

*Mérési jegyzőkönyv:*

# Sugárvédelmi és dozimetriai gyakorlatok

Rakya Péter

mérőtársak: Mezei Márk és Pósfai Márton

mérés időpontja: 2007. április 26.  
leadás időpontja: 2007. május 9.

*Mérésvezető:*  
Bornemisza Györgyné  
Pávó Gyula



# 1. Bevezetés

A mérés során az egyik legelterjedtebb dózismérési eljárással, a film-doziméter szűrőanalízisével ismerkedtünk meg. Ezzel párhuzamosan egy szobában lévő radon aktivitását is mértük: egy szivattyúval levegőt vezettünk át egy szűrőn, melyen a levegőben lévő aeroszolok egy része megtapadt együtt az aeroszolokra kondenzálódott bomlástermékkel. **A filmek kalibrációjakor a  $^{60}\text{Co}$  sorozatból az 1 – 6 pontokat használtam, az ismeretlen filmek közül pedig a 471-est és a 485-öst értékeltem ki.**

## 2. Film-dozimetria

### 2.1. Bevezetés

A feladat két részből állt: először a rendelkezésünkre bocsátott dózis-feketedés és energiasorozat kimérésével kalibráltuk a mérőskáláinkat, majd ennek segítségével ismeretlen filmek dózisértékét és besugárzási energiáját határoztuk meg. A módszerünk a filmek feketedésének mérése volt: egy fényforrással átvilágítottunk a filmek különböző szűrők árnyékolásával besugárzott részein. Az átengedett fényt egy fotométerrel mértük. Minél több sugárzás érte a film vizsgált részét, annál feketébb, azaz annál kevesebb fényt enged át. Vagyis az átengedett fény mérésével jellemezhetjük a filmet ért sugárzást. A mérés során 1800 lux megvilágítást alkalmaztunk. Ez talán egy kicsit nagy fényerősség volt, a mérés eredményét a filmek telítődési folyamatai könnyen befolyásolhatják. A feketedést az alábbi összefüggés adja meg:

$$S = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (1)$$

ahol  $I_0$  a fátyol-fimen átjutó fény intenzitása,  $I$  pedig a film megvilágított részén átjutó intenzitás. Az alábbi táblázat a fátyol-fimen átjutó fény intenzitásának mért értékeit szemlélteti:

| A fátyol-film intenzitása [lux] |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|
| 974.00                          | 997.00 | 982.00 |
| 961.00                          | 998.00 | 982.00 |
| 954.00                          | 997.00 | 979.00 |
| 971.00                          | 996.00 | 983.00 |
| 972.00                          | 999.00 | 985.00 |

Ebből:

$$I_0 = (982 \pm 14) \text{ lux}$$

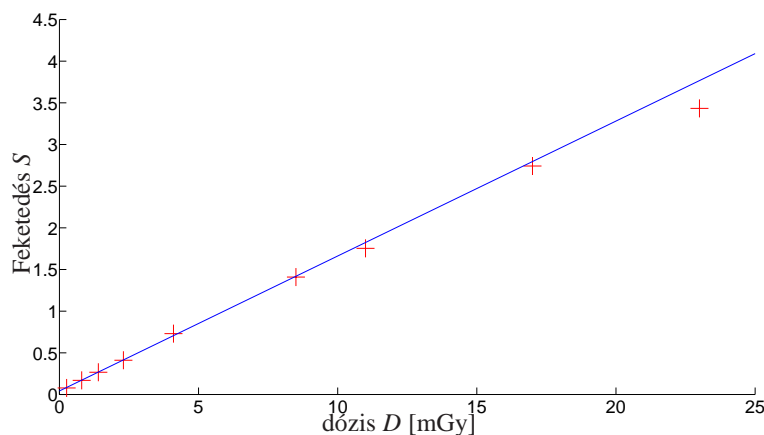
adódik. Az intenzitás hibája a statisztikus szórással becsülhető. Az értékeket a mérés során „véletlenszerű időpillanatokban”, vettük fel. A kis szórást arra utal, hogy a mérés során a fényforrás intenzitása állandónak vehető.

## 2.2. A dózis-feketedés sorozat

A filmek egyes részei három fajta szűrővel voltak a besugárzás során árnyékolva: plasztik (*Pl*), durál (*Du*) és ón-ólom (*SnPb*) szűrők.  $^{60}\text{Co}$  forrással ismert dózisokkal besugárzott filmek feketedését megmérve mindhárom szűrőre meghatároztuk a feketedést ( $S(D)$ ). Az átengedett fény megvilágítását az összes filmre az alábbi táblázat szemlélteti:

| film száma | dózis [mGy] | <i>Pl</i> szűrő | <i>Du</i> szűrő | <i>SnPb</i> szűrő | besugárzás energiája [keV] |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| 321        | 0.26        | 908.00          | 908.00          | 929.00            | 1250                       |
| 322        | 0.80        | 829.00          | 822.00          | 841.00            | 1250                       |
| 323        | 1.40        | 752.00          | 759.00          | 753.00            | 1250                       |
| 324        | 2.30        | 651.00          | 685.00          | 678.00            | 1250                       |
| 325        | 4.10        | 473.00          | 485.00          | 475.00            | 1250                       |
| 326        | 8.50        | 240.00          | 274.00          | 264.00            | 1250                       |
| 327        | 11.00       | 170.00          | 186.00          | 171.00            | 1250                       |
| 328        | 17.00       | 63.30           | 83.20           | 82.30             | 1250                       |
| 330        | 40.00       | 3.64            | 5.59            | 4.99              | 1250                       |

A  $^{60}\text{Co}$  bomlása során két közeli energiájú foton keletkezik (1173 keV és 1333 keV), ezeket egy effektív energiájú fotonként vesszük figyelembe (1250 keV). Az (1) összefüggés segítségével meghatároztam az egyes feketedés értékeket. A számolt adatok a mellékelt táblázatban szerepelnek. Az egyes szűrők vonatkozó kalibrációkat egyenesek illesztésével határoztuk meg. Az illesztéseket az 1., 2. és 3. ábrák szemléltetik. Az illesztett egyenesek egyenletei:

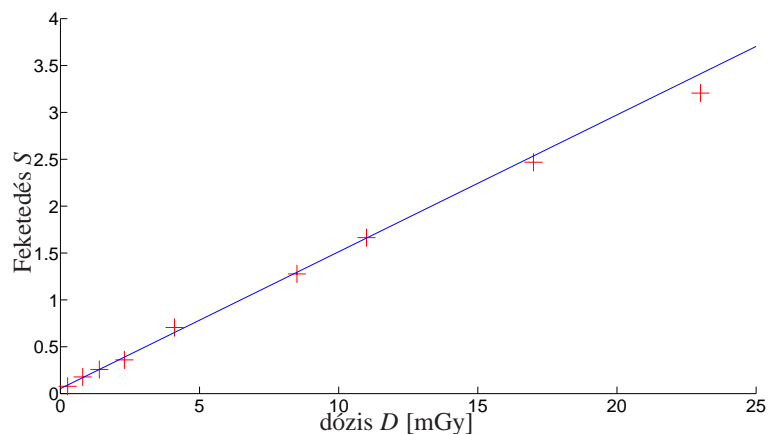


1. ábra. A dózis-feketedés görbe *Pl* szűrő esetén és az 1-6. pontokra való illesztés.

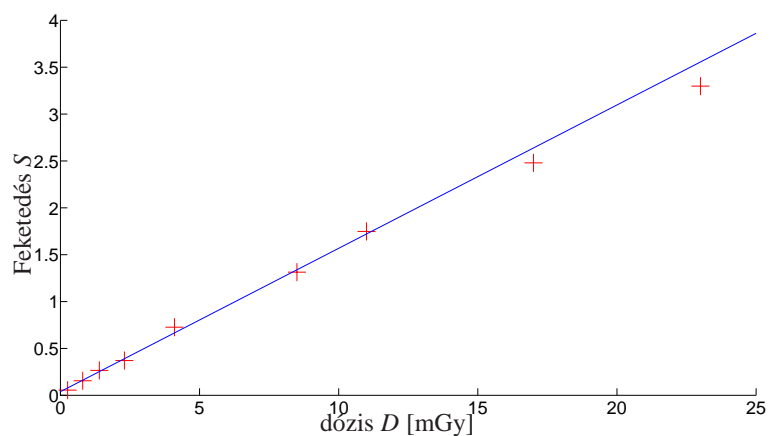
$$\textit{Pl} \text{ szűrő: } S = aD + b \quad \text{ahol: } a = (16.2 \pm 0.6)10^{-2} \text{ mGy}^{-1} \quad b = 0.04 \pm 0.02 \quad (2)$$

$$\textit{Du} \text{ szűrő: } S = aD + b \quad \text{ahol: } a = (15 \pm 1)10^{-2} \text{ mGy}^{-1} \quad b = 0.05 \pm 0.05 \quad (3)$$

$$\textit{SnPb} \text{ szűrő: } S = aD + b \quad \text{ahol: } a = (15.0 \pm 1.5)10^{-2} \text{ mGy}^{-1} \quad b = 0.03 \pm 0.06 \quad (4)$$



2. ábra. A dózis-feketedés görbe *Du* szűrő esetén és az 1-6. pontokra való illesztés.



3. ábra. A dózis-feketedés görbe *SnPb* szűrő esetén és az 1-6. pontokra való illesztés.

### 2.3. Az energia sorozat

A mérés kiértékeléséhez bevezetjük a  $D^*$  fogalmát.  $D^*$  az a  $^{60}\text{Co}$  dózis, amely az adott film adott szűrője alatt ugyanakkora feketedést hozna létre, mint az eredeti besugárzás. Az energiasorozat filmjeire az átengedett megvilágításból kiszámoltam az  $S$  feketedést. Ezeket az értékeket behelyettesíttem az előző szakaszban meghatározott kalibrációs (lineáris) összefüggésekbe, így kiszámoltam a  $D^*$  értékeit az egyes filmekre és szűrőkre. A fotométerrel mért értékeket az alábbi táblázat szemlélteti:

| film száma | dózis [mGy] | <i>Pl</i> szűrő | <i>Du</i> szűrő | <i>SnPb</i> szűrő | besugárzás energiája [keV] |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| 470        | 0.40        | 266.00          | 469.00          | 963.00            | 21                         |
| 463        | 0.40        | 170.00          | 218.00          | 953.00            | 38                         |
| 456        | 0.40        | 230.00          | 246.00          | 880.00            | 64                         |
| 443        | 0.75        | 183.00          | 193.00          | 805.00            | 92                         |
| 441        | 0.75        | 488.00          | 506.00          | 812.00            | 123                        |
| 326        | 8.50        | 239.00          | 272.00          | 262.00            | 1250                       |

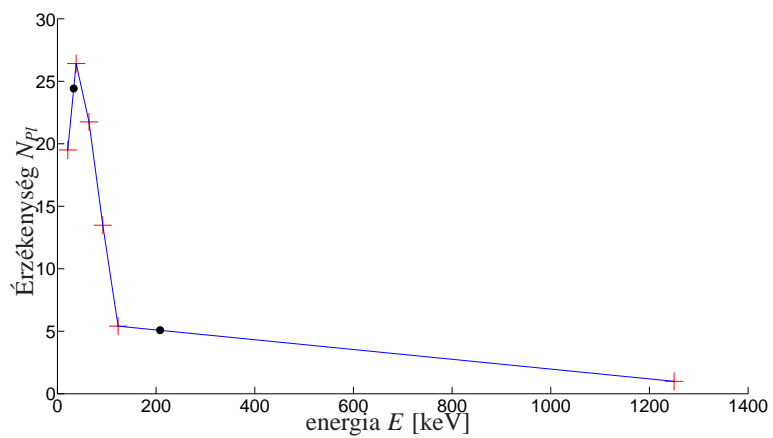
A számított feketedés- és  $D^*$  értékeket a mellékelt táblázat szemlélteti. Hogy tovább haladhassunk a kiértékeléssel, bevezetünk még két mennyiséget: a relatív érzékenységet és a kontrasztkülönbséget. A relatív érzékenység definíciója:

$$N_{Pl} = \frac{D_{Pl}^*}{D}(E) \quad N_D = \frac{D_D^*}{D}(E) \quad N_{S_{n+Pb}} = \frac{D_{S_{n+Pb}}^*}{D}(E) . \quad (5)$$

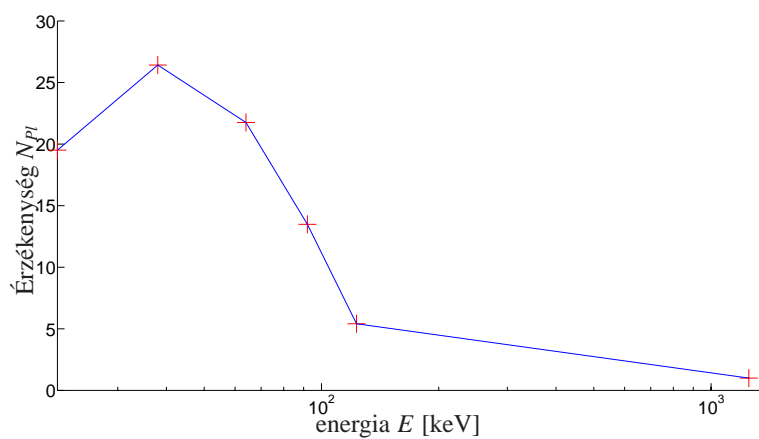
A kontrasztkülönbséget pedig az alábbi módon definiáljuk:

$$K_1 = \frac{D_{Pl}^*}{D_D^*}(E) \quad K_2 = \frac{D_D^*}{D_{S_{n+Pb}}^*}(E) . \quad (6)$$

A érzékenységek és kontrasztkülönbségek számolt értékei a mellékelt táblázatban láthatóak. Az egyes mennyiségeket a 4., 5. és 6. ábrák, illetve a 7. és 8. ábrák szemléltetik.

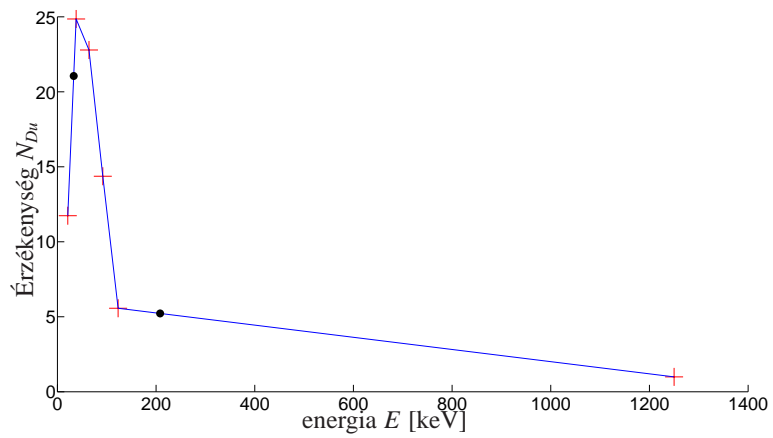


(a) Érzékenység lineáris skálán. A fekete pontok az általam kiértékelendő ismeretlen filmeket jelentik.

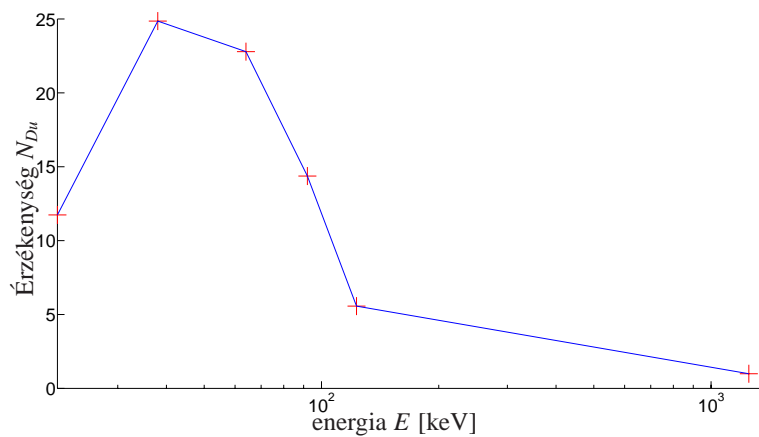


(b) Érzékenység logaritmus skálán.

4. ábra. Érzékenység a  $Pl$  szűrő esetén.



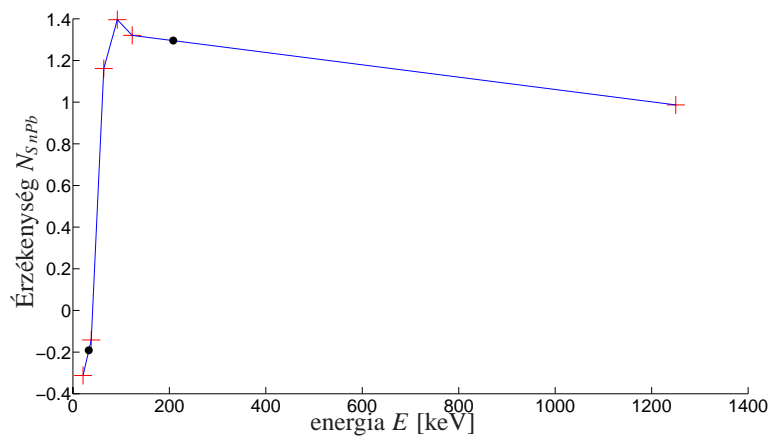
(a) Érzékenység lineáris skálán. A fekete pontok az általam kiértékelendő ismeretlen filmeket jelentik.



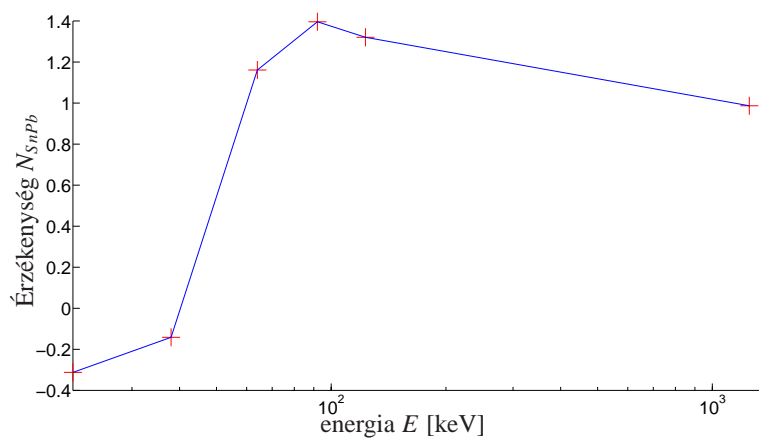
(b) Érzékenység logaritmus skálán.

5. ábra. Érzékenység a  $Du$  szűrő esetén.



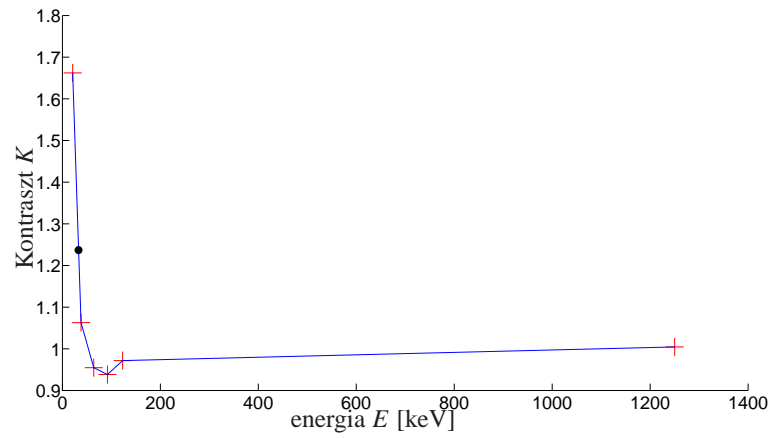


(a) Érzékenység lineáris skálán. A fekete pontok az általam kiértékelendő ismeretlen filmeket jelentik.

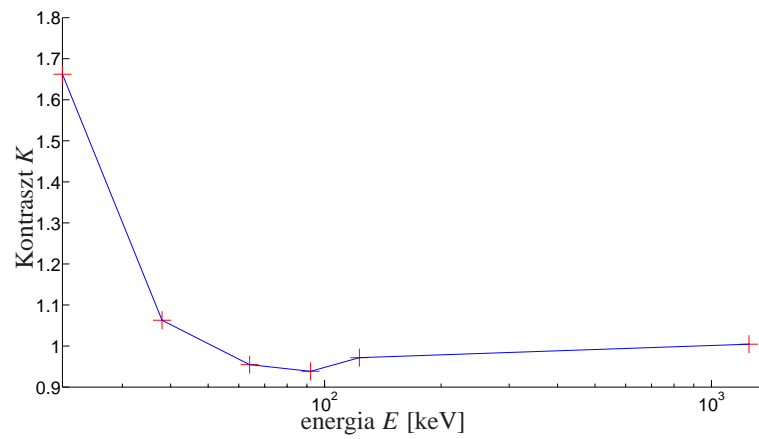


(b) Érzékenység logaritmus skálán.

6. ábra. Érzékenység a  $SnPb$  szűrő esetén.

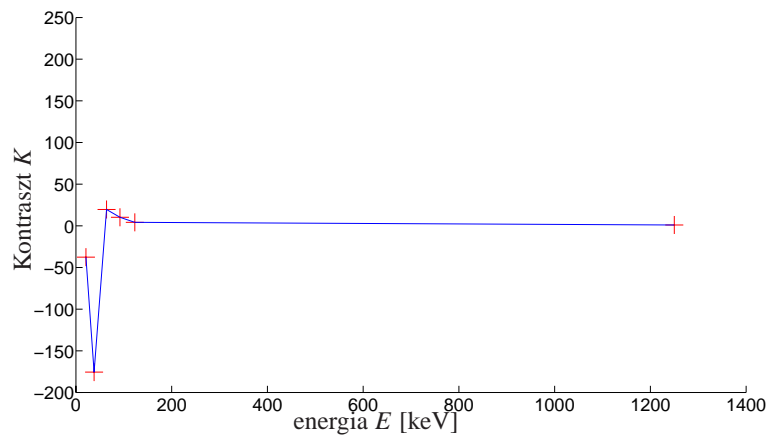


(a) Kontraszt lineáris skálán. A fekete pontok az általam kiértékelendő ismeretlen filmeket jelentik.

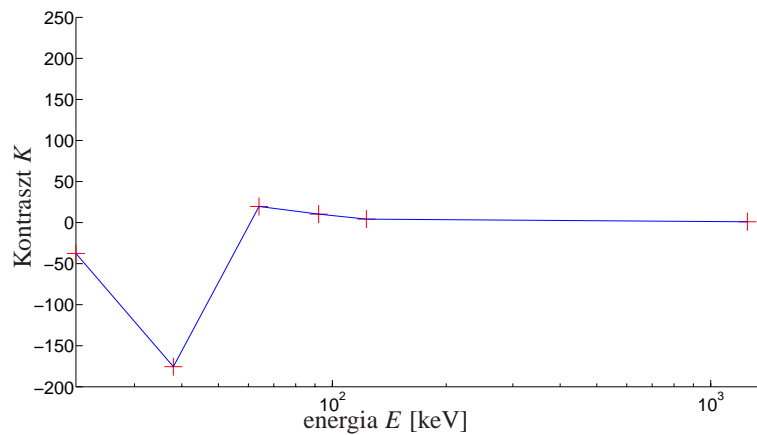


(b) Kontraszt logaritmus skálán.

7. ábra. Kontraszt a  $Pl - Du$  szűrő esetén.



(a) Kontraszt lineáris skálán. A fekete pontok az általam kiértékelendő ismeretlen filmeket jelentik.



(b) Kontraszt logaritmus skálán.

8. ábra. Kontraszt a  $Du - SnPb$  szűrő esetén.

## 2.4. Az ismeretlen filmek

Az ismeretlen filmek kiértékelésénél lineáris interpolációt használtam. A mérési eljárás teljesen analóg az előzőekkel: Megmértük az egyes filmek áteresztett megvilágítását, majd ezekből feketedést,  $D^*$ -t, érzékenységeket és kontrasztkülönbségeket ( $K_1$  és  $K_2$ ) számoltam. A mért megvilágításokat az alábbi táblázat szemlélteti:

| film száma | Pl szűrő | Du szűrő | SnPb szűrő |
|------------|----------|----------|------------|
| 500        | 52.50    | 191.40   | 973.00     |
| 485        | 43.30    | 43.80    | 422.00     |
| 471        | 39.10    | 91.60    | 935.00     |
| 475        | 45.00    | 64.00    | 651.00     |

Az ezekből az adatokból meghatározott értékeket a mellékelt táblázat szemlélteti. Mivel a kontrasztkülönbség csak az energiától függ, az ismeretlen filmeket ért sugárzás energiáit ezekből az értékekből –az energia sorozatnál számolt adatokra interpolálva– határozhatjuk meg. Ezután a relatív érzékenységeket felhasználva, meghatározhatjuk a filmeket ért dózist is. A kiértékelés során gondot jelentettek a grafikonok túlságosan lapos részei, mert ezekre a lineáris interpoláció túl nagy hibát adhat. Továbbá a jegyzet szerint az egyes szűrőpárok csak bizonyos tartományokban megbízhatóak:  $K_1$  megbízhatóságának felső határa  $45 \text{ keV}$ , míg  $K_2$  megbízhatóságának alsó határa  $45 \text{ keV}$ . (Az esetleges negatív értékeket természetesen nem tekintjük a továbbiakban mérési pontoknak. Ezek a negatív értékek abból adódhatnak, hogy a fátolyfilmeket nem takarta a szűrőket tartalmazó tok.) A dózis meghatározásakor az érzékenységeket használhatjuk. Mivel ezek számolásakor fel kell használnunk az energiaértékeket, csak azokat a számolt dózisértékeket fogadjuk el megbízhatónak, melyeket megbízható energiaértékekből számítottuk ki. A számolt értékeket a mellékelt táblázat szemlélteti. Benne kézzel jelöltem azokat az értékeket, melyek nem megbízhatóak. Én a számolások során a 471-es és 485-ös filmeket értékeltem ki. A rájuk vonatkozó eredmények:

- 485-es film  $E = 123 \text{ keV}$ ,  $D = 3.9 (\pm 0.1) \text{ mGy}$ ,
- 471-ös film  $E = 33.1 \text{ keV}$ ,  $D = 0.78 (\pm 0.03) \text{ mGy}$ .

Az értékekben jelölt hibák csak arra utalnak, hogy az egyes szűrőkre meghatározott dózisos mennyire térnek el egymástól, nincs releváns jelentésük. A filmeket viselő dolgozók által kapott dózist könnyen kiszámolhatjuk, felhasználva, hogy az egyenérték dózis számolásakor az alkalmazott súlyozótényező fotonok és elektronok esetén 1:

$$H = \frac{11}{2} D \quad (7)$$

Ez a 471-es film esetén  $H = 4.29 \text{ mGy}$ -nek adódik, amely a sugárveszélyes munkahelyen dolgozók korlátjának csupán  $\frac{1}{5}$ -e. A 475-ös film esetén  $H = 22.22 \text{ mGy}$ . Ez az érték már eléri a dóziskorlát határát.

### 3. Radon koncentrációjának mérése

A mérés során az egyik laboratóriumi helyiség levegőjének radon-koncentrációját határoztuk meg. A szoba levegőjét egy szivattyú segítségével egy membránszűrőn szívtuk át (a lyukátmérője 0.45 mm volt). A szívási sebességet két 3 *perc*-es mérésből határoztuk meg: lemértük, hogy ez alatt a szivattyú egy gázórán mekkora térfogatot szív át. Két mérés során 0.073 m<sup>3</sup> és 0.067 m<sup>3</sup> térfogatot mértünk. Ezekből a szívás sebességére  $Q = (1.40 \pm 0.08) \text{ m}^3/\text{h}$  adódik. A szűrőn  $\sim 2.5 \text{ h}$  után az aktivitást szcintillációs detektorral mértük: 5 *perc*-es időkülönbségenként olvastuk a beütési számot. A háttérrel gyengének találtuk, 5 min alatt egyetlen beütést sem regisztráltunk. A radioaktív bomlás elméletéből:

$$A = A_0 e^{-\lambda t},$$

ahol  $A$  az aktivitás. A mi eset-nkben egzsyszerre mérjük a  $RaA$  és  $RaC$   $\alpha$  bomlását, így az előbbi összefüggés csak egyfajta effektív felezési idővel igaz. (A két izotópnak különböző a felezési ideje.) Az aktivitást az alábbi módon számíthatjuk ki az adatokból:

$$A(n) = \frac{N(n+1) - N(n)}{5 \text{ min}},$$

ahol  $N$  a beütésszámot jelenti. Az értékek hibáit az alábbi módon számolhatjuk ki:

$$\Delta A = \frac{\sqrt{N(n+1)} + \sqrt{N(n)}}{5 \text{ min}}.$$

Az aktivitások értékeit időben kettő-kettő adatfelvétel közé raktuk. A számolt értékeket az alábbi táblázat szemlélteti:

| idő [min] | aktivitás [ $\text{min}^{-1}$ ] | hiba [ $\text{min}^{-1}$ ] |
|-----------|---------------------------------|----------------------------|
| 2.5       | 109.2                           | 4.7                        |
| 7.5       | 110.8                           | 11.3                       |
| 12.5      | 96.6                            | 14.6                       |
| 17.5      | 91.2                            | 17.0                       |
| 22.5      | 78.2                            | 18.9                       |
| 27.5      | 72.6                            | 20.4                       |
| 32.5      | 69.2                            | 21.8                       |
| 37.5      | 65.8                            | 23.0                       |
| 42.5      | 59.4                            | 24.0                       |
| 47.5      | 51.0                            | 25.0                       |
| 52.5      | 53.2                            | 25.8                       |

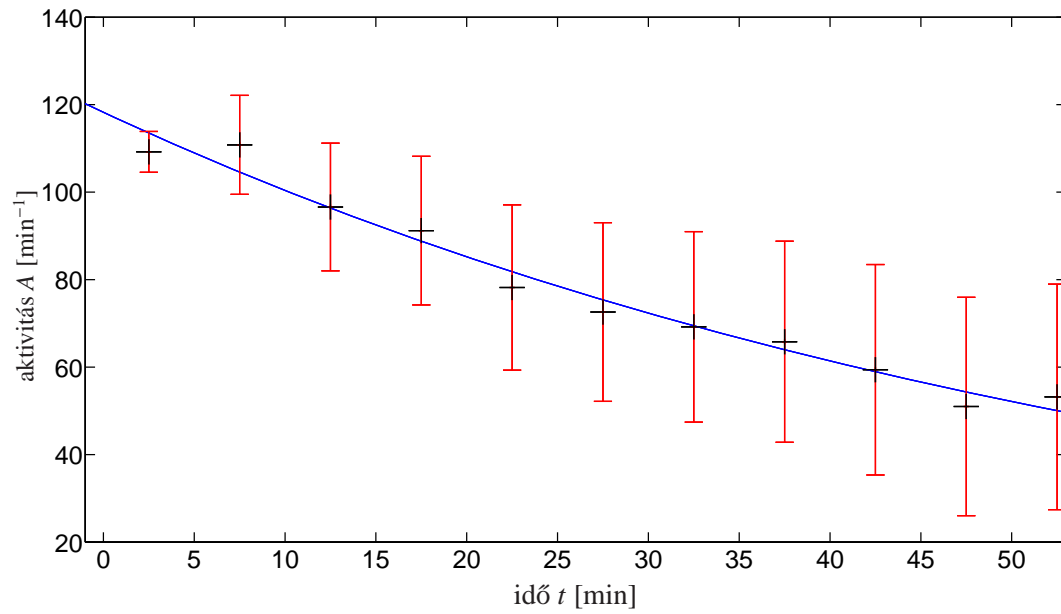
Az adatsorra a bomlási törvény által előírt függvényt illesztünk. Az illesztést a 9. ábra szemlélteti. Az illesztésből:

$$A_0 = (118 \pm 5) \text{ min}^{-1} \quad \lambda = (2.7 \pm 0.3) 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

adódik. A felezési idő ekkor  $T = (42 \pm 5) \text{ min}$ . A minta aktivitása kezdetben (a szűrő kivételének időpontja  $t = -6 \text{ min}$ ):  $A(-6 \text{ min}) = (130 \pm 12) \text{ min}^{-1}$ . Ennek a hibáját az alábbi összefüggéssel számoltam (Gauss-hibaterjedés):

$$\Delta A = \Delta A_0 e^{-\lambda t} + \Delta \lambda A_0 t e^{-\lambda t} + \Delta t A_0 \lambda e^{-\lambda t} = A \left( \frac{\Delta A_0}{A_0} + \Delta \lambda t + \Delta t \lambda \right) \quad (8)$$

9. ábra. A radon aktivitásának időfüggése.



A jegyzetben lévő képletbe helyettesítve ( $\mu = 0,98$ ,  $\varepsilon = 0,27$ ) a szoba radon-koncentrációja:

$$A_{Rn} = (4,6 \pm 0,8) \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \quad (9)$$

Ez az érték alacsony a sugárveszélyes munkahelyen dolgozók számára meghatározott egészségügyi határértékhez viszonyítva ( $1100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ ).