# *Jegyzőkönyv*

# Optikai alapmérések

## Mérési adatok:

Mérést végezte: Takács Roxána
Mérőtárs neve: Graning Sára (1. mérőpár)
Mérés időpontja: 2019.03.07.
Jegyzőkönyv leadásának dátuma: 2019.03.14.

---

## A mérés célja:

Kísérleti úton vizsgálni a fény különféle jelenségeit, mint például a fénytörés, teljes visszaverődés, elhajlás résen és diffrakció. A fénytörés esetében a törésmutató meghatározása a Snellius-Descartes-törvény alapján, gyűjtőlencsék fókusztávolságának és szórólencsék képalkotásának vizsgálata.

## A mérőeszközök

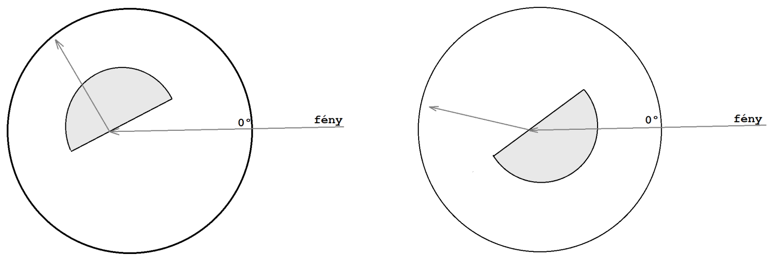
- Kör alakú tábla szög beosztással
- Félkör alakú műanyag lencse
- Lézer
- 60 fokos prizma
- Soksugaras fényforrás
- optikai pad
- Különböző fókusztávolságú szóró- és gyűjtőlencsék
- Ernyő
- Kereszt alakú fényforrás
- Réseket tartalmazó lemez
- Sín
- Vonalzó

## Geometriai optika

### 1. Műanyag-levegő határfelület törésmutatójának meghatározása a törési törvény alapján

#### A mérés rövid leírása:

A mérés során a beesési és törési szögek között lévő összefüggést igyekeztem bebizonyíani. Két irányban vizsgáltam a jelenséget: optikailag ritkább közegből sűrűbbe hatoló fénysugár esetén (levegőből műanyagba), majd fordítva (műanyagból levegőbe). Az így kapott értékekből megállapítottam a törésmutatót mindkét esetben, ebből már ki tudtam számítani a teljes visszaverődés határszögét, amit méréssel ellenőriztem is.




**Mérési adatok**

Először a ritkább közegből sűrűbbe hatoló fénysugarat vizsgáltam. A méréshez használt mágneses lézert az optikai padra helyeztem, majd úgy állítottam be a szög beosztással rendelkező kör alakú táblát, hogy a lézer fénye éppen a 0 °-ba essen. Ez utána a táblára fektettem a félkör alakú műanyag lencsét úgy, hogy a fény először a síkfelületen a félkör átmérőjének középpontjában lépett be a lencsébe. Mivel a fény minden esetben merőleges érkezik az íves felületre, ezért a közegből kifelé haladva már nem törik meg. Ezért a jelenséget tekinthetjük úgy, hogy a fény optikailag sűrűbb közegben terjedt ezután tovább a mérési pontig. A beesési szöget 10 °-onként 0 °-tól 80 °-ig növeltem, és az így leolvasott törési szögeket írtam be a táblázatba.

| Levegő → Műanyag | |
|---|---|
| Beesési szög [$^o$] | Törési szög [$^o$] |
| 0 | 0,0 |
| 10 | 7,0 |
| 20 | 13,5 |
| 30 | 20,0 |
| 40 | 26,0 |
| 50 | 31,0 |
| 60 | 35,5 |
| 70 | 39,0 |
| 80 | 41,5 |

Ezután a másik irányba is elvégeztem a mérést, amikor a fény sűrűbb anyagból halad ritkább felé. Ebben esetben a fény az íves felületen lépett be a lencsébe, és a síkfelületen tört meg. A beesési szöget 10 °-tól 40 °-ig 5 °-onként növeltem, és az így leolvasott törési szögeket írtam be a táblázatba.

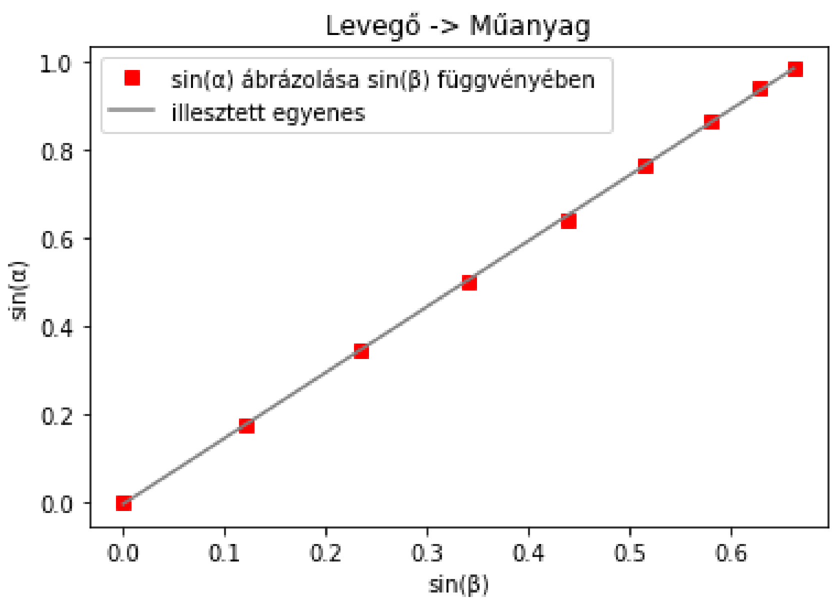
| Műanyag $\rightarrow$ Levegő | |
|---|---|
| Beesési szög [$^o$] | Törési szög [$^o$] |
| 0 | 0,0 |
| 10 | 15,5 |
| 15 | 23,0 |
| 20 | 31,0 |
| 25 | 39,5 |
| 30 | 48,5 |
| 35 | 59,0 |
| 40 | 75,0 |

**A mérés kiértékelése:**

A beesési szög és a visszaverődési szög szinuszának hányadosából kiszámíthatjuk a második közegnek az első közegre vonatkoztatott törésmutatóját:

$$\frac{sin(\alpha)}{sin(\beta)} = n_{2,1}$$

A beesési szög szinuszát ábrázoltam a törési szög szinuszának függvényében, és egyenest illesztettem a kapott pontokra.




A mért értékeket felírhatjuk a $sin(\alpha) = n_{2,1} \cdot sin(\beta) + C$ alakban. Ábrázoltam a függvényt és illesztettem rá egyenest, aminek az egyenlete:

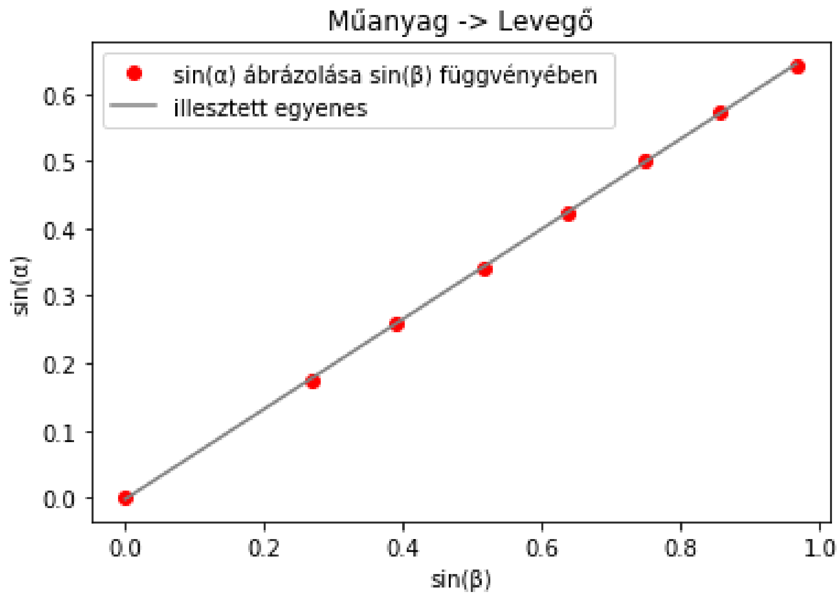
$$sin(\alpha) = 1.49647 \cdot sin(\beta) - 0.00640255$$

Az illesztés alapján tehát a műanyag levegőre vonatkoztatott törésmutatója:

$$n_{2,1} = 1.49647$$

Fordított esetben is illesztettem egyenest a kapott pontokra.
A mért értékeket itt is felírhatjuk a $sin(\alpha) = n_{1,2} \cdot sin(\beta) + C$ alakban. Ábrázoltam a függvényt és illesztettem rá egyenest, aminek az egyenlete:

$$sin(\alpha) = 0.66909843 \cdot sin(\beta) - 0.00224174$$




Az illesztés alapján tehát a műanyag levegőre vonatkoztatott törésmutatója:

$$n_{1,2} = 0.66909$$

Az eredmény összhangban van az előző méréssel, mert az alapján felírható az összefüggés $n_{1,2} = \frac{1}{n_{2,1}} = 0.6682$ és az eltérés kevesebb, mint 1 %.
A mérési hiba oka a szögek leolvasásának pontatlanságából származik.

**Határszög mérése:**

A mérés során 42°-ot kaptam a határszögre. Ezt megkaphatjuk a megállapított törésmutató alapján is, ha megszorozzuk a törésmutatót a határszöggel egyet kell kapnunk. Ez alapján felírhatjuk, hogy $\sin(\alpha_{hatarszög}) \cdot n_{1,2} = 1$, azaz $\alpha_{hatarszög} = \arcsin(n_{1,2}) = 41,996^o$. Ebből látszik, hogy a mérés egészen pontosnak bizonyult ebben az esetben is, mivel a számolt érték a leolvasási hibahatáron belül van.

## 2. Közeghatáron történő visszaverődés és törés vizsgálata 60 fokos prizma segítségével

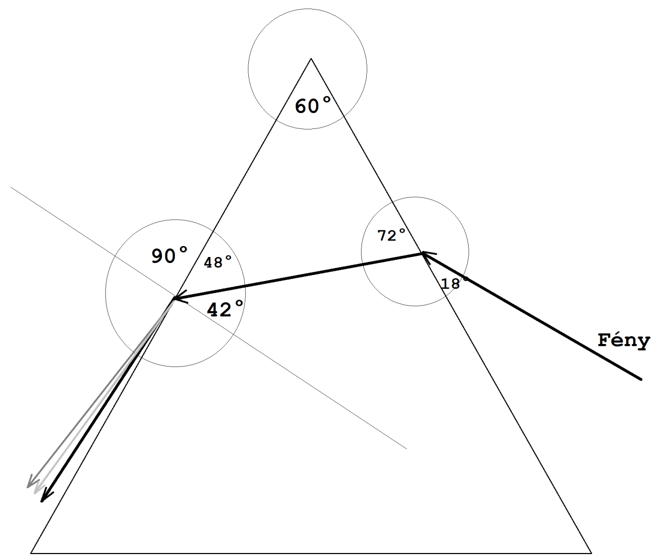
**A mérés rövid leírása:**

Közeghatárhoz érve a fénynyaláb egy része visszaverődik, másik része megtörik. Ebben a kísérletben ez a két jelenség egyidejűleg megfigyelhető. A mérés lényege, hogy fehér párhuzamos fénysugarakat irányítunk egy háromszögalakú prizmára. A prizma másik oldalán kilépő fénysugarak eltérültek, és látszott, hogy a különböző színűkomponenseik különböző mértékben törtek meg (a piros legkevésbé, a lila leginkább).

**Mérési adatok:**

| 60°-os prizma | |
|---|---|
| Elfordulás szöge | 3 |

**A mérés kiértékelése:**




A prizmát kezdetben úgy állítottam be, hogy az egyik oldala párhuzamosan legyen a fénysugarakkal. Amikor ehhez az állapothoz képest 3 fokkal elforgattam már nem léptek ki a fénynyalábok a prizma túlsó oldalán.
A határszöget geometriailag is kiszámoltam, hogy ezzel is ellenőrizzem a kísérlet pontosságát. A háromszög belsejében a falra érkező fény beesési szöge $42^o$ a teljes visszaverődés esetében (előző mérésből kapott érték). Az oldalhoz mért szöge ebből számolva tehát $90^o - 42^o = 48^o$. A háromszög belső szögeinek összegéből kiszámoltam, hogy a prizmába belépéskor a prizma belsejében a fénynyaláb az oldalhoz mérve $72^o$-os szögben van, tehát a törési szög itt $90^o - 72^o = 18^o$. A beesési szöget megkaphatjuk a következő összefüggésből:

$$\alpha = \arcsin(\frac{\sin(18^o)}{n_{2,1}}) = 27,62^o$$

Azaz $30 - 27,62 = 2,38$ elfordulást kellett volna mérnem. Ebből látszik, hogy sikerült jól leolvasnom a határszöget, hiszen ez alapján annak 2 és 3 között kellett lennie, viszont a táblán csak az egész fokok voltak feltüntetve.

## 3. Gyűjtőlencse fókusztávolságának meghatározása

### A mérés rövid leírása:

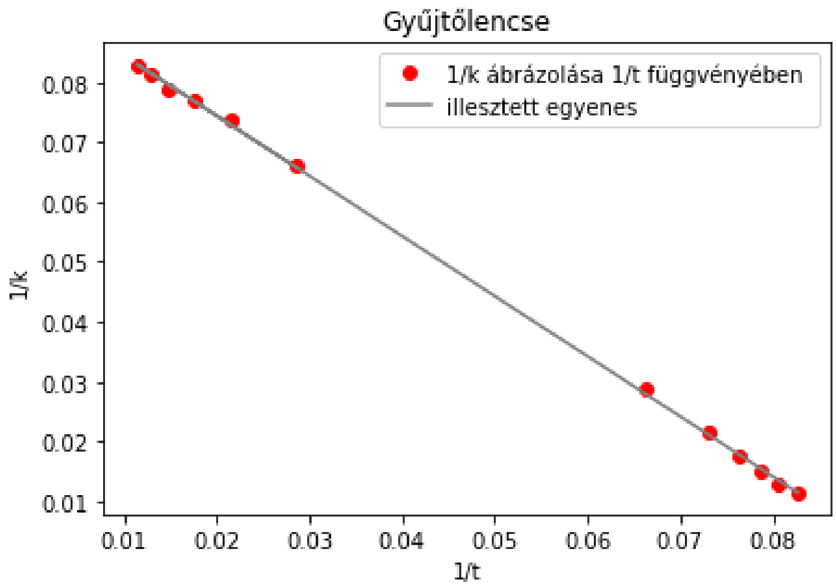
A mérés célja a gyűjtőlencse fókusztávolságának megállapítása a leképezési törvény ismeretében. Megkerestem a gyűjtőlencsével leképezett éles képet, mind a tárgyhoz közeli, mind a képhez közeli állapotban és ezeknek a távolságát használtam fel a kiértékelés során.

### Mérési adatok:

Az ernyő és a tárgy távolságát (d) 10 cm-enként, 50 cm-ig csökkentve megismételtem a mérést. A $k_1$ és $k_2$ a lencse és a kép távolságát, a $t_1$ és $t_2$ pedig a tárgy és a kép távolságát jelöli.

| d [cm] | $k_1$ [cm] | $t_1$ [cm] | $k_2$ [cm] | $t_2$ [cm] |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 87,9 | 12,1 | 12,1 | 87,9 |
| 90 | 77,6 | 12,4 | 12,3 | 77,7 |
| 80 | 67,3 | 12,7 | 12,7 | 67,3 |
| 70 | 56,9 | 13,1 | 13,0 | 57,0 |
| 60 | 46,3 | 13,7 | 13,6 | 46,4 |
| 50 | 34,9 | 15,1 | 15,1 | 34,9 |

**A mérés kiértékelése:**




A leképezési törvény:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t} \tag{1}$$

Ezt átalakítva felírhatjuk, hogy:

$$\frac{1}{k} = -\frac{1}{t} + \frac{1}{f}$$

Ábrázoltam a képtől való távolság reciprokának függvényében a tárgytól való távolság reciprokát. A pontokra illesztett egyenes egyenlete:

$$y = -1.00463407 \cdot x + 0.0944471$$

Ebből kiszámoltam a tengelymetszeteket, amelyek egyenlőek a fókustávolság reciprokával:

$$\frac{1}{f_x} = 0.09401144\ \frac{1}{m}$$

$$\textit{és}$$

$$\frac{1}{f_y} = 0.09444711\ \frac{1}{m}$$

Ebből azt kaptuk, hogy a mért értékeink szerint a lencse fókusztávolsága az y tengely metszetből számolva $10,58\ cm$, az x tengely metszetéből számolva pedig $10,63\ cm$.A kapott értékek $f_x$-re és $f_y$-ra egymástól csak alig egy milliméterre térnek el , viszont az állítólagos fókusztávhoz képest (ami 10 $cm$ volt) több, mint fél centivel többet mutatnak.

**Hibaforrások:**

A pontatlanság származhatott:

- a hosszúság leolvasásának pontatlanságából
- a sinen a lencsét nehéz volt mozgatni, ezért az apró korrigálásokra nem mindig volt lehetőség
- nem lehetett könnyen eldönteni, hogy pontosan mikor a legélesebb a kép

## 4. Szórólencse képalkotása

**A mérés rövid leírása:**

A mérés során egy szórólencse ($-15$ $cm$ fókusztávolságú) képtávolságát kell megállapítanom. Mivel a szórólencse ernyővel fel nem fogható virtuális képet alkot a tárgyról, ezért rajta keresztül lehetett csak megnézni, ahol egy egyenes állású kicsinyített képet láttam. A virtuális kép helye, a virtuális képtávolság így nem állapítható meg. Ezért a tárgytávolság megmérése után a 20 $cm$-es fókusztávolságú gyűjtőlencsét is elhelyeztem az optikai padon, ezután mintha az ez által leképezett tárgy a szórólencse virtuális képe lenne, az ernyőt mozgatva megkerestem az éles képet. Majd a szórólencsét elvettem és azt tapasztaltam, hogy a kép megnőtt,de ismét életlenné vált. Most a tárgyat mozgatva kerestem meg újból az éles helyzetet.

**Mérési adatok:**

| | $[cm]$ |
|---|---|
| Szórólencse helye: | 30,0 |
| Fényforrás/tárgy helye: | 10,0 |
| Gyűjtőlencse helye: | 65,0 |
| Ernyő helye: | 99,5 |
| Fényforrás új helye: | 21,0 |

**A mérés kiértékelése:**

Ezek szerint a szórólencse virtuális képtávolsága 9 cm volt (szórólencse helyéből kivonva a fényforrás új helyét). Ebből a leképezési törvény alapján kiszámoltam a fókusztávolságot, ami $-12,86$ $cm$ lett. Ez a megadott értékhez ($-15$ $cm$) képest körülbelül 2 cm-rel eltér.

**Hibaforrások:**

A pontatlanság származhatott:

- a hosszúság leolvasásának esetleges pontatlanságából
- a sinen a lencsét nehéz volt mozgatni, ezért az apró korrigálásokra nem mindig volt lehetőség
- nem lehetett könnyen eldönteni, hogy pontosan mikor a legélesebb a kép

# Fizikai optika

## 5. Résen való elhajlás vizsgálata

**A mérés rövid leírása:**

Amikor a fény keskeny résen halad át diffraktál, más szóval elhajlik. Az ernyőn ez sötétebb és világosabb pontok képében figyelhető meg. A feladat ennek a képnek a vizsgálata volt. Meg kellett mérni a két első és a két második kioltás között a távolságot, majd ebből ki kellett számítani a kis rés nagyságát.

**Mérési adatok:**

| r [mm] | m1 [cm] | Δm1 [cm] | m2 [cm] | Δm2 [cm] |
|---|---|---|---|---|
| 0,04 | 4,2 | 0,05 | 8,4 | 0,05 |
| 0,08 | 2,0 | 0,05 | 4,0 | 0,05 |
| 0,16 | 0,9 | 0,05 | 1,9 | 0,05 |

| Ernyőtávolság | |
|---|---|
| $L[cm]$ | 109 |
| $\Delta L[cm]$ | 0,05 |

| Hullámhossz | |
|---|---|
| $\lambda[nm]$ | 670 |

**A mérés kiértékelése:**

Ezekből az adatokból kiszámítható a résméret (a) a következő összefüggés alapján:

$$a = \frac{n\lambda D}{y} \tag{2}$$

(Ahol y a mért távolság fele, n a kioltás sorszáma középről haladva, D pedig az ernyő távolsága.)

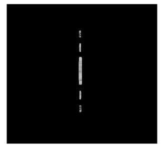
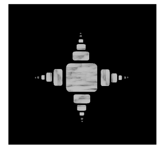
| $r = 0.04\ mm$ | | | |
|---|---|---|---|
| Kioltás sorszáma | $2y\ [cm]$ | $y\ [cm]$ | a [mm] |
| $n = 1$ | $4,2$ | $2,1$ | 0.03477 |
| $n = 2$ | $8,4$ | $4,2$ | 0.03477 |

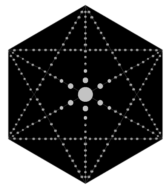
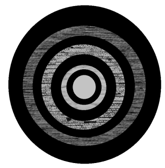
| $r = 0.08\ mm$ | | | |
|---|---|---|---|
| Kioltás sorszáma | $2y\ [cm]$ | $y\ [cm]$ | a [mm] |
| $n = 1$ | $2,0$ | $1,0$ | 0.07303 |
| $n = 2$ | $4,0$ | $2,0$ | 0.07303 |

| $r = 0.16\ mm$ | | | |
|---|---|---|---|
| Kioltás sorszáma | $2y\ [cm]$ | $y\ [cm]$ | $a\ [mm]$ |
| $n = 1$ | $0,9$ | $0,45$ | 0.16228 |
| $n = 2$ | $1,9$ | $0,95$ | 0.15374 |

A táblázatból látszik, hogy az általam kiszámolt résméretek általában kisebbek, mint a hivatalos értékek, de összességében jó eredményeket kaptam. Ahogy növeltem a résméretet, a kioltási pontok távolsága is csökkent, a résmérettel fordított arányosságban.

Vizsgáltam ezenkívül másfajta réseket is:
A négyzet alakú résnél az ernyőn egy kereszt rajzolódik ki a világos és sötét pontokból, a hatszöges alakúnál pedig az átlók irányában egy hatszöges rács alakjában elhelyezkedő színes pontok jelentek meg az ernyőn (a pontok között kioltással). A kör alakúnál befelé haladva egyre erősödő fény érkezett az ernyőre.

**Hibaforrások, Hibaszámítás:**

A mérés nem minden esetben lett pontos. Hiba származhatott a mérőműszer pontosságából, valamint a távolság leolvasásából, hiszen nem mindig lehetett pontosan megállapítani, hogy hol van a legnagyobb kioltás (emberi hiba).

A feladatban a résméretet csak képletből tudtuk kiszámolni. Ehhez a képlethez meg kellett mérnünk a kioltások távolságát és az ernyő távolságát. Mivel a résméret kiszámításához felhasználjuk ezeknek a szorzatát és mindkét értéknek van hibája a felsorolt bizonytalanságok miatt, a résméret bizonytalanságát a hibaterjedés képletével számoljuk.

$$\Delta a_i = \left| \frac{\Delta(2y)}{2y} \right| + \left| \frac{\Delta D}{D} \right|$$

$$\Delta a_1 = \frac{0.05cm}{4,2cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 12,3634 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta a_2 = \frac{0.05cm}{8,4cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 6,4110 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta a_3 = \frac{0.05cm}{2,0cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 25,4587 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta a_4 = \frac{0.05cm}{4,0cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 12.9587 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta a_5 = \frac{0.05cm}{0,9cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 56,0142 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta a_6 = \frac{0.05cm}{1,9cm} + \frac{0.05cm}{109cm} = 26,7745 \cdot 10^{-3}$$

# Diszkusszió

Az elvégzett mérésekkel és számításokkal igazoltam a kívánt összefüggéseket és tételeket. Megvizsgáltam a fény különféle jelenségeit és jó eredményeket (hibahatáron belüli) kaptam a számolásoknál.

(*Megjegyzés: Az illesztésekhez a számításokat a Python 3 scypi.optimize moduljának curve_fit függvényével végeztem, és az ábrákat a Python 3 matplotlib moduljával készítettem.*)