Fényelhajlási jelenségek vizsgálata

Klasszikus fizika laboratórium, Csütörtöki csoport

Márton Tamás

2017. november 18.

Bevezetés

A mérés során lézerfény segítségével Fresnel- és Fraunhofer-diffrakciót vizsgálunk különböző akadályokon . Először egy résen, majd két résen, utána egy hajszálon és végezetül pedig egy penge élén. A kiértékelést egy számítógéppel vezérelt detektor segítségével végeztük.

I. Mérőeszközök

- lézer
- egy rés (A jelű), kettős rés (A jelű), hajszál, penge
- mérőszalag
- detektor, számítógép, kiértékelő programok

II. Méréstleírás

II.1. Fraunhofer-diffrakció

II.1.1. Egy rés (A jelű)

Egy résen történő eltérülés esetében az intenzitáseloszlást az alábbi összefüggés adja meg:

$$I = I_0 \cdot \frac{sin^2\epsilon}{\epsilon^2},\ ahol\ \epsilon = \frac{a}{\lambda}\pi sin\alpha \tag{1}$$

Az intenzitás minimumhelyei:

$$sin\alpha_n = n\frac{\lambda}{a},\ ahol\ n = \pm 1, \pm 2, \cdots \tag{2}$$

Az α_n szög az n. minimumhely eltérüléshez tartozó szög, a a rés szélessége, λ pedig a fény hullámhossza, ami a mérésünkben $\lambda = (632.8 \pm 0.1)\ nm$. Ha a fényt a rés méretéhez képest messze, egy távoli ernyőn fogjuk fel, akkor az alábbi közelítés érvényes:

$$sin\alpha \approx tg\alpha = \frac{x}{L}, \tag{3}$$

ahol x a főmaximum középpontjától mért távolsága a minimumhelyeknek, L az ernyő és a rés közötti távolság.

A mérés során az intenzitás helyfüggését vizsgáljuk. A számítógép által vezérelt detektor segítségével grafikont kapunk, amelyen a kiértékelő programmal meghatározhatjuk a minimumhelyeket.

Az a résszélességet meghatározhatjuk, ha ábrázoljuk x_n minimumok helyeit n függvényében. Az adatokra egyenest illesztve, annak meredekségéből meghatározhatjuk a-t.

$$a = \frac{\lambda L}{m}, \tag{4}$$

ahol m az illesztett egyenes meredeksége.

II.1.2. Két rés(A jelű)

Ennél a mérésnél két a szélességű rés helyezkedik el egymástól d távolságra. A fény hullámtermészetéből adódóan a réseken átjutó fénynyalábok interferálnak. Az intenzitáseloszlást a következő képlettel adhatjuk meg:

$$I = I_0 \cdot \frac{sin^2(\pi \frac{a}{\lambda} sin\alpha)}{(\pi \frac{a}{\lambda} sin\alpha)^2} cos^2(\pi \frac{d}{\lambda} sin\alpha) \tag{5}$$

A kapott grafikonon két függvény konvolúciója látható. A szorzat első tényezőjének minimumhelyei adják az elsőrendű minimumhelyeket, melyekre egyenest illesztve megkaphatjuk a rácsszélességet.

A másodosztályú minimumok helyéből pedig a d rácstávolság fejezhető ki:

$$x_k = k^* \cdot \frac{\lambda L}{d},\ ahol\ k^* = \pm\frac{1}{2}, \pm\frac{3}{2}, \cdots \tag{6}$$

Hasonlóan, lineáris függvényt illesztve a d réstávolság meghatározható:

$$d = \frac{\lambda L}{m} \tag{7}$$

Ahol m az illesztett egyenes meredeksége.

II.1.3. Hajszál

A vékony szál éppen ott takarja el a fényt, ahol a rés átengedi, és ahol a rés eltakarja ott pedig átengedi. Ennek elméleti leírása megegyezik az *egy rés* alatt írtakkal, hiszen a Babinet-elv szerint egy alakzat komplementere által elhajlított fény intenzitáseloszlása a távoli ernyőn ugyanolyan függvénnyel írható le, mint az alakzaté, az elhajlási kép viszont különbözik. Tehát az ernyőn megjelenő kép a rés és a vékony szál esetében azonos, kivéve a rés és a szál mögötti területeket. A szálon létrejövő elhajlás tehát ugyanúgy kezelhető, mint a rés esetében. A minimumhelyekre illesztett egyenes meredekségéből a szál vastagsága meghatározható.

II.2. Fresnel-diffrakció

Ennél a mérésrésznél a Fresnel-diffrakciót vizsgáljuk, mégpedig úgy, hogy egy pengét helyezünk a fény útjába. Ezt nem tudjuk analitikusan megoldani, mivel a pontszerű fényforrás keltette fényt gömbhullámokkal kell leírni, és a féltér egészéből eredő járulékokat folytonosan összegezni. A féltér intenzitáseloszlását a következő képlet adja meg:

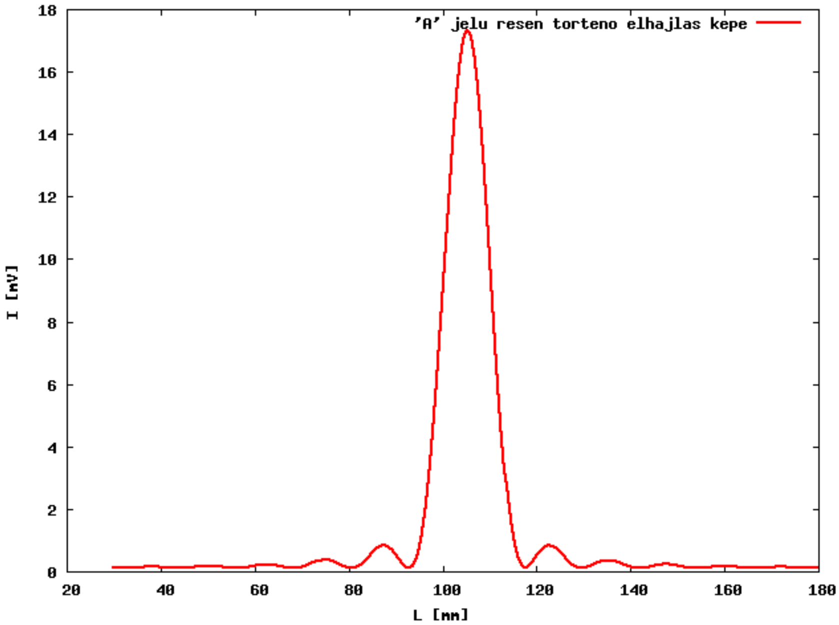
$$x = \nu \sqrt{\frac{\lambda b(a+b)}{2a}}, \tag{8}$$

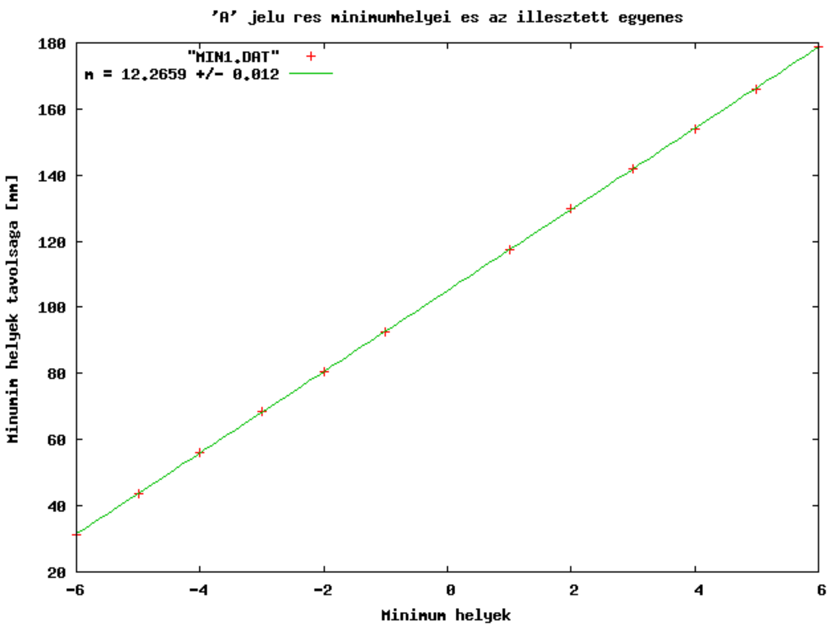
ahol x az elhajlás, b a penge és az ernyő, a pedig a penge és a lézer közötti távolság.

III. Mérési adatok és kiértékelés

III.1. Egy rés

A méréshez tartozó grafikont, mely az egy rés elhajlási képének minimumhelyeit ábrázolja a kiértékelés végén található. A látható grafikonok mindegyikét gnuplottal készítettem.





Az illesztett egyenes meredeksége:

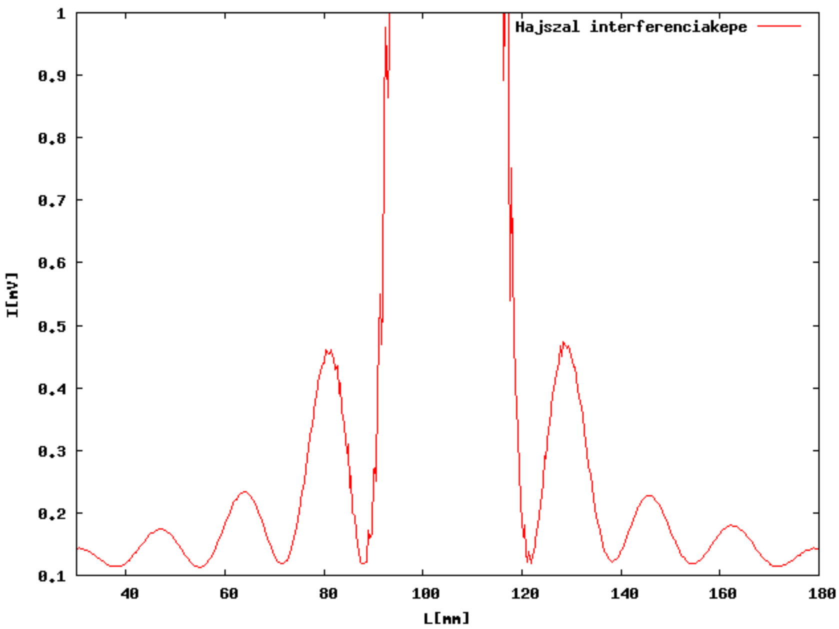
$$m = (12.266 \pm 0.01)\ mm$$

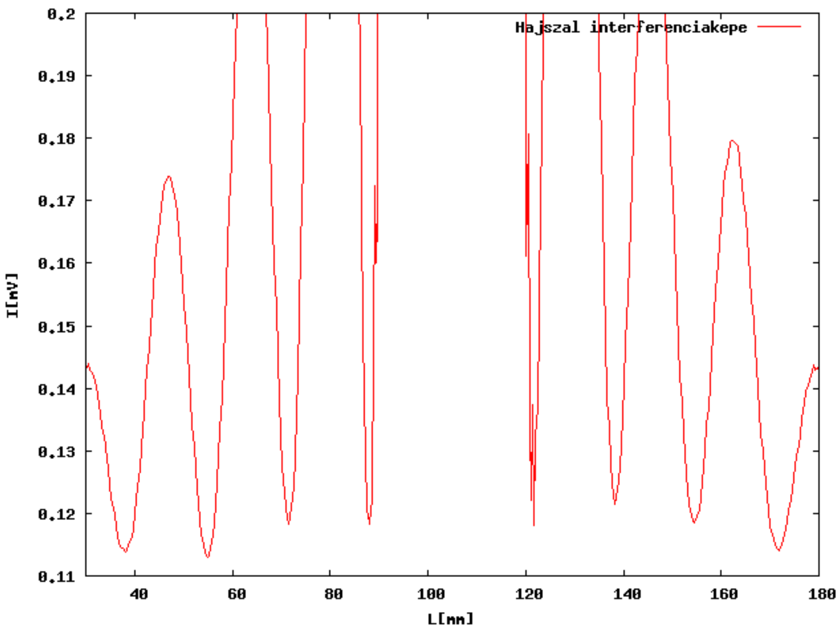
A meredekség és a mért $L = (2558 \pm 1)\ mm$ ernyőtávolság segítségével a rés szélessége:

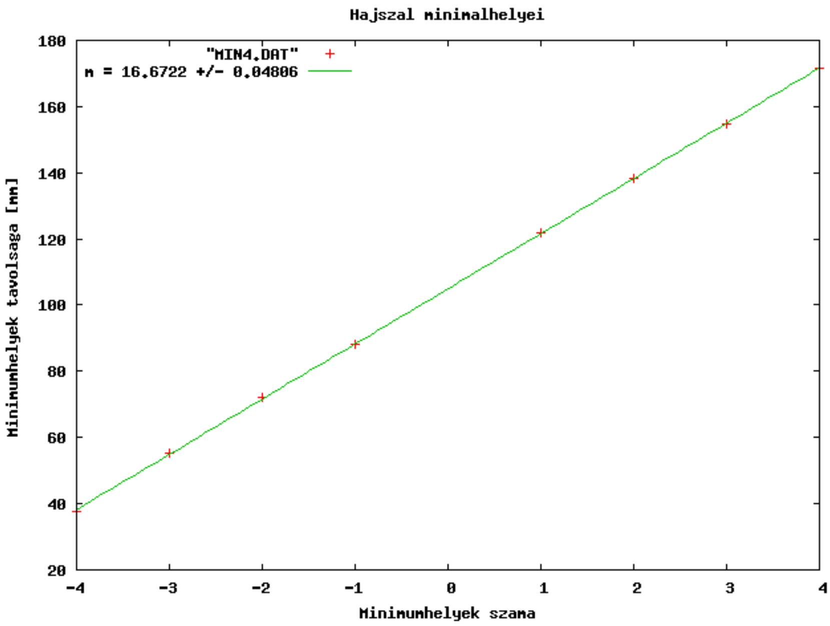
$$a = \frac{\lambda L}{m} = (0.1318 \pm 0.0006)\ mm$$
$$\Delta a = a(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta m}{m})$$

III.2. Hajszál

A látható grafikon a hajszál elhajlási képének minimumhelyeit ábrázolja a sorszámuk függvényében.






Hajszal minimalhelyei
"MIN4.DAT"
m = 16.6722 +/- 0.04806
Minimumhelyek tavolsaga [mm]
Minimumhelyek szama
180
160
140
120
100
80
60
40
20
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4

Az illesztett egyenes meredeksége:

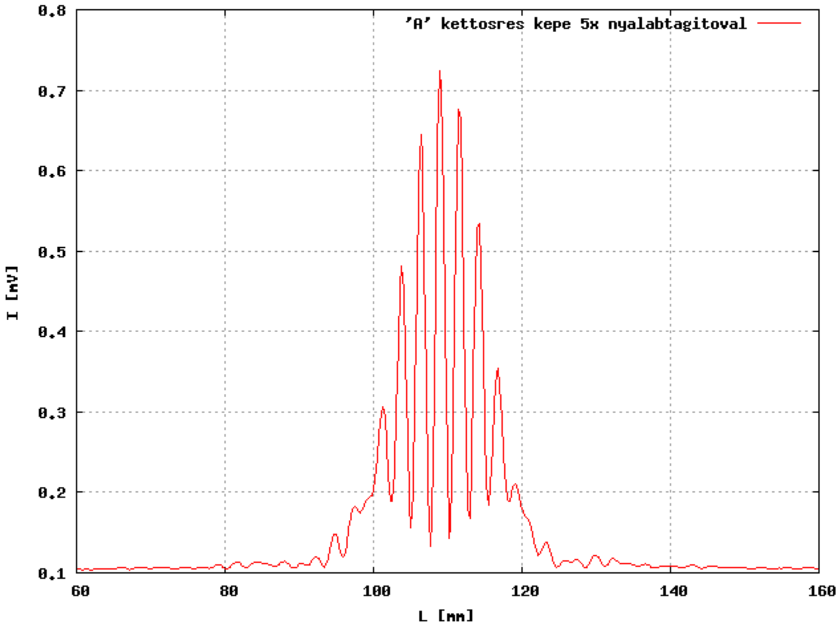
$$m = (16.672 \pm 0.05)\ mm$$

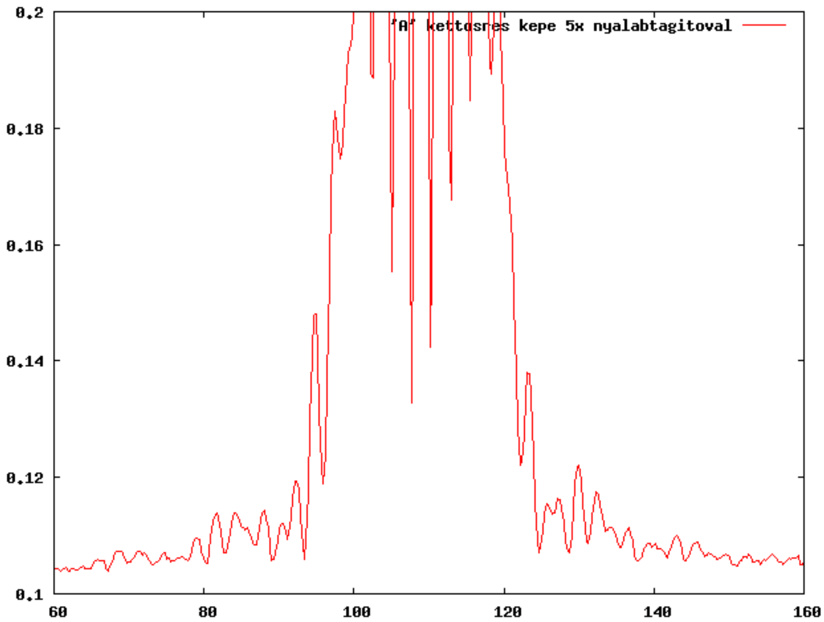
A meredekség és a mért $L = (2504 \pm 1)\ mm$ ernyőtávolság segítségével a hajszál szélessége:

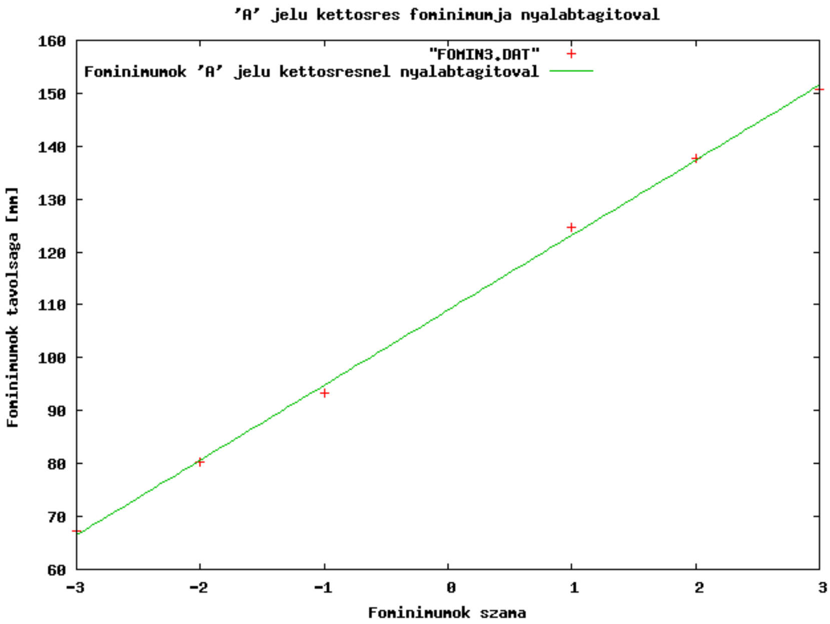
$$a = \frac{\lambda L}{m} = (0.0949 \pm 0.0004)\ mm$$
$$\Delta a = a(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta m}{m})$$

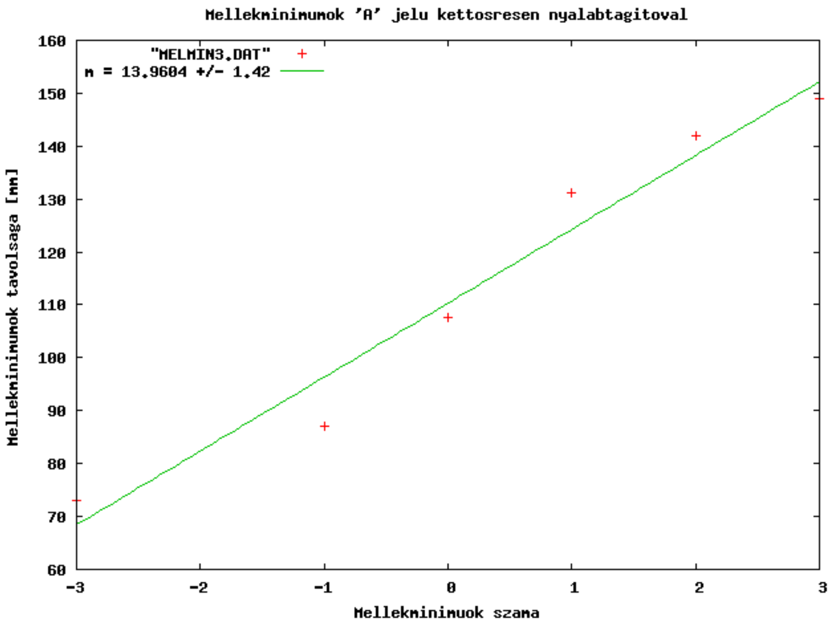
III.3. Kéttős rés

A grafikon az 'A' jelű kettős rés elhajlási képének másodrendű minimumhelyeit ábrázolja a sorszámuk függvényében. A mérés elvégzésénél ahhoz, hogy szépen látható legyen az interferencia egy 5∗-ös nyalábtágítót használtam.









Az főminimumokra illesztett egyenes meredeksége:

$$m = (14.165 \pm 0.23)\ mm$$

A meredekség és a mért $L = (2558 \pm 1)\ mm$ ernyőtávolság segítségével a rácsszélességet:

$$d = \frac{\lambda L}{m} = (0.114 \pm 0.003)\ mm$$

A mellékminimumokra illesztett egyenes meredeksége:

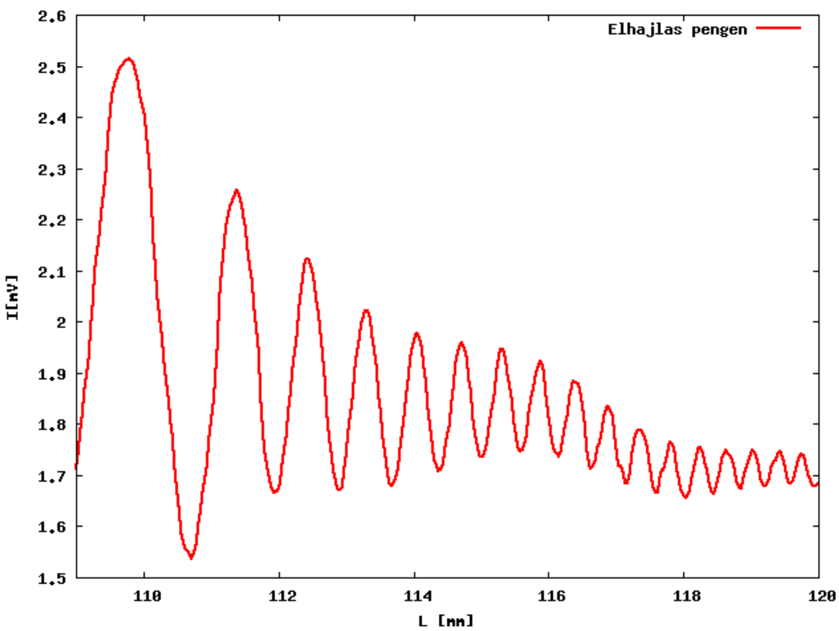
$$m = (13.96 \pm 1.42)\ mm$$

A meredekség és a mért $L = (2558 \pm 1)\ mm$ ernyőtávolság segítségével d rácstávolság:

$$d = \frac{\lambda L}{m} = (0.116 \pm 0.003)\ mm$$
$$\Delta d = d\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta m}{m}\right)$$

III.4. Penge

Ennél a mérésnél is egy nyalábtágítót helyeztünk el a lézer és a penge közé, ezzel biztosítottuk a kellően nagy teret. A féltér határát a penge éle határozza meg. Mivel itt analitikusan nem tudunk számolni, ezért az adatsorra illesztett elméleti görbét kinyomtatva csatolom a jegyzőkönyvhöz. Az elméleti és az illesztett görbe nem fedi teljesen egymást. Ennek oka az, hogy a penge éle nem tekinthető végtelen vékonynak, valamint a tér sem korlátlan.



IV. Diszkusszió

A mérést sikeresnek tekinthetjük,az illesztések pontosak és a mérési eredm ények hűen tükrözik a valóságot.