

Mérési jegyzőkönyv

Dr. Tarján Péter, 2026-04

Megjegyzés: A keretezett szövegek a mérés leírásából származnak, nem elvárt részei a jegyzőkönyvnek! A feladatok leírásánál a szögletes zárójelbe tett szám az adott feladatra adható maximális részpontoszámot jelenti. Az itt megadott jegyzőkönyv részletesebb és bővebb, mint amelyet a versenyzők a szűk időkorlátok között képesek írni; vázlatosabban leírt tapasztalatokat is elfogadtunk teljes értékűként.

A feladat

A mérés során egy alfa-spektrométer működésével ismerkedünk meg. Megvizsgáljuk a rendszer elektronikus zaját és holtidejét, és a beállítások hatását a mért spektrumra. Egy ismert összetételű alfa-forrás segítségével meghatározzuk, hogy a rendszer csatornáihoz mekkora alfa-energia tartozik, és ennek segítségével felderítjük egy ismeretlen minta összetételét.

1. feladat [0]

- Ismerkedjünk meg a programmal! (Lásd külön, a programkezelési útmutatót!) Vizsgáljuk meg, hogy az egyes kezelő szervek hogyan működnek.

Megismerkedtem a program kezelésével.

2. feladat [4]

- Vizsgáljuk meg az alacsony energiás elektronikus zajt 50-es erősítésnél, sugárforrás nélkül! Próbáljuk meghatározni, hogy milyen függvény szerint változik az elektronikus zaj intenzitása az impulzusok amplitúdója (csatornaszám) függvényében!
- Vegyünk fel egy olyan ROI-t (lásd a programkezelést), amelyben valamennyi, a zajból származó beütésszám benne van. A mért beütésszámból és a program által kijelzett élőidőből határozzuk meg a holtidő nagyságát! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára)
- Vizsgáljuk a kör alakú kezelőszervvel rendelkező helikális potenciométer hatását! Próbáljuk úgy beállítani, hogy az elektronikus zaj ne legyen zavaró nagyságú.

Az erősítés értékét 50-re, a mérési időt 30 s-ra állítottam, a potméter értékét 0-n hagytam.

Az elektronikus zaj kb. az 500-as csatornáig terjed, a csatornaszám függvényében meredeken csökken az intenzitás. A függőleges tengelyt logaritmikusra állítva a zaj a csatornaszám függvényében egy negatív meredekségű egyenest ad. Ez azt jelenti, hogy a zaj intenzitás–csatornaszám függvénye **exponenciálisan csökkenő**.

A $T = 30$ s mérésnél a zaj-beütések száma a teljes zajt tartalmazó ROI-ban $N = 258\,844$, az élőidő $T_{\text{élő}} = 25,962$ s. Innen a holtidő:

$$\tau = \frac{T - T_{\text{élő}}}{N} = \frac{30 \text{ s} - 25,962 \text{ s}}{258\,844} = 1,560 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 15,60 \text{ } \mu\text{s}.$$

10 s-os mérésekkel teszteltem a diszkriminátor beállítását. A következő zaj beütésszámokat mértem:

D	zaj
400	118
500	32
600	7
700	1

A zaj beütésszáma minden értéknél elegendően kicsinek tűnik a vélhetően jóval nagyobb tényleges beütésszámokhoz képest. A $D = 600$ értéket fogom használni.

3. feladat [8]

- Ismerkedjünk meg az „Alfa-energiák” táblázattal! gondoljuk végig, hogy mit jelenthetnek az egyes oszlopokban lévő adatok, azok hogyan jelennek meg a spektrumban!
- Az energia és hatásfok meghatározásához válasszuk ki az U-238/U-234 etalon mintát! Írjuk le a jegyzőkönyvben, hogy mit jelent az, hogy a mintában szekuláris egyensúly van!
- Gyors „mintamérésekkel” állapítsuk meg, hogy milyen erősítést lehet és érdemes használni a hosszabb mérések során. Ellenőrizzük, hogy ez a beállítás megfelelő lesz-e az ismeretlen minta mérésénél is! Indokoljuk a döntést a jegyzőkönyvben! Figyeljünk arra is, hogy az elektronikus zaj ne legyen zavaró. (Szükség esetén változtassunk a diszkriminátor beállításán.) Figyeljünk arra, hogy a továbbiakban ne változtassunk az erősítés és a diszkriminátor paraméterein!
- Vegyük fel az U-minta alfa-spektrumát elegendően hosszú ideig a statisztikus bizonytalanságok csökkentése érdekében, és próbáljuk hozzárendelni a mért csúcsokhoz a táblázatbeli alfa-energiákat! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára!)
- Ábrázoljuk az alfa-energiák értékét a kapott csatornaszámok függvényében, és illesszünk rájuk egyenest! Jegyezzük fel az illesztett egyenes $E = a \cdot C + b$ egyenletét, illetve az a és b paramétereket! Az ábrázolást javasolt a számítógépen található EXCEL segítségével kivitelezni, de milliméter-papíron is lehet dolgozni. Ha a számítógépen dolgozunk, mentsük ki az Excel fájlt a zsűri számára a saját kódszámunkkal jelölt mappába!

Az alfa-energia azt határozza meg, hogy az adott részecske **hol** jelenik meg a spektrumban (csatornaszám). Az intenzitás pedig azt, hogy **milyen magas** csúcsot kapunk (beütésszám).

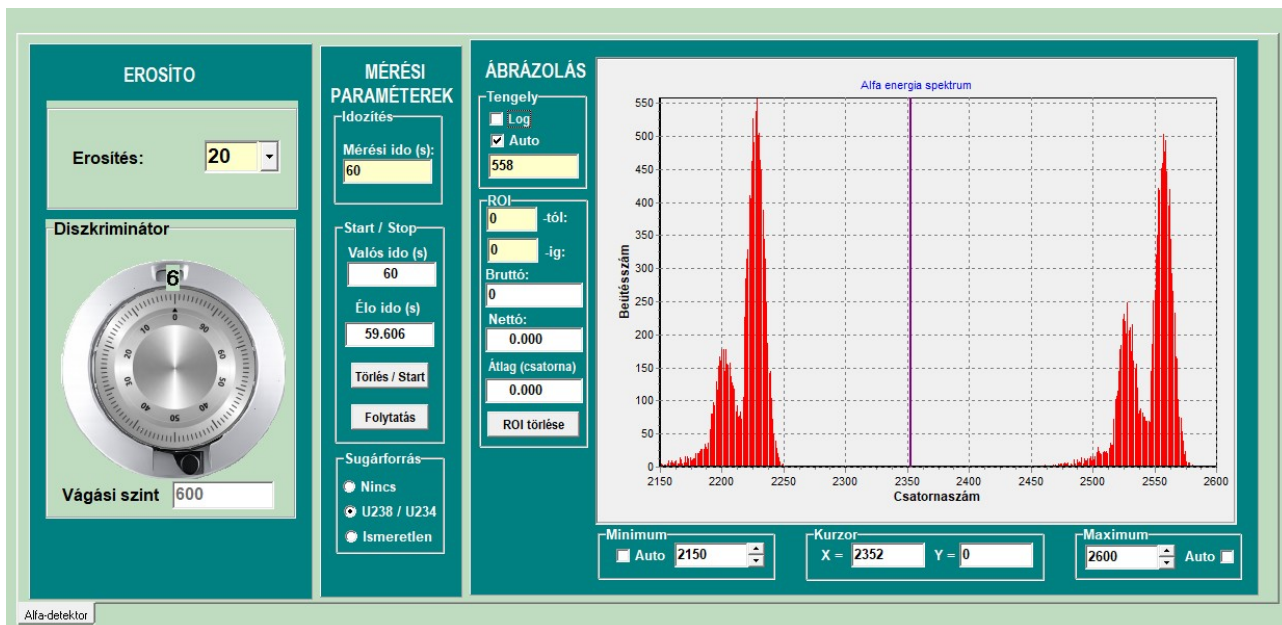
Az ^{234}U az ^{238}U bomlásából keletkezik. Szekuláris egyensúly akkor van köztük, ha az anyaelem felezési ideje sokkal hosszabb, mint a leánymagé. Ennek következménye, hogy **az anya és a leány aktivitása közel egyforma**: $A_1 \approx A_2$.

Gyors, 5 s-os mérésekkel ellenőrzöm az erősítés változtatásának hatását. Az U sugárforrást használva 50-es erősítésnél nem jelenik meg csúcs, az ennél kisebb erősítéseknél két nagy csúcs látszik a spektrumban, ezek körülbelüli helye 2200 és 2520 csatorna (20-as erősítés), 1100 és 1260 (10-es erősítés), 110 és 125 (1-es erősítés). Ebből látható, hogy a nagyobb erősítés kedvező: egyrészt a skála nagyobb hányadát használjuk ki; másrészt a csúcsok közötti távolság is nő, ezzel az esetleges közeli csúcsok jobban megkülönböztethetővé válnak. Az 50-es erősítésnél nyilván azért nem látszik semmi, mert a csúcsokhoz 4096-nál magasabb csatornaszám tartozna.

Ennek megfelelően 20-as erősítést fogok használni. Az ismeretlen mintában ennél 3 nagy csúcs látszik, és kisebb erősítéseknél sem jelenik meg ennél több.

Ellenőriztem még egyszer a zajt, $D = 600$ -nál alig néhány beütésnyit kaptam, ez elhanyagolható a csúcsok magasságához képest.

Ha belezoomolunk az U minta spektrumába, kiderül, hogy mindkét nagy csúcs valójában egy kisebb és egy nagyobb csúcsból álló kettős csúcs. Az alfa-energiák táblázatából kiderül, hogy az ^{238}U csúcsai kisebb energiájúak. Egyesével ROI-kat képezve a csúcsok körül, a következő adatokat kapjuk:



1. ábra. Az U minta spektruma.

C	Bruttó	Nettó	E (keV)	izotóp	Int
2201	3204	1706	4151	^{238}U	22,3%
2228	8829	7367	4198	^{238}U	77,5%
2527	3858	2441	4722	^{234}U	28,4%
2558	8128	6610	4775	^{234}U	71,4%

A táblázatban az első 3 oszlop (csatornaszám, ROI bruttó és nettó beütésszám) a szimulációból, a 4.-6. oszlop az alfa-energiák táblázatából származik (az Int a táblázatbeli csúcsintenzitás).

A csúcsok energiáit ábrázoltam a csatornaszám függvényében és egyenest illesztettem a pontokra. A kapott egyenes egyenlete E [keV] = $1,75 \cdot C + 299,6$.

4. feladat [2]

- Tudván, hogy az urán mintában az U-238 aktivitása éppen 10 kBq, határozzuk meg az alfa- spektroszkópunk teljes hatásfokát!

Az előzőleg kapott spektrummal dolgozok tovább.

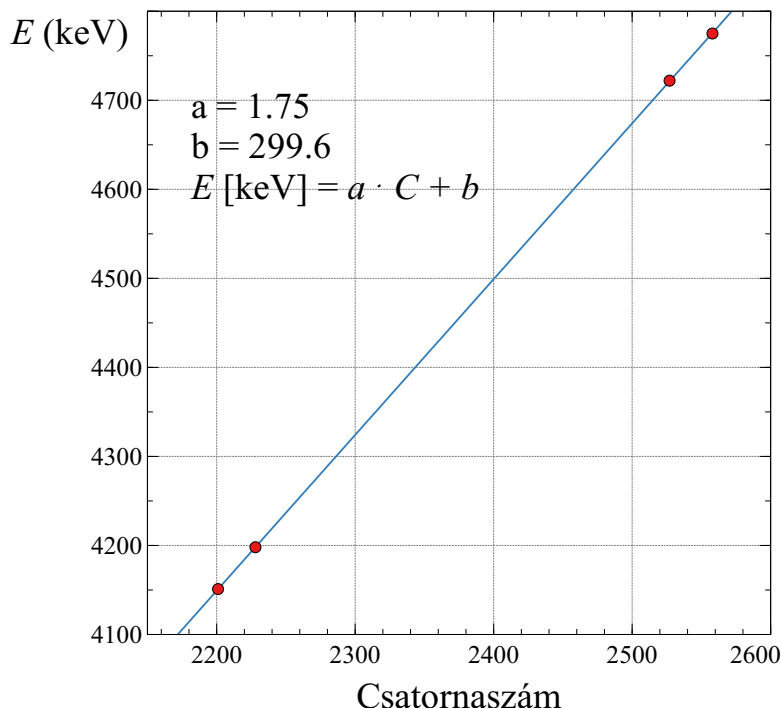
Az előző tapasztalatok alapján tágabb ROI-kat veszek fel, amelyek a kettős csúcsokat teljesen tartalmazzák. A ^{238}U ROI bruttó beütésszáma $n_{238} = 12528$ 1/min, a ^{234}U -é $n_{234} = 12686$ 1/min. (Ahogy a szekuláris egyensúly miatt vártuk, ezek közel egyenlők.) Az élőidő ennél a spektrumnál $T_{\text{élő}} = 59,606$ s. Ezzel a valódi mért beütésgyakoriság az ^{238}U izotópból származó alfa-részecskékből:

$$n_{\text{valódi}} = \frac{12528}{59,606 \text{ s}} = 210,18 \frac{1}{\text{s}}$$

Az ^{238}U aktivitása 10 kBq = 10000 bomlás/s, tehát a hatásfok:

$$\eta = \frac{210,18 \text{ 1/s}}{10000 \text{ 1/s}} = 0,021.$$

(A szekuláris egyensúly miatt az egész spektrum kijelölése egyetlen ROI-ba, és a mért beütésszám kettővel osztása is jó megoldás.)



2. ábra. Energiakalibráció az urán csúcsai alapján.

5. feladat [8]

- Válasszuk ki az ismeretlen mintát, és vegyük fel a spektrumát! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára.)
- A korábban meghatározott a és b konstansok ismeretében határozzuk meg a spektrumban található csúcsokhoz tartozó energiákat! Az energiák ismeretében próbáljuk meghatározni, hogy milyen alfa-bomló atomfajták (nuklidok) lehetnek az ismeretlen mintában!
- A spektroszkóp hatásfokának ismeretében határozzuk meg az egyes atomfajták aktivitását!

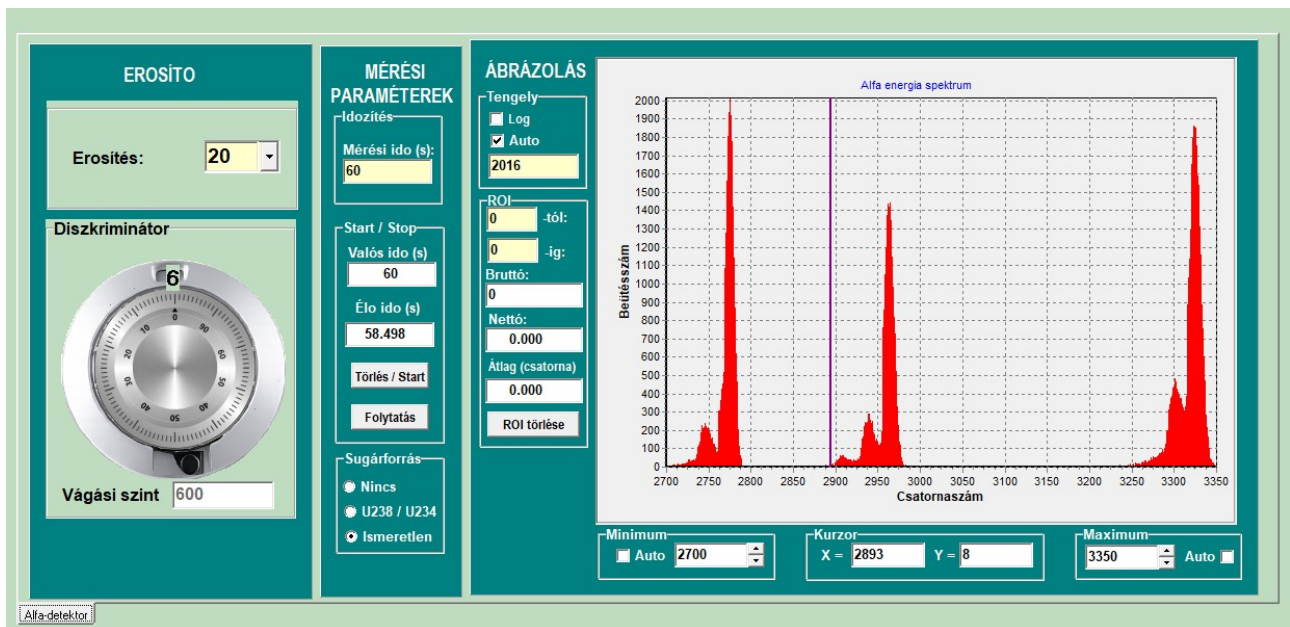
6. feladat [3]

- Dokumentáljuk a munkánkat, írjuk le a gondolatmenetünket és az eredményeket!

A beállításokat a korábbi értéken ($D = 600$, 20-as erősítés, $T = 1$ min) felveszem az ismeretlen összetételű minta spektrumát. Ez látszólag 3 nagy csúcsot ad, de belezoomolva kiderül, hogy ezek is többszörös csúcsok. Ezek adatai a következők:

C	Bruttó	Nettó	E (keV)	izotóp	Int
2746	3817	5106	5106	^{239}Pu	11,9%
2775	21673	5156	5156	^{239}Pu	70,8%
2907	937	5387	5387	^{241}Am	1,7%
2939	4219	5443	5443	^{241}Am	13,2%
2963	19578	5485	5485	^{241}Am	84,5%
3302	7223	1343	6079	^{252}Cf	15,2%
3325	29708	22090	6119	^{252}Cf	81,6%

A csatornaszám, bruttó és nettó beütésszám közvetlenül a felvett spektrumból származik. Az energiát az ismert minta alapján meghatározott hitelesítési függvény paramétereiből és a csatornaszámból



3. ábra. Az ismeretlen összetételű minta spektruma.

határoztam meg. Az izotópokat a számolt energiából, a programba épített alfa-energiák táblázata alapján azonosítottam.

A spektrumban ugyan csak két ^{239}Pu csúcsot látunk, de a táblázat alapján kellene lennie egy harmadiknak is 5144 keV-nél. Ez energiában meglehetősen közel van az azonosított 5157 keV-es csúcsához, és elképzelhető, hogy összeolvadtak a spektrumban, nem tudjuk felbontani őket. Alaposabb szemrevételezéssel látható, hogy a Pu nagyobb csúcsának furcsa az alakja, mintha lenne egy alacsonyabb energiás „váll”, ez valószínűleg az 5144 keV energiájú alfákból származik.

A táblázat szerint az ^{241}Am -nak is 3 csúcsa van, amiből a legalacsonyabb energiájú igen kis intenzitású. Ez látható is a spektrumban, és a táblázat megerősíti, hogy nem statisztikus ingadozásról van szó, hanem ez egy valódi külön csúcs.

A ^{239}Pu , ^{241}Am és ^{252}Cf csúcsait egy-egy tágra méretezett ROI-ban kijelölve a bruttó beütésszámok rendre: 30 192, 26 079, 40 273. Az élőidő ennél a mérésnél 58,492 s volt. Ezek, és a korábban meghatározott hatásfok segítségével a beütésszám-gyakoriságok és az aktivitások:

$$n = \frac{N}{T_{\text{élő}}} \quad \text{és} \quad A = \frac{n}{\eta}$$

$$n_{\text{Pu}} = \frac{30\,192}{58,492 \text{ s}} = 516,17 \frac{1}{\text{s}}$$

$$n_{\text{Am}} = \frac{26\,079}{58,492 \text{ s}} = 445,86 \frac{1}{\text{s}}$$

$$n_{\text{Cf}} = \frac{40\,273}{58,492 \text{ s}} = 688,52 \frac{1}{\text{s}}$$

$$A_{\text{Pu}} = \frac{516,17 \text{ 1/s}}{0,021} = 24,56 \text{ kBq}$$

$$A_{\text{Am}} = \frac{445,86 \text{ 1/s}}{0,021} = 21,21 \text{ kBq}$$

$$A_{\text{Cf}} = \frac{688,52 \text{ 1/s}}{0,021} = 32,76 \text{ kBq}$$

Tanulságok a versenyről

A feladatot tökéletesen (25 pontra) megoldania senkinek sem sikerült, de született néhány szép jegyzőkönyv.

A szenioroknál az átlagos pontszám és szórás $12,16 \pm 5,43$ volt, a junioroknál ugyanez $11,60 \pm 4,72$.

A szenioroknál 1-1 versenyző ért el 24, 20 és 18 pontot. A junioroknál a legmagasabb pontszámok 21, 16 és 15 voltak.

[0] 1. feladat

A versenyzők számára a feladat elég összetettnek tűnt ahhoz, hogy senki nem kezdte el olvasás nélkül a programot nyomkodni.

[4] 2. feladat

A szenior kategóriában az átlagos pontszám és szórás $2,53 \pm 1,26$, a junioroknál $2,70 \pm 0,95$ volt.

A maximális 4 pontot az jelentette, ha valaki

- megállapította, hogy a zaj exponenciálisan csökkenő a csatornaszám függvényében és megindokolta (logaritmikus ábrázolásban egyenes);
- helyes számítással közelítőleg jól meghatározta a holtidőt;
- a zaj kiszűréséhez legalább 200-ra állította a potenciométert, és a jegyzőkönyvből kiderült, hogy miért.

A maximális 4 pontot 4 szenior és 1 junior versenyző érte el.

[8] 3. feladat

A szenior kategóriában az átlagos pontszám és szórás $4,68 \pm 2,28$, a junioroknál $3,80 \pm 1,81$ volt.

A maximális 8 pontot az jelentette, ha valaki

- leírta, hogyan jelenik meg a spektrumban a táblázatból kiolvasott alfa-energia és intenzitás;
- kifejtette, milyen következménye van a szekuláris egyensúlynak;
- 20-as, esetleg 10-es erősítést választott és ezt megindokolta;
- legalább 30 másodpercig mérte az ismert mintát;
- felismerte, hogy nem 2 csúcs van, hanem 4;
- helyesen meghatározta a csúcsok csatornaszámát, hozzájuk rendelte a táblázatból a megfelelő energiát;
- elkészítette az energia-csatornaszám grafikon, egyenest illesztett a mért pontokra, és meghatározta annak paramétereit.

A maximális 8 pontot 3 szenior versenyző érte el, a juniorok között 7 volt a legnagyobb pontszám.

[2] 4. feladat

A szenior kategóriában az átlagos pontszám és szórás $0,84 \pm 0,83$, a junioroknál $0,80 \pm 0,92$ volt.

A maximális 2 pontot az jelentette, ha valaki

- helyesen határozta meg a detektor hatásfokát.

Egy pontot levontunk, ha a beütésszámot az élőidő helyett a valós idővel osztotta el a versenyző – ez ugyan nagy eltérést nem okoz, de elvi hiba.

Annak ellenére, hogy ez a feladat tulajdonképpen az előző feladattól függetlenül is megoldható volt, meglepően kevesen végezték el hibátlanul. A maximális 2 pontot 5 szenior versenyző érte el a 19-ből, a juniorok közül 3-an (10-ből).

[8] 5. feladat

A szenior kategóriában az átlagos pontszám és szórás $1,89 \pm 2,45$ (!), a junioroknál $2,00 \pm 1,83$ volt. A maximális 8 pontot az jelentette, ha valaki

- legalább 30 másodperces mérési idővel felvette a spektrumot, és megtalált legalább 6 csúcsot;
- az energiakalibráció alapján helyesen meghatározta a csúcsok energiáit és azonosította, mely magokból származhatnak;
- helyesen meghatározta az aktivitásokat;
- legalább egy megjegyzés erejéig utalt arra, hogy a ^{239}Pu és ^{241}Am sugárzóknál a táblázat alapján kell lennie még egy harmadik alfa-csúcsnak is.

Maximális pontot itt senki nem kapott. Két szenior versenyző kapott 7-7 pontot – ők a ^{239}Pu rejtett csúcsát nem találták meg, az ^{241}Am kis intenzitású csúcsát igen. A juniorok között a legmagasabb pontszám 5 volt. Ebben szerepet játszik az is, hogy a feladat meglehetősen komplexnek és időigényesnek bizonyult, és nem mindenki jutott el ideig.

[3] 6. feladat

A szenior kategóriában az átlagos pontszám és szórás $2,21 \pm 0,63$, a junioroknál $2,30 \pm 0,67$ volt.

Itt a zsűri azt értékelte, hogy a jegyzőkönyv mennyire volt részletes és követhető. A sokaknál nehezen olvasható írás ellenére itt a szenioroknál 6, a junioroknál 4 versenyző megkapta a maximális 3 pontot, és mindenki kapott legalább 1 pontot.

A külalakot nem pontoztuk! Egyforma értékűnek fogadtuk el a számítógéppel és kézzel készült jegyzőkönyveket.