyelésből eredő lekötött effektív dózis:

$$E_i = K_1 \cdot G \cdot C \cdot t$$

K_1 : a lenyelési dóziskonverziós tényező [$\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$],

G : a vizsgált csoport fogyasztása az adott élelmiszerből [$\text{kg} \cdot \text{nap}^{-1}$ ill. $1 \cdot \text{nap}^{-1}$],

C : az élelmiszer aktivitás-koncentrációja [$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ill. $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$].

Dóziskonverziós tényezők, elnyelt, effektív ill. lekötött dózis esetén

Nuklid	K_{β} (bőr) (Gy·m ³)/(Bq·s)	K_{γ} (Sv·m ³)/(Bq·s)	K_i Sv·Bq ⁻¹	K_l Sv·Bq ⁻¹
H-3	0	0	0	$1,8 \cdot 10^{-11}$
C-14	$1,9 \cdot 10^{-16}$	0	0	$5,8 \cdot 10^{-10}$
P-32	$4,3 \cdot 10^{-14}$	0	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$
K-40	$5,6 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-15}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$	$6,2 \cdot 10^{-9}$
Ar-41	0	$6,1 \cdot 10^{-14}$	0	0
Fe-59	$4,6 \cdot 10^{-15}$	$5,8 \cdot 10^{-14}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$
Co-60	$2,7 \cdot 10^{-15}$	$1,2 \cdot 10^{-13}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$
Sr-90	$8,9 \cdot 10^{-14}$	0	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Y-90	$5,9 \cdot 10^{-14}$	0	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Ag-110m	$2,6 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$
I-131	$9,2 \cdot 10^{-15}$	$1,7 \cdot 10^{-14}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
I-131(*)	-	-	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$
Cs-137	$1,1 \cdot 10^{-14}$	$2,7 \cdot 10^{-14}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Ra-226	0	$2,7 \cdot 10^{-16}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
Pu-240	0	$5,0 \cdot 10^{-18}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$
Am-241	0	$6,7 \cdot 10^{-16}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$

* a pajzsmirigy szöveti sugárterhelésre (lekötött egyenérték és nem effektív dózusra) vonatkozó dóziskonverziós tényező

Számítás

	c (Bq/dm ³)	V (m ³ /h)	t (h)		Ki (Sv/Bq)	Légzésvédő	Alfa (Ft/mSv)
Cs-137	100		1	3	4,60E-09	0,1	100000
Co-60	50		1	3	3,10E-08	0,1	100000

	Felvett aktivitás (Bq)	Lekötött dózis (Sv)	Dózis (mSv)	Költség Ft	Légzésvédővel	Megtakarítás	Haszon (Ft)
Cs-137	300	1,38E-06	1,38E-03	138	1,38E-04	1,24E-03	124
Co-60	150	4,65E-06	4,65E-03	465	4,65E-04	4,19E-03	419
Összesen				603			543

Tehát a légzésvédő használata nem optimális (de kockázatcsökkentés miatt célszerű lehet).

Példa

Korlátozottan kezelhető helyiségben a $28 \mu\text{Sv/h}$ a megengedhető dózisteljesítmény értéke. Egy a helyiségben működő ^{137}Cs -et ($E_\gamma=662 \text{ keV}$) ionokat megkötő ioncserélő oszlop felszínén $0,5 \text{ mSv/h}$ dózisteljesítményt mértek.

Milyen vastag vas és ólom árnyékolás telepítésére van szükség a, hogy az eszköz dózisteljesítménye megfeleljen a helyiségkategóriának?

Külső sugárterhelés árnyékolásának számítása

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$$\ln(I_1/I_0) = -\mu \cdot x$$

Különböző az abszorbens anyagok μ_i sugárgyengítési együtthatói
 $E_\gamma = 60$ és 662 keV energiájú γ -sugárzás esetén.

Anyag	μ (cm ⁻¹)		Anyag	μ (cm ⁻¹)	
	60 keV	662 keV		60 keV	662 keV
Levegő	2.0E-4	0.8E-4	Gumi	0,35	0,094
Fa (mahagoni)	0,14	0,072	Teflon	0,37	0,11
Víz	0,20	0,081	Beton	0,59	0,15
Műanyag (I)	0,17	0,067	Al	0,74	0,19
Műanyag (II)	0,20	0,044	Fe	8,81	0,61
Plexiüveg	0,21	0,072	Cu	14,2	0,68
Bakelit	0,24	0,075	Pb	56,7	1,41

Számítás

	Dózisteljesítmény	
Tényleges	500	uSv/h
Cél	28	uSv/h

	I_1/I_0	$u(1/cm)$	$X=-\ln(I_1/I_0)/u$ (cm)
Fe	0,056	0,61	4,73
Pb	0,056	1,41	2,04