



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



## Kockázat

### Kockázat, sugárzás, biológiai hatások

**Dr. Sükösd Csaba**  
c. egy. tanár  
BME Nukleáris Technikai Intézet

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
1



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



### Miről lesz szó?

- 1) **Mi a kockázat?**
  - Önként vállalt és kényszerített kockázat
  - Társadalmilag elfogadott kockázat
  - A kockázat csökkentése
- 2) **Ionizáló sugárzások kockázata**
  - Alapvető dóziszfogalmak
  - Ionizáló sugárzások egészségügyi hatásai
  - Természetes sugárzási háttér
  - Mesterséges sugárzások

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
2



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**Kockázat...**  
a nevében is benne van a „kocka” → dobókocka, **valószínűség**.



1. Példa: Fogadás

Fogadjunk egy üveg pezsgőbe,  
hogy hatost dobok!


Elemzés:

		Valószínűség	
		neke	neked
Haszon	nyerek egy üveg pezsgőt	1/6	5/6
Kár	veszíték egy ü.pezsgőt	5/6	1/6

**Elfogadod??**



2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
3



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**





2. Példa: Lottó

Fogadjunk, hogy az én öt számomat húzzák majd ki!

Elemzés:


		Valószínűség a fogadónak
Haszon	milliárdos nyereség	kicsi
Kár	veszíték 300 Ft-ot	nagy

**Elfogadod??**


### Tanulságok:

1) **Kockázat = (kár nagysága) \* (kár valószínűsége)**  
 2) **Kockázatot MINDIG valamilyen HASZON érdekében vállalunk!**

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
4



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**Pontosabb elemzés (kockázat/haszon):**


$$\text{Elfogadhatatlanság} = \frac{\text{kár valószínűsége} \cdot \text{kár nagysága}}{\text{haszon valószínűsége} \cdot \text{haszon nagysága}} = \frac{\text{kockázat}}{\text{haszon}}$$

A pezsgős fogadás esetében  
 a kár nagysága = haszon nagysága (= 1 üveg pezsgő), ezért  
 elfogadhatatlanság(nekem) = (5/6)/(1/6) = 5,  
 elfogadhatatlanság(neked) = (1/6)/(5/6) = 1/5

Általában elfogadhatatlan valami, amire ez az arány > 1

A legtöbb esetben a valószínűségek számszerűsíthetők, ám mind **a kár nagysága**, mind **a haszon nagysága csak nehezen számszerűsíthető**. Ráadásul a fenti arány személyenként (társadalmi csoportonként) is más és más lehet (szubjektív).

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
5



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**






3. Példa: **Munkavállalás**  
**Haszon:** megélhetés (egyeseknél belső szükséglet kielégítése, önbecsülés, jó közérzet, stb...)  
**Valószínűség:** ~1 (ha van munka, van megélhetés stb.)  
**Kár:** munkahelyi balesetek, egészségkárosodás...  
**Valószínűség:** ?


**Megtudható** a munkahelyi káresetek valószínűsége?  
 Statisztikai adatokból: valószínűség ~  $\frac{\text{káresetek száma}}{\text{összes dolgozók száma}}$

**Munkahelyi kockázat:** **kár \* bekövetkezés valószínűsége**  
 Hogyan „mérhető” a kár ebben az esetben?

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
6



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**




Miután egészségkárosodásról van szó, relatív egységet szokás használni.  
**Halálos károsodás = 100% (=1.0).**  
 Az egyéb károsodásokat ehhez viszonyítják (ld. biztosítók gyakorlata)


Példaként néhány foglalkozás munkahelyi kockázata:

Ruha- és cipőipar	< 0,00001
Textil- papír- élelmiszeripar	
Fémipar, hajózás, építkezés	0,00001 – 0,0001
Szénbányászat, fazekasság	0,0001 – 0,001
Repülőgép-személyzet, tengeri halász, kocszégető	0,001 – 0,01
Mustárgázt, naphtylamint előállító üzem dolgozója	> 0,01

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
7




**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**




**Problémák a kockázati faktorok megállapításánál**

- 1) A valószínűség becslése az esetszámok alapján nehéz, mert az esetszámok „ingadoznak”, szóróznak.  
 Ha  $N$  eset van, annak a szórása  $\sqrt{N}$ .  
 Ez azt jelenti, hogy  $N = 1$  esetén a szórás  $\pm 1$ , (azaz 100%)  
 10%-os szórást pedig  $N = 100$  esetén lehet elérni (0,1=10/100)
- 2) Kis valószínűség megállapításához nagy populáció kell:  
 Pl.  $10^{-6}$  valószínűség azt jelenti, hogy 1 millióból 1 eset,  
 (vagy 100 millióból 100 eset) következik be átlagosan.  
 10%-os pontosság eléréséhez kb. 100 millió embert kellene vizsgálni (akik egyébként azonos körülmények között vannak).  
 Ez csaknem lehetetlen.

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
8



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



### Problémák a kockázati faktorok megállapításánál (2)

3) **Késői hatások** esetén nem mindig tisztázható egyértelműen az ok-okozati összefüggés.  
Pl. ha 30 év múlva megnövekszik a halálozási ráta, nem lehet tudni, hogy ez az elmúlt időszak mely eseményének tulajdonítható

4) Emberen nem szabad „kísérletezni”. **Állatkísérletek** eredményei pedig nem mindig alkalmazhatók emberre.

- egyes állatok szervezete másképpen reagál (pl. a levegő szennyezőire /klórra/, mint az embereké...)
- Állatkísérletek is csak **kis populáción** folynak, nagy dózissal.  
Hogyan lehet **extrapolálni** a nagy dózisból a kicsire?

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
9



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**




### Önként vállalt és kényszerített kockázat

**Repülőgép:** ha felülsz, önként vállalod a (halálos) baleset kockázatát!  
**DE!** A lezuhanó repülőgép mások életét is kockáztatja (ld. Lockheed katasztrófája Skócia fölött, 1988).  
A repülés – mint tevékenység – kockázatot „kényszerít” azokra is, akik éppen nem repülnek...

**Autó:** ha autóban közlekedsz, önként vállalod a (halálos) baleset kockázatát! **DE!** Az autóval mások életét (gyalogosokét is) kockáztatod.  
A közlekedés – mint tevékenység – kockázatot „kényszerít” azokra is, akik talán soha életükben nem ültek autóba...  
Minden tevékenység kockázatot jelent az azt végzőre (önként vállalt), de nem csak őrá, hanem az egész társadalomra is („kényszerített” kockázat).  
**A társadalom mérlegeli az előnyöket, és dönt a vállalhatóságról.**

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
10



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



### Társadalmilag „elfogadott” kockázat

Hogyan dönt a társadalom? Népszavazással?  
**Munkahelyi:** egyértelműen **kiszámítható** a statisztikai adatokból.  
Példa: tegyük fel, hogy egy (kis) országban 410 ezer ember dolgozik.  
Ezek megoszlása a munkahelyi kockázatok szerint a következő:

Kockázat	fő	kockázat·fő
0,00001	300 ezer	3
0,0001	100 ezer	10
0,001	8 ezer	8
0,01	2 ezer	20
Összesen	410 ezer	41

Az átlagosan vállalt munkahelyi kockázat tehát:

$$\frac{41}{410\,000} = 0,0001 = 10^{-4}$$

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
11



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



### Társadalmilag „elfogadott” kockázat (2)

Az **átlagos munkahelyi kockázatot** a társadalom elfogadja, mint „önként vállalt” kockázatot!  
„**Kényszerített**” kockázatnak ennek a tizedrészét szokták elfogadhatónak tartani.

*„Nem kifogásolhatom, hogy mások olyan tevékenységet folytassanak - társadalmi haszon érdekében - , amely tizedannyi kockázatnak tesz ki engem, mint amennyit az ország munkaképes lakosai vállalnak általában!”*

**USA:** átlagos munkahelyi kockázat: **10<sup>-4</sup>**.  
társadalmilag elfogadott kockázat: **10<sup>-5</sup>**.  
Törvény Kaliforniában: az „**ismeret joga**” (a dohányzás káros...)

2021. október 22-25.
63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác
12



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**




**Társadalmilag „elfogadott” kockázat (3)**

Ezek az értékek nem valamely testület (kormány, politikai vagy tudományos testület) által **önkéntesen** meghatározott értékek, hanem minden országban a statisztikai adatokból **kiszámíthatók!**


Ezek az értékek **függnek** az adott ország fejlettségének állapotától (munkavédelmi eszközök, munkafegyelem, környezetvédelmi beruházások...)! Ezért ezek országról-országra és időről időre változnak.

**Magyarország:** nem áll jobban, mint az USA, ezért:  
**10<sup>-4</sup>** nálunk is az elfogadott átlagos munkahelyi kockázat, és így  
**10<sup>-5</sup>** kényszerített kockázat társadalmilag már biztosan elfogadható!

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 13




**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**




**A kockázat csökkentése (1):**

Egyszerű példa:


- ha nincs sem öv, sem nadrágtartó, akkor lecsúszik a nadrág
- tegyük fel, hogy a beszakadás valószínűsége: **0,001/óra**, és ha beszakadt, akkor tart **még kb. 8 óra** hosszát (naponta 16 órát hordják)



2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 14



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**A kockázat csökkentése (1):**

**Első eset:**  
*„csak övet hordanak, és soha nem ellenőrzik”*  
**Eredmény:** átlagosan 1000 hordott óránként (62,5 naponként) leesik a nadrág. **Elfogadható?**

**Második eset:**  
*„csak övet hordanak, és reggelente ellenőrzik, nincs-e beszakadva”*  
**Eredmény:** átlagosan 2000 hordott óránként (125 naponként) leesik a nadrág. **Elfogadható?**

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 15



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**A kockázat csökkentése (2):**

**Harmadik eset:**  
*„övet és nadrágtartót is hordanak, és reggelente ellenőrzik, nincs-e beszakadva valamelyik”*  
**Eredmény:** átlagosan 4 millió hordott óránként (685 évenként) leesik a nadrág.  
**Elfogadható?**

A „leeső nadrág” óránkénti valószínűsége: 1/(4 millió).  
Tehát várható, hogy 10 millió emberből kétóránként átlagosan öt ilyen helyzetbe kerül... **Társadalmilag is elfogadható?**



2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 16



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**A kockázat csökkentése(3):**

**A biztonság növelésének módszerei:**

- 1) Rendszeres **ellenőrzés**  
(pl. autó időszakos biztonsági felülvizsgálata)
- 2) Azonos funkciójú berendezések **többszörözése**  
(az atomerőművekben általában háromszoroznak-négyszereznek)
- 3) Többszörözött eszközök **diverzifikálása**  
(„típushiba” kiküszöbölése: ugyanazt a funkciót különböző gyártású eszközökkel mérni)
- 4) Eszközök **függetlensége**  
(„közös eredetű hiba” elkerülése)





2021. október 22-25.

63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác

17



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**A kockázat csökkentése(4):**

**Tanulságok:**

5) Ami elfogadható az egyes szereplőknek, nem biztos, hogy **társadalmilag** is elfogadható!

Pl. ha egy súlyos atomerőművi baleset valószínűsége 0,001/év lenne, akkor egy kiszemelt erőműben 1000 évente lehetne ilyenre számítani. Ez tökéletesen elfogadható lenne az egyes erőműnek.

**DE!** A világon működik kb. 440 atomerőművi blokk, ezért átlagosan 2,5 évente lenne valahol a világon súlyos baleset. Nem elfogadható társadalmilag!



**Az új erőművekben a súlyos baleset kockázata <math> < 10^{-5}</math>/év**

2021. október 22-25.

63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác

18



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**Honnan tudjuk?**

PSA = Probability Safety Assessment  
Súlyos balesethez vezető „eseményfa”  
Külön tudomány



**A nukleáris ipar kockázata**

Társadalmilag hasznos tevékenység, de törekedni kell, hogy

- **munkahelyi kockázata** az átlag alatt maradjon
- „**kényszerített**” kockázata az elfogadott érték alatt maradjon.

A fő kockázatot a keletkezett radioaktív anyagok **egészségkárosító** hatása jelenti. Ezek miatt ismerni kell az embereket érő

- radioaktív sugárzás „mennyiségét” (dózisát)
- a különböző dózisok várható **egészségi hatásait.** } **Sugárvédelem**

2021. október 22-25.

63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác

19



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**Dózismennyiségek**

**Elnyelt dózis** (fizikai dózismennyiség)  
*A sugárzásból, egységnyi tömegű anyagban elnyelt energia*  
Jele:  $D$   
Egysége: J/kg (Gy, Gray)

**DE:** Különböző típusú sugárzások más- és más biológiai hatást váltanak ki. Ezért van szükség „biológiai” dózismennyiségre is

**Egyenérték dózis** (biológiai dózismennyiség)  
*Olyan dózis, amely olyan biológiai hatást vált ki, mintha gamma-sugárzásból nyelődött volna el az energia.*  
Kiszámítása:  $H = w_r \cdot D$  ( $w_r$  a „sugárzási tényező”)  
Egysége: J/kg (Sv, Sievert)



L.H.Gray (1905-1965)



R.M.Sievert (1896-1966)

2021. október 22-25.

63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác

20

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

### Radioaktív sugárzások biológiai hatása (1)

A sugárzások **ionizálnak**, megbontják a sejtek biokémiai egyensúlyát...  
Hibákat hoznak létre a DNS-ben → hibajavító mechanizmusok

**Szomatikus hatás**  
(az károsodik, akit a sugárzás ér)

**Genetikus hatás**  
(az utód károsodik, öröklődik)

**Azonnali hatás**  
(sugárbetegség)  
**determinisztikus,**  
3 hónapon belül

**Késői hatás**  
(rákos daganatok)  
**véletlenszerű,**  
évekkel később

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 21

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

### Radioaktív sugárzások biológiai hatása (2)

**Azonnali hatás**

**Késői hatás**

**Ez a sugárzás kockázati faktora !**

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 22

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

### Radioaktív sugárzások biológiai hatása (3)

Késői rák kialakulásának kockázati faktora:  $5,6 \cdot 10^{-2} / \text{Sv} = 0,056 / \text{Sv}$

Honnan tudjuk?

- Röntgen-orvosok 1927 előtt
- Rtg-besugárzással kezelt betegek (pl. spondylarthrosis)
- Egyes nukleáris balesetek sérültjei
- Hirosima- Nagaszaki túlélői (több, mint 200 ezer ember!)

**Ennek a kockázata sokkal biztosabban ismert, mint más ipari tevékenységé!**

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 23

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

### Természetes sugárzási háttér

**Természetes eredetű sugárterhelés**

**Természetes eredetű átlagos dózisterhelés:**  
**2,4 mSv/év = 0,0024 Sv évente**

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 24

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

**Mesterséges eredetű sugárterhelés**

**Forrásai:**

- Orvosi eredetű
- Nukleáris kísérleti robbantások
- Ipari, mezőgazdasági, ... stb. (atomerőművek kibocsátásai)
- Munkahelyi sugárterhelés (sugárveszélyes helyen dolgozók)
- Atomenergetika hulladékai

**A föld lakosságának sugárterhelése**

Mesterséges eredetű: 32%  
Természetes eredetű: 68%

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 25

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

**Mesterséges eredetű terhelés**

1: Orvosi eredetű sugárterhelés	95%
2: Nukleáris robbantások hatása	1,85%
3: Különböző sugárforrások hatása	1,55%
4: Sugárveszélyes munkahelyen dolgozók	0,35%
5: Atomenergetika hulladékainak hatása	0,5%

**Atomsorompó Egyezmény**

**Példa:** nukleáris robbantások, és az Atomsorompó Egyezmény hatása a fogak radioaktív stroncium tartalmára:

Stroncium-aktívitás koncentráció, mBq/gCa  
A fogzás éve

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 26

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

**Kommunikáció, az ismeretközlők felelőssége**

Csernobil hatása Magyarországon:  
Többlet-dózis (mérési adat): **összesen ~0,2 mSv 30 év alatt**  
= 0,0002 Sv 30 év alatt.  
Számítás: többlet rák valószínűsége: 0,0002·0,056 ~ 0,00001

**Kommunikáció (1):**  
„30 év alatt annyi, mint egy hónap alatt a természetes háttérből”

**Kommunikáció (2):**  
„A többlet-kockázat annyi, mint összesen 1 cigarettáé, vagy 60 km autózásé...”

**Kommunikáció (3):**  
„A csernobili atomosok 100 magyar embert öltek meg!”  
(mivel 0,00001·10 millió = 100 )

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 27

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**

**Köszönöm megtisztelő figyelmüket!**

2021. október 22-25. 63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, Vác 28