

Végablakos GM-cső alfa és béta sugárzás mérési hatékonyságának és ismeretlen béta sugárzó aktivitásának meghatározása

HOGYAN KELLETT VOLNA

Gulyás Attila,
Borbély Venczel, Ujvári Sándor

Paks, 2026. április 19.

Kísérlet elvi háttere

Mérőeszköz

- a. *közvetlenül mért mennyiségek:*
 - ionizációs beütések feszültségimpulzusai (hardver)
 - idő (szoftver)
- b. *származtatott mennyiségek:*
 - összegzett beütések darabszáma
 - részecskék beütési gyakorisága (sebessége)
 - aktivitás.

Etalon

- *kapcsolat a közvetlenül mért és származtatott mennyiségek között*
- *a módszer és a mérőrendszer ún. „matematikai beállítását” teszi lehetővé*
- *tévesen kalibrációnak szokták nevezni*

Kísérlet elvi háttere

A kísérleti feladatban vázolt módszer lényege:

- ez egy mérési folyamat, ahol az etalonnal meghatározzuk a mérőrendszerünk tulajdonságait, figyelembe vesszük a statisztikai bizonytalanságokat és azok terjedését, és felhasználjuk az ismeretlen anyagon végzett mérésakor
- a folyamat egyes elemeinek viszonya:
 - etalon összegzett beütésszám \rightarrow mért idő \rightarrow kiszámolt beütési gyakoriság \rightarrow korrigált beütési gyakoriság \rightarrow kiszámolt alfa és külön béta beütési gyakoriság \rightarrow összesített alfa és béta kibocsátási gyakoriság \rightarrow alfa és bétamérési hatékonyság \rightarrow **aktivitás** \leftarrow ismeretlen forrás korrigált beütési gyakoriság \leftarrow kiszámolt beütési gyakoriság \leftarrow mért idő \leftarrow minta összegzett beütésszám

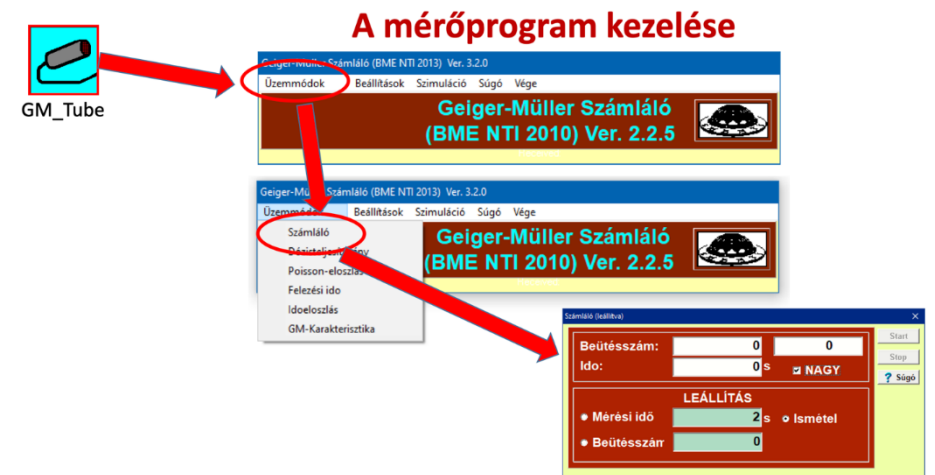
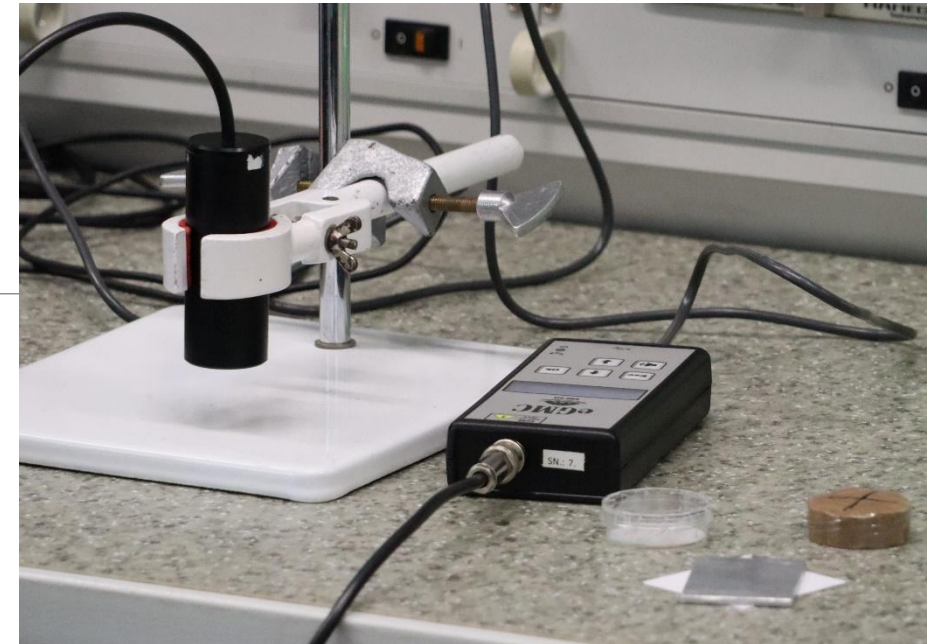
Mérés célja és eszközei

Cél:

- A GM-cső hatékonyságának meghatározása etalonnal és ismeretlen bétaforrás aktivitás meghatározása.

Eszközök:

- 50 Bq aktivitású ^{232}Th etalonminta (aktivitás megadva)
- végablakos GM-szonda állványon
- mérőszoftver
- árnyékolók:
 - papírlap (normál nyomtatópapírlap egy kis darabja)
 - 3 mm vastag alumínium lemez
- ismeretlen bétaforrás
- előkészített Excel fájl



Mérés menete

I. A mintából kilépő összes alfa és külön összes béta részecske kibocsátási gyakoriságának meghatározása. (1 p)

- be kellett írni az Excel fájl **Kibocsátási gyakoriság** munkalapjába a minta aktivitását (kék mező), a többi az Excel számolta

$$\langle P(I) \rangle = 0,97 \pm 0,19$$

Th-232 sor atomfajtái (nuklidjai)	Aktivitás [Bq]	Alfa bomlási valószínűség [%]	Béta bomlási valószínűség [%]	Alfa kibocsátási gyakoriság [1/s]	Béta kibocsátási gyakoriság [1/s]
Th-232	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0
Ra-228	50,0	0,0	100,0	0,0	50,0
Ac-228	50,0	0,0	100,0	0,0	50,0
Th-228	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0
Ra-224	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0
Rn-220	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0
Po-216	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0
Pb-212	50,0	0,0	100,0	0,0	50,0
Bi-212	50,0	35,9	64,1	18,0	32,1
Po-212	32,0	100,0	0,0	32,0	0,0
Tl-208	18,0	0,0	100,0	0,0	18,0
Pb-208	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Összesített kibocsátási gyakoriság [1/s]:				300,0	200,1

Mérés menete

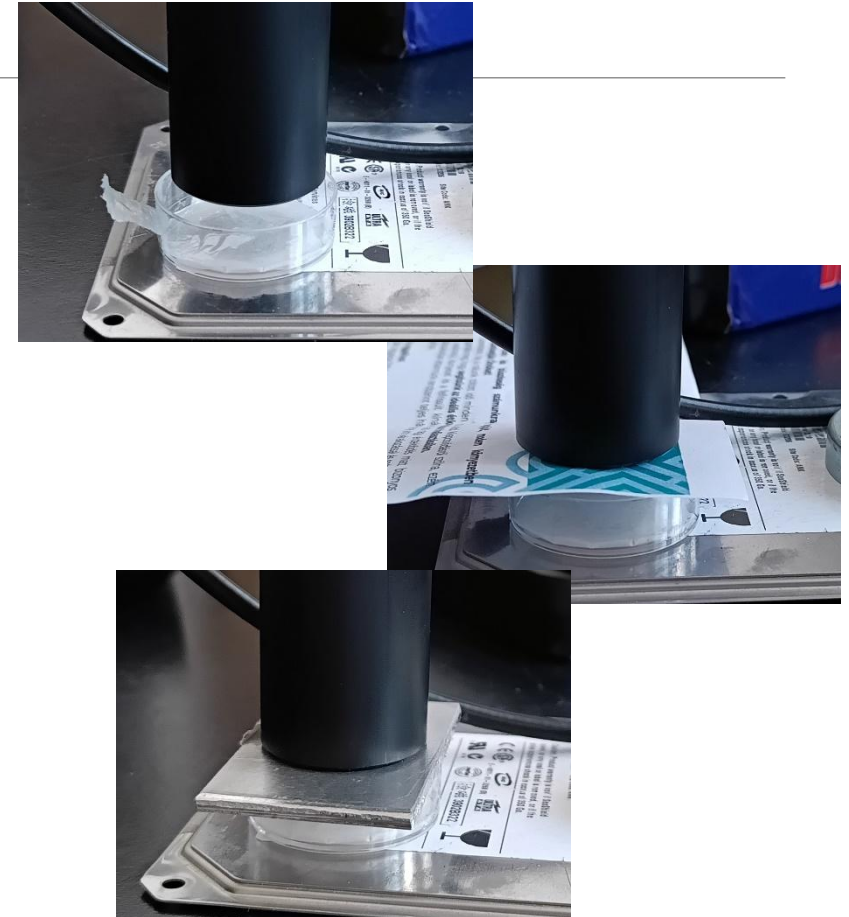
II. Az 50 Bq aktivitású ^{232}Th etalonminta alfa és külön béta részecskebeütési gyakoriságának meghatározása. (1 p)

- háttérsugárzás mérése fogadta a diákokat
 1. az $\alpha + \beta + \gamma$ „összsugárzás” mérése letakarás nélkül
 2. a $\beta + \gamma$ „összsugárzás” mérése papírlappal letakarva
 3. csak γ „összsugárzás” mérése Al lappal letakarva
 4. beütési gyakoriságok kiszámolása a 4 esetben + a háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság megadása

$$\text{beütési gyakoriság} := \frac{N}{t}$$

(lásd következő dián lévő táblázat, **félkövér adatok**)

$$\langle P(II) \rangle = 3,85 \pm 0,73$$



Mérés menete

II. Eredmények

Megnevezés	Mérési körülmény	Beütésszám	Beütésszám abszolút statisztikus bizonytalansága	Beütésszám relatív statisztikus bizonytalansága	Beütésszám-összegzési idő	Beütési gyakoriság (sebesség)	Beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság relatív bizonytalansága
Jelölés, képlet [mértékegység]	Mintatartó csésze fedettsége	N [db]	u_N [db]	u_N/N [%]	t [s]	N/t [1/s]	u_N/t [1/s]	$(N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k / (N/t)^k$ [%]
Mérési pont										
Th-232 1.	fedetlen	1002			175	5,73				
Th-232 2.	papírlap	1004			300	3,35				
Th-232 3.	alulemez	401			886	0,45				
természetes háttérsugárzás	minta nélkül	400			1084	0,37				
Ismeretlen béta sugárzó	GM-cső azonos távolságra a csészétől	401			469	0,86				

Mérés menete

III. A GM-cső alfa és béta sugárzásmérési hatékonyságának (ϵ) meghatározása. (5 p)

1. lépés: a beütési gyakoriságok kiszámolása az alábbi összefüggésekkel:

- természetes sugárzással korigált beütési gyakoriság:

$$\left(\frac{N}{t}\right)^{\text{korrigált}} = \left(\frac{N}{t}\right) - \left(\frac{N}{t}\right)^{\text{term. háttér}}$$

- α beütési gyakoriság:

$$\left(\frac{N}{t}\right)^{\text{alfa}} = \left(\frac{N}{t}\right)^{\text{fedetlen}} - \left(\frac{N}{t}\right)^{\text{papírlap}}$$

- β beütési gyakoriság:

$$\left(\frac{N}{t}\right)^{\text{béta}} = \left(\frac{N}{t}\right)^{\text{papírlap}} - \left(\frac{N}{t}\right)^{\text{alu.lemez}}$$

(eredményeket lásd következő két dián lévő táblázat, **félkövér adatok**)

Mérés menete

III. Eredmények (1. lépés, 1. rész)

Megnevezés	Mérési körülmény	Beütésszám	Beütésszám abszolút statisztikus bizonytalansága	Beütésszám relatív statisztikus bizonytalansága	Beütésszám-összegzési idő	Beütési gyakoriság (sebesség)	Beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság relatív bizonytalansága
Jelölés, képlet [mértékegység]	Mintatartó csésze fedettsége	N [db]	u_N [db]	u_N/N [%]	t [s]	N/t [1/s]	u_N/t [1/s]	$(N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k / (N/t)^k$ [%]
Mérési pont										
Th-232 1.	fedetlen	1002			175	5,73		5,36		
Th-232 2.	papírlap	1004			300	3,35		2,98		
Th-232 3.	alulemez	401			886	0,45		0,08		
természetes háttérsugárzás	minta nélkül	400			1084	0,37				
Ismeretlen béta sugárzó	GM-cső azonos távolságra a csészétől	401			469	0,86		0,49		

Mérés menete

III. Eredmények (1. lépés 2. rész)

Alfa beütési gyakoriság	Alfa beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Alfa beütési gyakoriság relatív bizonytalansága	Béta beütési gyakoriság	Béta beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Béta beütési gyakoriság relatív bizonytalansága
$(N/t)^{\text{alfa}}$ [1/s]	$(uN/t)^{\text{alfa}}$ [1/s]	$(uN/t)/(N/t)$ alfa [%]	$(N/t)^{\text{béta}}$ [1/s]	$(uN/t)^{\text{béta}}$ [1/s]	$(uN/t)/(N/t)$ béta [%]
2,38			2,89		

Mérés menete

III. A GM-cső alfa és béta sugárzásmérési hatékonyságának (ϵ) meghatározása. (5 p)

2. lépés: a sugárzásmérési hatékonyságok kiszámolása:

- felhasználjuk az I. pontban kiszámolt összesített kibocsájtási gyakoriságokat:

α esetén 300 /s, β esetén 200,1 1/s

- használjuk a mérési leírásban megadott képletet:

$$\epsilon := \frac{\text{GM cső (alfa vagy béta) beütési gyakoriság } \left[\frac{\text{beütés}}{\text{s}} \right]}{\text{Etalon minta összes (alfa vagy béta) részecske kibocsájtási gyakoriság } \left[\frac{1}{\text{s}} \right]}$$

Mérési hatékonyság	Mérési hatékonyság abszolút bizonytalansága	Mérési hatékonyság relatív bizonytalansága	Mérési hatékonyság	Mérési hatékonyság abszolút bizonytalansága	Mérési hatékonyság relatív bizonytalansága
ϵ (alfa)	u_ϵ (alfa)	u_ϵ/ϵ (alfa)	ϵ (béta)	u_ϵ (béta)	u_ϵ/ϵ (béta)
[%]	[%]	[(%/%)·%]	[%]	[%]	[(%/%)·%]
0,75			1,25		

$$\langle P(III) \rangle = 3,82 \pm 1,76$$

Mérés menete

IV. Ismeretlen béta sugárzó minta aktivitásának meghatározása.

(3 p)

- Meghatározzuk az ismeretlen béta sugárzás beütési gyakoriságát és kiszámoljuk a háttérsugárzással korrigált értékét. Az alábbi összefüggéssel meghatározzuk az aktivitását

$$A_{\text{béta}} [\text{Bq}] = \frac{\left(\frac{N}{t}\right)^{\text{béta,mért}} \left[\frac{\text{beütés}}{\text{s}}\right]}{\varepsilon_{\text{béta}} \left[\frac{1}{\frac{\text{s}}{\text{Bq}}}\right]}$$

$$A_{\text{béta}} = \frac{0,49 \frac{\text{beütés}}{\text{s}}}{0,0125 \frac{1}{\frac{\text{s}}{\text{Bq}}}} = 39,0 \text{ Bq}$$

$$\langle P(IV) \rangle = 2,59 \pm 0,73$$

Mérés menete

V. Bizonytalanság becslése és értékelése, statisztikus bizonytalanság terjedése (6 p)

- A beütésszám abszolút statisztikus bizonytalansága:

$$u_N = \sqrt{N}$$

- Az egyes esetekben a relatív statisztikai bizonytalanság a táblázatban kékkel jelölt képletekkel számolható.
- A természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága:

$$u_N^{\text{korrigált}} = \left(\frac{u_N}{t}\right)^{\text{korrigált}} = \left(\frac{u_N}{t}\right) + \left(\frac{u_N}{t}\right)^{\text{term.háttér}}$$

(eredményeket lásd következő dián lévő táblázatba beírva)

Mérés menete

V. Eredmények (1. rész)

Megnevezés	Mérési körülmény	Beütésszám	Beütésszám abszolút statisztikus bizonytalansága	Beütésszám relatív statisztikus bizonytalansága	Beütésszám-összegzési idő	Beütési gyakoriság (sebesség)	Beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Természetes háttérsugárzással korrigált beütési gyakoriság relatív bizonytalansága
Jelölés, képlet [mértékegység]	Mintatartó csésze fedettsége	N [db]	u_N [db]	u_N/N [%]	t [s]	N/t [1/s]	u_N/t [1/s]	$(N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k$ [1/s]	$(u_N/t)^k / (N/t)^k$ [%]
Mérési pont										
Th-232 1.	fedetlen	1002	31,7	3,2	175	5,73	0,18	5,36	0,20	3,7
Th-232 2.	papírlap	1004	31,7	3,2	300	3,35	0,11	2,98	0,12	4,2
Th-232 3.	alulemez	401	20,0	5,0	886	0,45	0,02	0,08	0,04	49,1
természetes háttérsugárzás	minta nélkül	400	20,0	5,0	1084	0,37	0,02			
Ismeretlen béta sugárzó	GM-cső azonos távolságra a csészétől	401	20,0	5,0	469	0,86	0,04	0,49	0,06	12,6

Mérés menete

V. Bizonytalanság becslése és értékelése, statisztikus bizonytalanság terjedése (6 p)

- Alfa és béta beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága:

$$u_{\dot{N}}^{alfa} = \left(\frac{u_N}{t}\right)^{alfa} = \left(\frac{u_N}{t}\right)^{korrigált, fedetlen} + \left(\frac{u_N}{t}\right)^{korrigált, papírlap}$$

$$u_{\dot{N}}^{béta} = \left(\frac{u_N}{t}\right)^{béta} = \left(\frac{u_N}{t}\right)^{korrigált, papírlap} + \left(\frac{u_N}{t}\right)^{korrigált, alulemez}$$

Alfa beütési gyakoriság	Alfa beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Alfa beütési gyakoriság relatív bizonytalansága	Béta beütési gyakoriság	Béta beütési gyakoriság abszolút bizonytalansága	Béta beütési gyakoriság relatív bizonytalansága
$(N/t)^{alfa}$ [1/s]	$(u_N/t)^{alfa}$ [1/s]	$(u_N/t)/(N/t)$ alfa [%]	$(N/t)^{béta}$ [1/s]	$(u_N/t)^{béta}$ [1/s]	$(u_N/t)/(N/t)$ béta [%]
2,38	0,32	13,6	2,89	0,17	5,7

Mérés menete

V. Bizonytalanság becslése és értékelése, statisztikus bizonytalanság terjedése (6 p)

- A mérési hatékonyság abszolút bizonytalansága alfára és bétára:

$$u_{\varepsilon, \text{alfa}} = \frac{\left(\frac{u_N}{t}\right)^{\text{alfa}}}{\text{összesített alfa kibocsátási gyakoriság}} \quad \text{és} \quad u_{\varepsilon, \text{béta}} = \frac{\left(\frac{u_N}{t}\right)^{\text{béta}}}{\text{összesített béta kibocsátási gyakoriság}}$$

relatív bizonytalanság: $\frac{u_{\varepsilon i}}{\varepsilon_i}$

Mérési hatékonyság	Mérési hatékonyság abszolút bizonytalansága	Mérési hatékonyság relatív bizonytalansága	Mérési hatékonyság	Mérési hatékonyság abszolút bizonytalansága	Mérési hatékonyság relatív bizonytalansága
ε (alfa) [%]	u_{ε} (alfa) [%]	$u_{\varepsilon}/\varepsilon$ (alfa) [(%/%)·%]	ε (béta) [%]	u_{ε} (béta) [%]	$u_{\varepsilon}/\varepsilon$ (béta) [(%/%)·%]
0,75	0,10	13,6	1,25	0,07	5,7

Mérés menete

V. Bizonytalanság becslése és értékelése, statisztikus bizonytalanság terjedése (6 p)

- Az ismeretlen béta sugárzó minta aktivitásának relatív bizonytalansága:
 - a béta mérési hatékonyság és a minta természetes háttérsugárzással korigált beütési gyakoriság relatív bizonytalanságának összege, amiből az abszolút bizonytalanság az aktivitás ismeretében számolható:

$$\left(\frac{u_A}{A_{\text{béta}}}\right)^{\text{béta}} = \frac{u_{\varepsilon, \text{béta}}}{\varepsilon_{\text{béta}}} + \frac{\left(\frac{u_N}{t}\right)^{\text{béta, minta}}}{\left(\frac{N}{t}\right)^{\text{béta, minta}}}$$

- Az abszolút bizonytalanság az aktivitás és a relatív bizonytalanság szorzataként határozható meg.

Ismeretlen béta sugárzó aktivitása	Ismeretlen béta sugárzó aktivitásának abszolút bizonytalansága	Ismeretlen béta sugárzó aktivitása relatív bizonytalansága
A [Bq]	u_A [%]	u_A/A [%]
39,0	7,1	18,3

$$\langle P(V) \rangle = 3,20 \pm 2,10$$

Mérés menete

VI. Hibaforrások

(1 p)

- ugyanolyan Petri csészében különböző töltöttségű minták
⇒ mintaközéppont-detektor távolság más ⇒ az aktivitásban eltérést=hibát okoz
- a ^{232}Th vékony rétegű ⇒ kisebb az önárnyékolás, mint az ismeretlen, kiterjedtebb mintáé
⇒ eltérés az aktivitás meghatározásban
- a Th mintából sok igen gyenge energiájú béta részecske is jön (lásd megadott Th-sor)
⇒ papírlap szinte tökéletesen árnyékolja az alfát, de sejthető/tudható az is, hogy leveszi az igen gyenge béta jelnek egy részét is (kb. 20-30%);
a papírlap gammaárnyékoló képessége miatti eltérés = hiba valószínűleg elhanyagolható.
- a Th mintából sok igen nagy energiájú béta részecske is jön
⇒ Al lemez árnyékolja az bétát, de valamennyi igen nagy energiájú béta jel „átmegy”
- a 3 mm Al lemez gammaárnyékoló képessége akár néhány %-os is lehet, fotonenergiától függően.

$$\langle P(VI) \rangle = 0,14 \pm 0,30$$

Mérés menete

VII. Mérési jegyzőkönyv készítése	(5 p)
• érthetőség, áttekinthetőség, követhetőség	1 p
• van bevezetés, mérés leírás , esetleg lezárás	1 p
• mérési adatok és eredmények megjelenítése	1 p
• következtetés levonás, összegző értékelés, megjegyzések	2 p

$$\langle P(V) \rangle = 2,47 \pm 1,36$$

Összegzés

A mérési módszerről:

- a megemlített hibaforrások és a bizonytalanságok terjedése miatt csak tájékoztató jellegűnek mondhatjuk ezt az aktivitás meghatározást

Versenyzői megjegyzések:

- Mérés közben laptop akkumulátora lemerült ezért nem volt elég időm a mérésre és kiértékelésre! 😞
- Nem volt nehéz. 😊

Pontszámok

Senior

- max.: 23
- átlag: 18,16
- szórás: 4,43

Junior

- max.: 23,5
- átlag: 16,20
- szórás: 5,40