

TK 156.457

KFKI-1985-32



PÁLFALVI J.

NEUTRON SPEKTRUM ÉS DÓZISELOSZLÁS  
VIZSGÁLATOK SZÁMÍTÁSSAL ÉS MÉRÉssel  
ELLIPTIKUS FANTOMBAN NÉHÁNY RADIOAKTÍV  
NEUTRON FORRÁSRA ÉS EGY NEHÉZVÍZZEL  
MODERÁLT KRITIKUS RENDSZERRE

OKKFT 7.1.9

*Hungarian Academy of Sciences*

CENTRAL  
RESEARCH  
INSTITUTE FOR  
PHYSICS

BUDAPEST



KFKI-1985-32

NEUTRON SPEKTRUM ÉS DÓZISELOSZLÁS VIZSGÁLATOK  
SZÁMÍTÁSSAL ÉS MÉRÉSEL ELLIPTIKUS FANTOMBAN  
NÉHÁNY RADIOAKTÍV NEUTRON FORRÁSRA ÉS EGY  
NEHÉZVÍZZEL MODERÁLT KRITIKUS RENDSZERRE

OKKFT 7.1.9

PÁLFALVI J.

Központi Fizikai Kutató Intézet  
1525 Budapest 114, Pf.49

HU ISSN 0368 5330  
ISBN 963 372 365 5

## KIVONAT

A dóziseloszlások vizsgálatára fantom besugárzásokat végeztünk a Vinčai RB reaktornál, ill. a KFKI-ban különféle radioaktiv neutronforrásokkal. A mérésekhez különféle szilárdtest nyomdetektorokat, a kiértékeléshez az RFSP spektrum illesztő programot használtuk. A mért kerma eloszlásokat és neutron spektrumokat összehasonlítottuk az O5R5S Monte Carlo programmal végzett számítások eredményeivel. Az eredményeket ábrákon és táblázatokban közöljük.

## АННОТАЦИЯ

С целью исследования распределения доз проводилось облучение фантома на RB реакторе в Винче (Югославия), а также различными нейтронными источниками в ЦИФИ ВАН. Измерения осуществлялись с помощью различных твердотельных трековых детекторов, а для обработки полученных спектров использовалась программа RFSP. Измеренные распределения кермы и нейтронные спектры сравнивались с результатами расчетов, проведенных с помощью программы Монте-Карло O5R5S. Результаты приводятся в виде рисунков и таблиц.

## ABSTRACT

Depth-dose and neutron spectrum measurements and calculations have been carried out using an elliptical, water filled phantom for total-body exposure from a large neutron source (RB reactor Vinča, Yugoslavia) and from point-like sources as Pu-Be and Ra-Be. The calculations were performed by a Monte Carlo code O5R5S; for the measurements solid state nuclear track detectors were used. The details of the mathematical and measuring procedures are summarized in form of a flowchart. The results are presented by plots and tables.

## BEVEZETÉS

Ebben a jelentésben részletezett munkák szerves részét képezik annak a programnak, melynek feladata megvizsgálni, hogy különféle neutron források esetében milyen kapcsolat áll fenn a neutron doziméterekben elhelyezett detektorok jelzései és az emberi testben elnyelt dózis között. A riport közvetlen folytatása az előző három jelentésünknek, amelyeknek témája hasonló volt [1, 2, 3].

Az előző vizsgálatok után a radioaktív neutronforrásokat választottuk következő vizsgálati lépésnek, mert ezek elterjedten használatosak ipari, mezőgazdasági, biológiai és kalibrációs célú besugárzásokra.

Fantom besugárzásokat végeztünk a Vinčai RB reaktornál is, ahol már egy, a NAÜ által 1973-ban szervezett nemzetközi baleseti doziméter összemérésen részt vettünk.

Terveinkben szerepel az általunk számításokkal és mérésekkel nyert eredmények összevetése az irodalomban található hasonló adatokkal. Ez az utóbbi célunk indokolja, hogy ebben a riportban ilyen jellegű összehasonlitásokat nem részletezünk.

### 1. MÉRÉSI ÉS SZÁMITÁSI MÓDSZEREK

A mérési módszereink lényegében ugyanazok maradtak, mint azt az előző fantom mérések leírásaiban és jelentéseinkben részleteztük [1, 2, 3, 4, 5] így csak felsoroljuk a mostani mérésekhez használt detektorokat és megadjuk az ismertetésüket tartalmazó irodalmakat.

- LR115 II típusú, főleg  $^{14}\text{N}(n, \alpha)^{11}\text{B}$  reakción és C, O, N magmeglökésen alapuló szilárdtest

- nyomdetektor, amely küszöbdetektornak tekinthető. Effektív küszöb energia  $E_k \sim 0,8 \text{ MeV}$  [6, 7, 8];
- $^{232}\text{Th}$  és  $^{238}\text{U}$  hasadóanyag radiátoros Lexan szilárdtest nyomdetektor,  $E_k \sim 1,5 \text{ MeV}$  [9, 10, 11];
  - $(n, \alpha)$  magreakción alapuló LiF és  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  radiátoros LR115 II szilárdtest nyomdetektor Cd tokban és anélkül [12, 13, 14, 15], a termikus és intermedier neutronok méréséhez.
  - A Vinčai reaktornál monitorozásra Au és S aktivációs detektorokat is használtunk.

A kerma eloszlások és a neutron spektrumok meghatározására kidolgozott számítógépes módszert az 1. ábrán szemléltetjük.

A sémában felsorolt számítógépes programok és a hozzájuk tartozó hatáskeresztmetszet, detektor érzékenység ill. dózis konverziós könyvtárak több éves fejlesztési munka eredményeként álltak össze egy hatásonosan működő rendszerre. A MORSE Monte Carlo program legújabb /1984-es/ változatának adaptálását jövő évre tervezzük.

## 2. FANTOM BESUGÁRZÁSOK A VINČA-I RB REAKTORNÁL

A Vinčai RB reaktor egy nehézvízzel moderált kritikus rendszer. A reaktor tartály /2. ábra/ mindenféle védelem nélkül egy nagyméretű csarnokban 2 m magasan a padló szint felett helyezkedik el. Ugyanezen az emelvényen 90 cm-re a tartálytól helyeztük el a körhenger alakú, 30 cm átmérőjű, vízzel töltött fantomot. Ezzel az elrendezéssel a falak és a padló neutron szóró hatását gyakorlatilag kiküszöböltük.

Mivel a zóna, a fűtőelemek és a tartály elrendezése és összetétele pontosan ismert volt, a kifolyási spektrumot a SABINE-3 programmal meg tudtuk határozni.

A zóna tartálytól 90 cm-re szabad levegőn elhelyezett detektorok jelzéseinek felhasználásával az RFSP program ezt a számolt spektrumot a mérések szerint módosította /lásd 3. ábra/. Ezután ezt a módosított spektrumot tekintettük kiindulási spektrumnak az O5R5S programmal végzett "fantom számítások"-hoz /lásd 1. ábra/. Mivel a program viszonylag korlátozott lehetőségekkel - csak kollimált vagy kollimálatlan párhuzamos ill. pontszerű forrástól származó neutron nyalábbal - tud számolni, ezért a legjobb közelítésként a széles párhuzamos nyalábot választottuk. A számított kerma eloszlást a 4. ábrán folytonos vonallal összekötött karikák ábrázolják.

Mivel összesen csak 2 besugárzásra nyílott lehetőségünk, a szokásosnál több detektort kellett a fantom belsejében egyszerre elhelyezni ahhoz, hogy kellő felbontásban kapjuk a dózis eloszlást, így azonban növekedett az egyes mérési pontokhoz rendelhető kerma érték hibája, mivel a detektorok sugárzási teret módosító és egymást zavaró hatása jobban érvényesült. A 4. ábrán kitöltött és üres háromszögekkel jelöltük a mért értékeket. A mérési hibákat /becsült teljes hiba/ csak az egyik esetben jelöltük, a 2. besugárzáshoz nagyjából azonos bizonytalanságok tartoznak. Rögtön látható, hogy a 2 besugárzásból nyert eloszlás görbék - főleg 10 cm mélységtől kezdve - jól egyeznek egymással ill. 6-8 cm-től kezdve a számított adatokkal is. Feltűnő azonban az is, hogy a mérések nem mutatják a kb. 3 cm-nél számítással mutatkozó kerma maximumot. Ez azonban elfogadható, ha figyelembe vesszük, hogy a számításoknál használt modell különbözött a valóságtól. Hasonló jellegű eltéréssel már korábban is találkoztunk egy D<sub>2</sub>O-val moderált <sup>252</sup>Cf neutron forrás használatakor [2]. Ha meggondoljuk, hogy a dózis nagyobbik hányada ered a gyorsneutronoktól /1 - 10 MeV esetünkben/, melyekre az átlagos szabad úthossz vízben ill. testszövetben

2 - 8 cm között változik és a rugalmas szórás a domináns magreakció [16], akkor világossá és érthetővé válik, hogy széles, párhuzamos nyalábtól eltérő esetekben - a fantomhoz közel lévő pontforrás esetében különösen - a kerma értéke az első néhány mm-es mélységtől kezdve csökkenő tendenciát mutat. Mindazonáltal az eddigi /3 éves/ tapasztalatok alapján nyilvánvalóvá vált, hogy az O5R5S program továbbfejlesztésére szükség van pl. izotróp ill. a fantom sugarával /v. egyik tengelyével/ szöget bezáró keskeny párhuzamos nyaláb geometriájú besugárzási elrendezések szimulálására is. A két mérés jó egyezése /maximális eltérés 20%/ nemcsak azt jelenti, hogy a detektorok mérése és a kiértékelés kis statisztikus hibával megoldható, hanem azt is, hogy a besugárzások körülményeire /mint a forrás-fantom távolság, fantom orientáció reprodukálhatósága stb./ a kerma eloszlás kevésbé érzékeny. Természetesen a kerma abszolút értékek az egyes pontokban a megismételt besugárzásoknál különbözőek lehetnek.

Ezeknek a jelenségeknek a vizsgálatára jó lehetőségünk volt felhasználva a KFKI tulajdonában lévő különféle ( $\alpha$ -Be) típusú radioaktív neutron forrásokat.

### 3. FANTOM BESUGÁRZÁSOK $\alpha$ -Be NEUTRON FORRÁSOKKAL

Mivel ezek a különböző neutronhozamú  $^{238}\text{Pu-Be}$ ,  $^{239}\text{Pu-Be}$  és Ra-Be források állandóan rendelkezésünkre álltak, így az elmúlt évek alatt számos besugárzást végeztünk. A számítások és mérések kiértékelése még nem fejeződött be teljesen, ezért és a kísérletek nagy száma miatt is itt csak röviden ismertetjük a technikai körülményeket, valamint a vizsgálatok fő irányait.

A besugárzásokat egy külön erre a célra berendezett, kb. 4 m magas és kb. 6m x 6m-es méretű laboratóriumban végeztük. A neutronforrásokat a padló szint-



jétől 1,5 - 2 m magasan, felfüggesztve helyeztük el. A vízzel töltött, plexi falú, elliptikus henger keresztmetszetű fantomot egy sinen mozgó kocsihoz szerelt, aluminiumból készült és könnyen módosítható rácsszerkezetre raktuk. Így a besugárzás elrendezését könnyen tudtuk változtatni és egyben a falak és a padló szórását a minimumra csökkentettük. A fantom vízszintes középsíkjában a kistengely mentén egy plexi detektor tartó szerkezetet rögzítettünk és ezt használtuk minden egyes kísérlethez /lásd 5. ábra/. Egy-egy alkalommal a fantomban 2-3 helyen helyeztünk el csak detektorokat, hogy ezek egymást zavaró, a sugárzási teret módosító hatását csökkentsük. Az egyes besugárzások összenormálására a forrástól 20 cm távolságban /a forrásnak a fantommal szemben lévő oldalán/ elhelyezett  $^{232}\text{Th}$ -Lexan hasadási nyomdetektorokat használtunk.

A neutron források hozama  $2 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^7 \text{ n} \cdot \text{s}^{-1}$  között volt és mivel a forrás-fantom távolságot is 20-100 cm között változtattuk, a szükséges besugárzási idők is hosszúak voltak /2 - 14 nap/. Ezért nyilvánvaló, hogy ezekhez a kísérletekhez aktivációs detektorokat nem lehetett felhasználni, ezért kizárólag csak szilárdtest nyomdetektorokkal dolgoztunk. A bevezetőben említettekén kívül itt alkalmaztunk először CR-39-es típusú szilárdtest nyomdetektort természetes izotópösszetételű bór radiátorral /BN1, Kodak-Pathé/.

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk, hogy milyen kérdésekre kerestük a választ:

- A számítások megbízhatósága

Megállapítottuk, hogy amikor a besugárzási elrendezés a matematikai modellel jól egyezett - tehát amikor már a kb.  $20 \text{ cm}^2$ -es felületű forrást pontforrásnak tekinthettük és ez kb.  $\sim 30 \text{ cm}$ -nél nagyobb

forrás-fantom távolságot jelent, illetve a forrás és a fantom középvonala a padlótól legalább 1,5 m volt, valamint a forrástól és a fantomtól a falak legalább 1,5 m távolságra voltak - akkor a számított és mért kerma eloszlások hibahatáron belül egyeztek. De pl. 20 cm-es forrás-fantom távolság esetén az egyezés korántsem jó, sőt mint az a 6. ábrán látható, 4-6 cm-es mélységben kifejezetten rossz. A 6 cm-nél lévő helyi maximumot több megismételt kísérlet is mutatta, de különböző mértékben, többnyire azonban a mérési hibák elfedik.

- Hogyan változik a dózis eloszlás a forrás-fantom távolság függvényében

Pusztán geometriai megfontolásokból nyilvánvaló, hogy nagyobb távolság esetén a kerma  $1/r^2$  törvény miatti csökkenése a fantomon belül nem olyan gyors. Ezen túlmenő effektusokat is tapasztaltunk azonban, amelyeket ugyancsak az elrendezésből következnek, de okuk a gyorsneutronok szóródásában keresendő, hasonlóan az előző fejezetben felvetett problémához /lásd 6. ábra/.

- A fantom anyagának összetétele változtatja-e a dóziseloszlást

A kb 30 l térfogatú fantomot vízzel töltve használtuk, majd ebben a vízmennyiségben feloldottunk 3 kg étkezési cukrot és így újabb besugárzásokat végeztünk. A kerma eloszlásokban a mérési hibákon túli eltérés nem volt tapasztalható.

- Csekély változások a neutron spektrumban eredményeznek-e változást

Elméletileg a Pu-Be ill. Ra-Be források spektruma némileg különbözik egymástól /lásd 7. ábra/, mindazonáltal sem a számításokban, a mérésekben még kevésbé tapasztaltunk eltérést a kerma eloszlásokban ezekre

a forrásokra /6. ábra/. Azonban, amikor a neutron forrást kb. 3 cm vízzel vettük körül az eloszlás görbék a fantom első néhány - 0-8 - cm-es mélységében már különböztek a "védelem" nélküli forrással nyert adatoktól.

#### - A környezeti szóró hatások vizsgálata

Az előzőekből következtethetünk arra, hogy igen komoly hatásokat várhatunk. Az eddigi - de még le nem zárt - vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy a fantomban a kistengely mentén a 4 - 18 cm-es mélységekben az eloszlás görbék alig változnak akkor, amikor a forrást és a fantomot a padló szintjétől 30 - 150 cm-es magasságban mozgatjuk és a fantom-forrás távolság nagyobb 50 cm-nél. Ebben az esetben az oldalfalak hatását is csak akkor lehet mérésrel észlelni, ha az kisebb távolságra van a fantomtól ill. a forrástól, mint 1 m. A nyomdetektorral végzett vizsgálatok igen idő- és munkaigényesek, így a már meglévő mérési adatokat kiegészítjük majd hasadási kamrákkal végzett mérésekkel is.

A fantomon és a belsejében lévő pontokban a neutron spektrum ill. a kerma eloszlás számításához szükséges forrás-spektrumokat az irodalomból vettük [17].

#### 4. KERMA SZÁMITÁSOK

Azon kívül, hogy a kísérletekhez használt neutron forrásokra számításokkal is meghatároztuk a kerma eloszlásokat számításokat végeztünk olyan reaktorok kifolyási spektrumaira is, melyek rendszeresen használatosak dozimetriai célú nemzetközi összemérésekre - mint pl. az angliai VIPER és az USA-ban lévő Oak Ridge-i HPRR.

Az irodalomból [17] vett kifolyási spektrumokat a 3. és 8. ábrákon adjuk meg, míg a VIPER reaktorra a számított kerma eloszlás a 4. ábrán látható. Ha a VIPER kifolyási spektrumát az RB reaktoréval összehasonlítjuk láthatjuk, hogy az előbbié lényegesen "lágyabb" és ez kisebb fluens-kerma konverziós tényezőt eredményez /4. ábra/.

A különféle védelemmel ellátott HPR reaktorra számított fluens-kerma tényezőket a 9. ábrán mutatjuk be. Ez egyben illusztrálja a különféle spektrumok eredményeképpen kialakuló kerma eloszlások hasonlóságát ill. különbözőségét is. Ezen számítások eredményeit részben - egy BOMAB fantom elülső felületén - mérésekkel is ellenőrizni tudtuk a NAÜ által Oak Ridge-ben rendezett 5. Nemzetközi Baleseti Dozimetriai Összemérés alkalmából [18].

Vizsgálataink során arra törekedtünk, hogy olyan mennyiséget találjunk, amely dozimetriai szempontból jellemző lehet. Ilyen mennyiségnek tekintjük azt a mélységet a fantomban, amelyben a kerma értéke a fantom elejéhez képest a felére csökken /félérték mélység/. Ezeket az adatokat gyűjtöttük össze - számítások és mérések alapján - az alábbi 1. és 2. táblázatban [19]. További vizsgálatokra van szükség ahhoz, hogy ezt a "félérték mélység" mennyiséget egyértelmű kapcsolatba hozzuk a fantomra eső neutronok spektrumát jellemző adatokkal.

1. táblázat Számított és mért kerma félérték mélység fantomban néhány kalibrációs ill. terápiás célokra használt neutron forrásra a besugárzásokat jellemző adatokkal.

Forrás	M: mért Sz: számi- tott	PF: pont forrás PN: párhuzamos nyaláb DN: divergens nyaláb KA: kollimátor ablak	Forrás fantom távol- ság /cm/	Kerma félérték mélység /cm/
$^{235}\text{U}$ hasadási	Sz	PF	50	5,2
$^{252}\text{Cf}$ , hasadási	Sz	PF	50	6
NBS, USA	M	-	50	6
$^{252}\text{Cf}$ , $\text{D}_2\text{O}$ moderált	Sz	PN	-	8
NBS, USA	M	-	50	7
Cyclotron	Sz	PN	-	13
U120, NDK (D, Be)	Sz	DN, KA=15x15 $\text{cm}^2$	100	9,5
$\bar{E}_n = 6 \text{ MeV}$	M No.1	DN, KA=12x15 $\text{cm}^2$	102	7
	M No.2	DN, KA=12x15 $\text{cm}^2$	102	8,2
14 MeV (D, T)	Sz	PN	-	22
ATOMKI	Sz	PF	50	13,5
Debrecen	M	-	50	13
	M	-	20	5,6
3,2 MeV (D,D)	Sz	PN	-	11,5
TU Dresden	Sz	PF	50	6,5
NDK	M	-	10	4,5
Pu-Be vagy	Sz	PF	50	7,2
Ra-Be	Sz	PF	20	4,6
KFKI Budapest	M	-	20	~4

2. táblázat Számított és mért kerma félérték mélység fantomban néhány reaktor spektrumra.

Forrás	Sz: számított M: mért	Elrendezés ill. védelem	Kerma félérték mélység /cm/
ZR-6 KFKI, Budapest	Sz M	lásd [1]	10,2 9,2 - 13*
BME tanreaktor Budapest	Sz M	lásd [1]	11,8 10,8
Vinča RB Jugoszlávia	Sz M No.1 M No.2	lásd 2.és 4. ábra	7,4 8 6,5
Viper, Anglia	Sz	lásd [20]	3
HPRR Oak Ridge USA	Sz Sz Sz Sz	védelem nélkül 12 cm plexi 13 cm vas 20 cm beton 5 cm vas + 15 cm beton	6,5 6,4 4,8 6,6 5,8

\* különféle módszerekkel többszöri mérésből

5. IRODALOM

- [1] Pálfalvi J., Koblinger L., 1982., Neutron spektrum és dóziseloszlás vizsgálatok - számítással és méréssel - elliptikus fantomban, könnyűvízzel moderált reaktor spektrumban, KFKI-1982-42. /OKKFT 7.1.3. /
- [2] Pálfalvi J., 1983., Neutronspektrum és dóziseloszlás vizsgálatok számítással és méréssel elliptikus fantomban  $^{252}\text{Cf}$  és nehézvízzel moderált  $^{252}\text{Cf}$  neutron forrásokra, KFKI-1983-47. /OKKFT 7.1.6./
- [3] Pálfalvi J., 1983., Neutron spektrum és dóziseloszlás vizsgálatok számítással és méréssel elliptikus fantomban Ciklotron, 3,2 MeV és 14 MeV energiájú neutronokra, KFKI-1984-27. /OKKFT 7.1.8. /
- [4] Pálfalvi J., Koblinger L., Szabó P.P., 1983., Depth Dose Distribution Measurements and Calculation in an Elliptical Phantom, Health Physics, V. 44, pp.35-44.
- [5] Pálfalvi J., 1982., Neutron Dose Distribution Measurements in a Water Filled Phantom by SSNTDs. Proc. Int. Conf. on SSNTDs, Bristol, U.K. 1981, Nuclear Tracks, Supplement 3. pp. 481-485.
- [6] Pálfalvi J., 1981., On the Use of LR115 II Recoil Track Detectors for Neutron Dosimetry, Nucl. Instrum. & Methods, V. 180. pp. 511-514.
- [7] Pálfalvi J., Bhagwat A.M., Medveczky L., 1981., Investigations on the Neutron Sensitivity of Kodak-Pathé LR115 Recoil Track Detector, Health Physics, V. 41. pp. 505-508.
- [8] Pálfalvi J., 1982., Baleseti dozimetriai célra használható radiátor nélküli szilárdtest-nyomdoziméter fejlesztés, KFKI-1982-43.

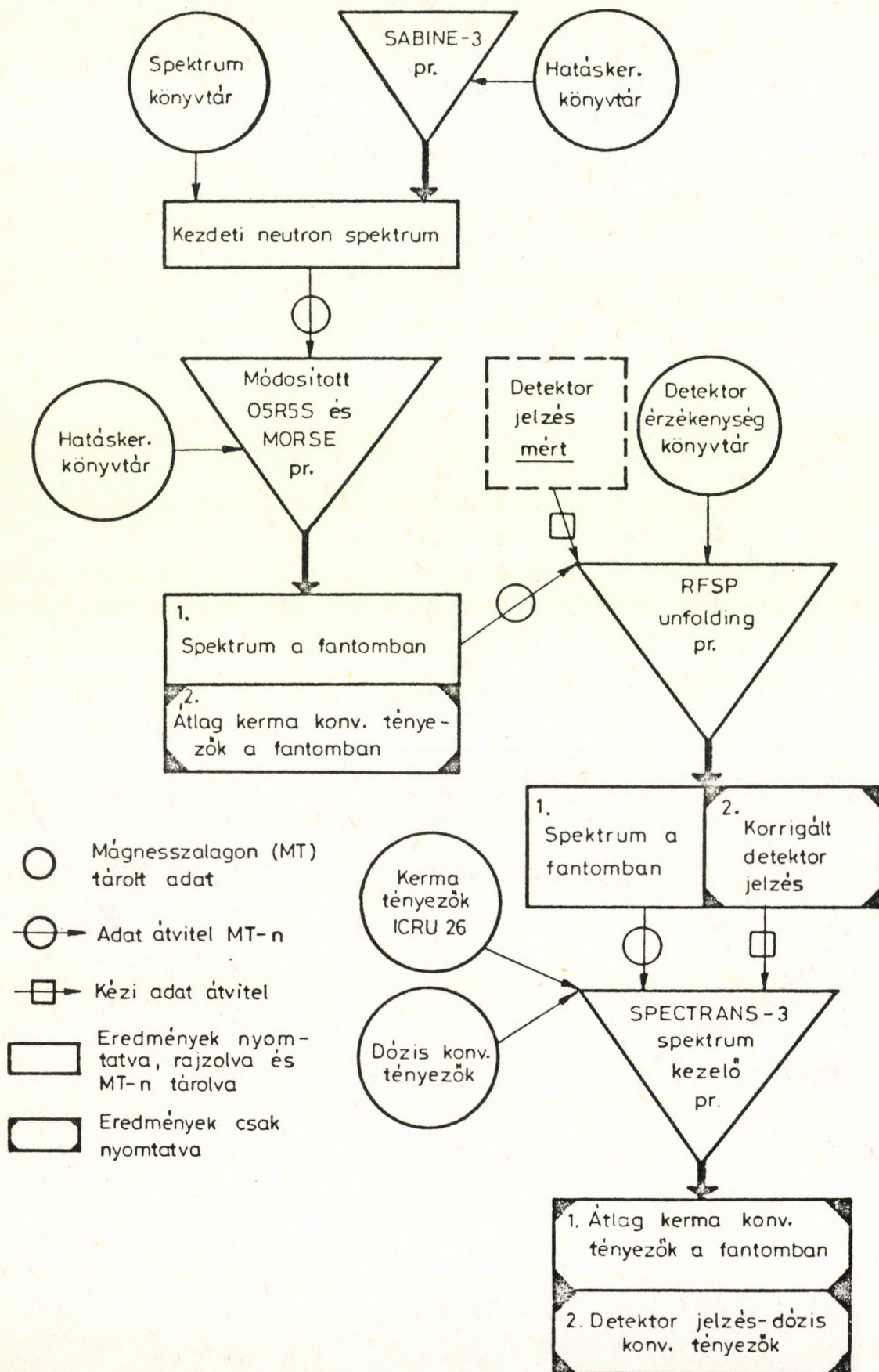
- [ 9 ] Pálfalvi J., 1978., Thermal and Intermediar Neutron Flux Density Determination for Accident Dosimetry Purposes Using Thick Gold Foils, KFKI-1978-42.
- [10] Pálfalvi J., 1978., Nuclear Accident Dosimetry Measurements, Czechoslovak-Hungarian Intercomparison, Budapest, Hungary, 1977., KFKI-1978-65.
- [11] Pálfalvi J., 1983., Neutron Response of Several Fission Track Detectors Worn on the Body, KFKI-1983-65.
- [12] Pálfalvi J., 1982., Neutron Sensitivity of LR115 SSNTD Using Different  $(n, \alpha)$  Radiators, Nucl. Instrum. & Methods, v. 203., pp. 451-457.
- [13] Pálfalvi J., 1983.,  $(\text{Neutron, Alfa})$  magreakción alapuló szilárdtest nyomdoziméter hatásfokának elméleti és kísérleti vizsgálata, KFKI-1983-46.
- [14] Pálfalvi J., 1982., Neutron-Sensitivity Calculations for Simple Albedo Track Detectors, Nuclear Tracks, V. 6., pp. 185-188.
- [15] Pálfalvi J., 1984.,  $(n, \alpha)$  magreakción alapuló szilárdtest nyomdetektorokból felépített személyi albedo neutron doziméter jelzésének vizsgálata számítással, KFKI-1984-26.
- [16] Pálfalvi J., 1982., Neutron-dozimetria, Fizikai Szemle, 1982/4, 142-148.
- [17] Griffith R.V., Pálfalvi J., Madhvanath U., 1984., Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes, IAEA Technical Reports Series, közlés alatt.



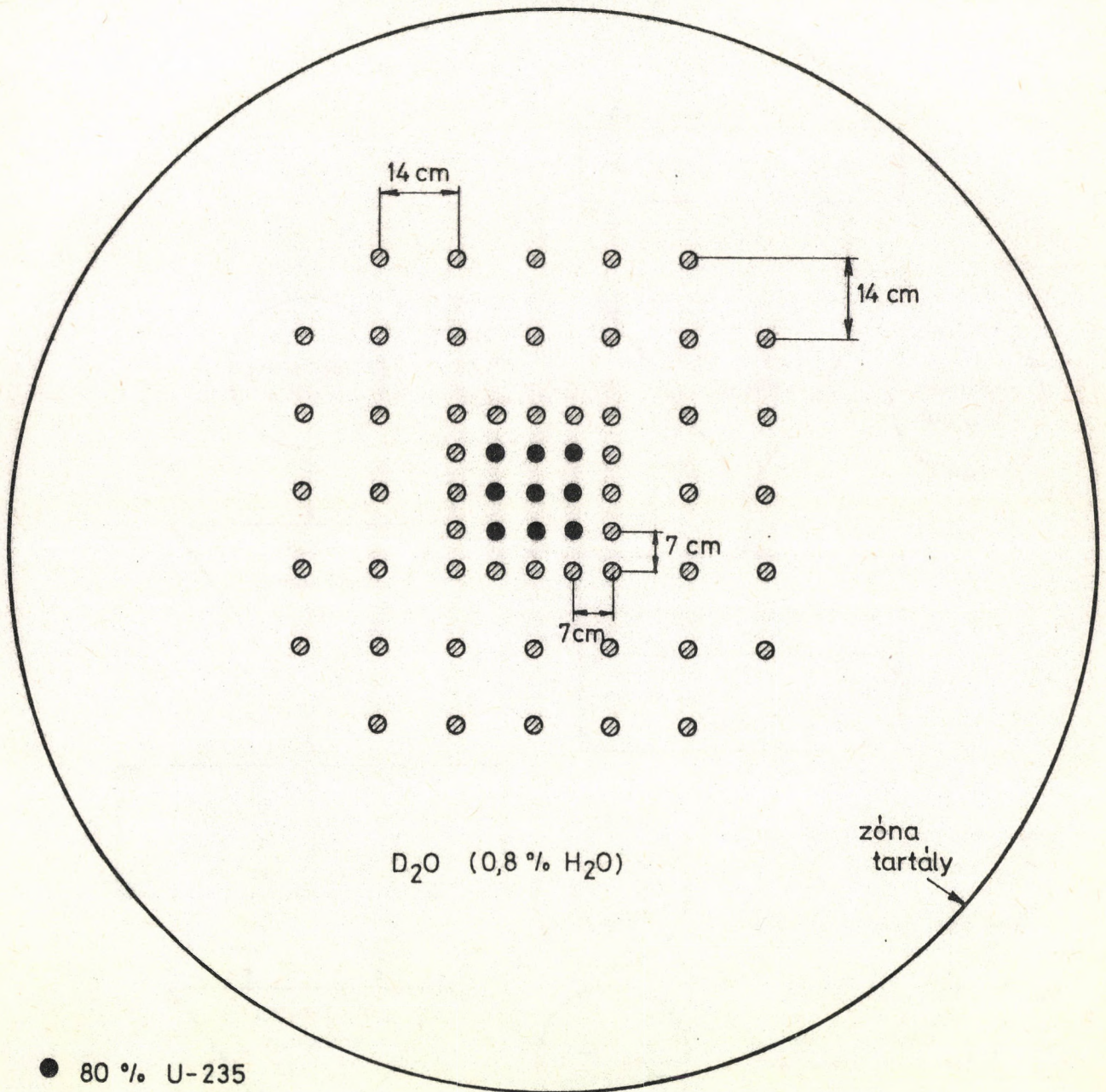
- [18] Sims C.S., 1984., 20th Accident Dosimetry Intercomparison at HPRR, 1983, Oak Ridge, Rep. ORNL, megjelenés alatt.
- [19] Pálfalvi J., 1984., Neutron Depth Dose Calculations and Measurements in an Ellyptical Phantom for Radiation Protection Purposes, Proceeding, 5. Neutron Dozimetriai Szimpozum, 1984. Szept. Neuherberg, NSZK.
- [20] Delafield, H.J., Holt P.D., Mullender M.L. és Kemshall C.D., 1978., Neutron Spectrum Measurements at VIPER Reactor for Health Physics Dosimetry Purposes, Health Physics V. 35. pp. 471-480.

## 6. ÁBRASZÖVEGEK

1. Neutronspektrum, dózis eloszlás és egyéb dozimetriai szempontból fontos mennyiségek számítására ill. mérésének kiértékelésére használható számítógépes programrendszer.
2. A Vinčai /Jugoszlávia/ Boris Kidrič Atomenergia Kutató Intézet RB jelű nehézvízzel moderált kritikus rendszerének elrendezése.
3. A Vinčai RB reaktor SABINE-3 programmal számított illetve mért kifolyási spektrumai, valamint az angliai VIPER reaktor /Aldermaston/ kifolyási spektruma. / $\psi(u)$ : egységnyi logaritmikus energia intervallumban lévő neutron fluxus-sűrűség  $\text{cm}^{-2}$  egységben./
4. A Vinčai RB reaktornál fantomban végzett kerma eloszlás mérések eredményei, valamint erre és az angliai VIPER reaktorra az O5R5S programmal számított kerma eloszlások.
5. A Pu-Be és Ra-Be forrásokkal végzett fantom besugárzásoknál használt fantomban a detektorok elhelyezésének vázolata, valamint a kerma számításokhoz használt térfogatelemek méretezése.
6. Mért és számított kerma eloszlás görbék a fantomban Pu-Be és Ra-Be radioaktív neutron forrásokra. /A mérési pontok összekötése csak szemvezetésre szolgál./
7. Néhány  $\alpha$ -Be típusú radioaktív neutron forrás kifolyási spektruma. /  $\Phi(u)$ : l.  $\psi(u)$  a 3. ábrán./
8. Az Oak-Ridge-i /USA/ HPR reaktor kifolyási spektrumai különféle védőrétegeken áthaladva. / $\Phi(u)$  mint a 7. ábrán./
9. Fluens-kerma konverziós tényezők a fantomban különféle HPRR spektrumokra az O5R5S programmal számolva.



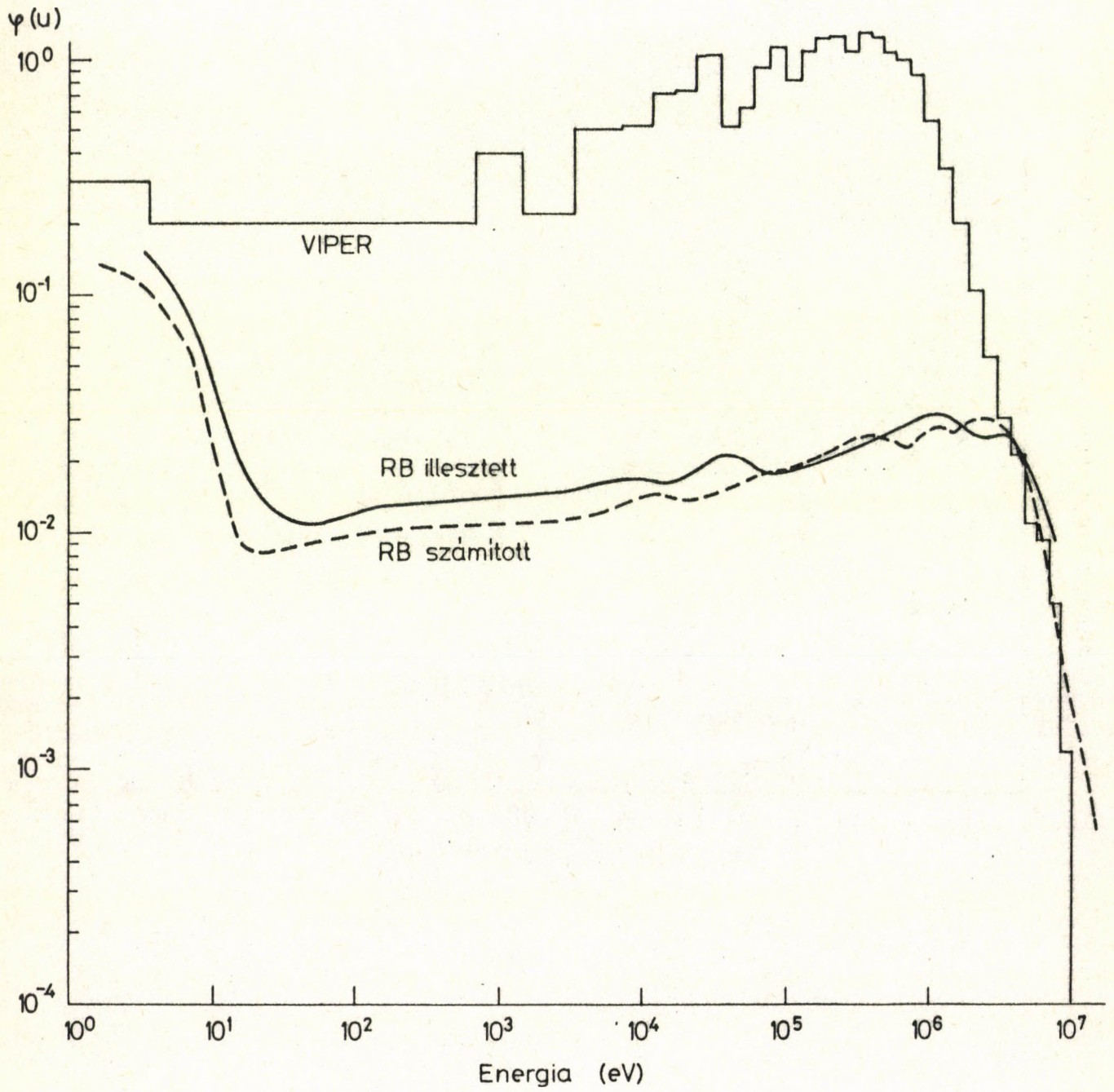
1. ábra



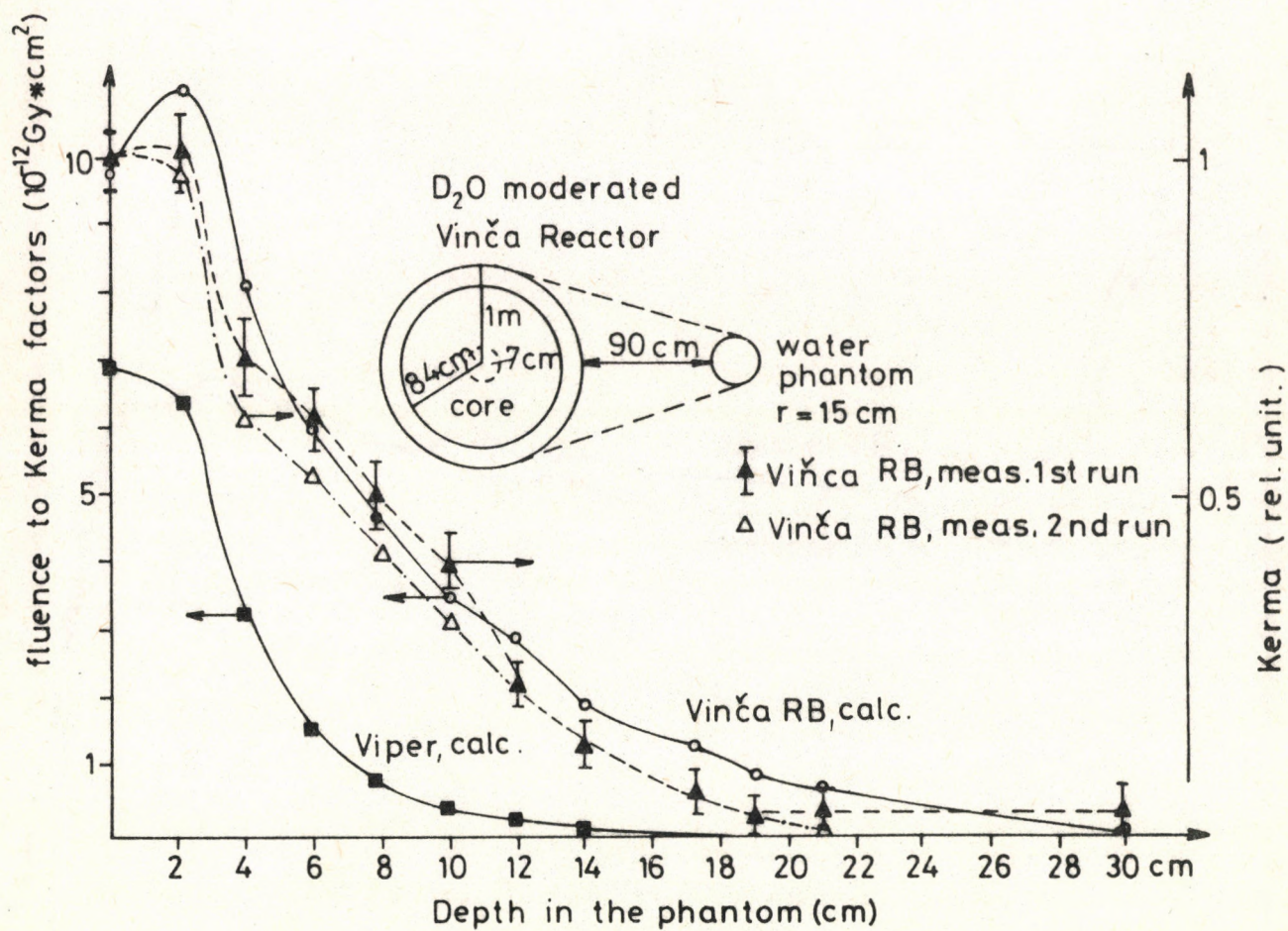
● 80 % U-235

⊗ 2 % U-235

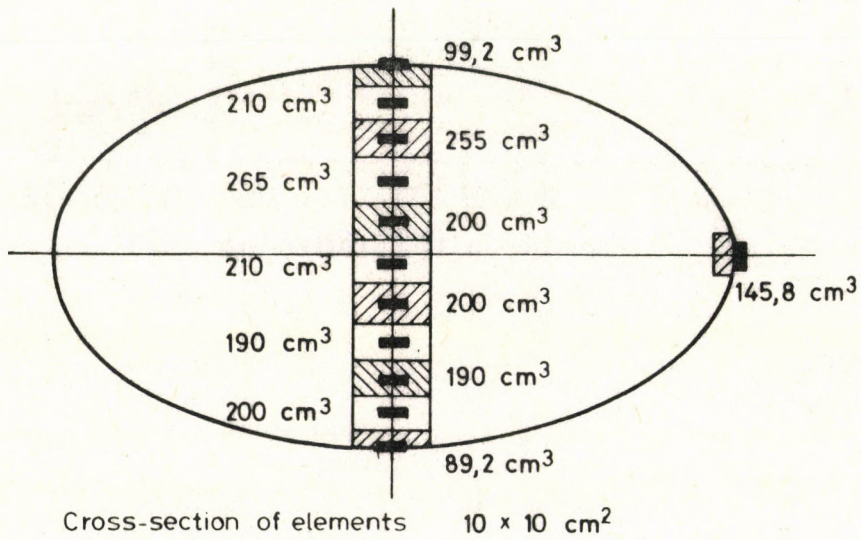
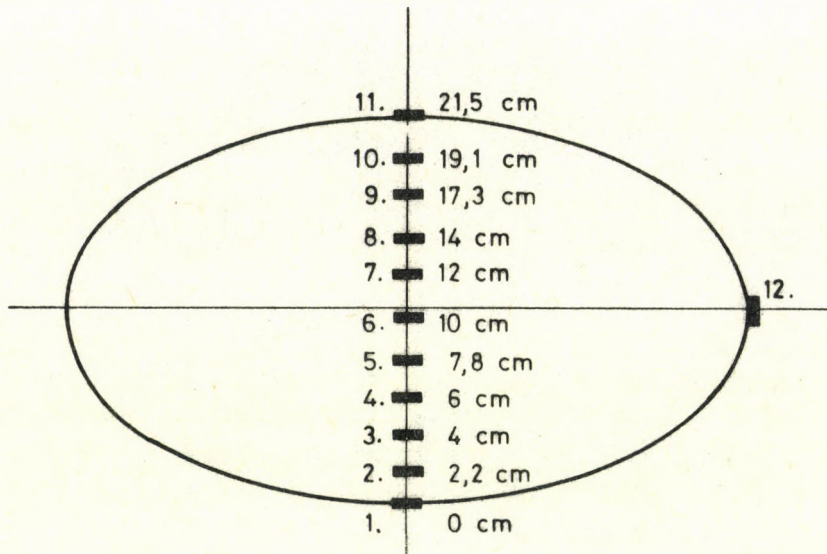
2. ábra



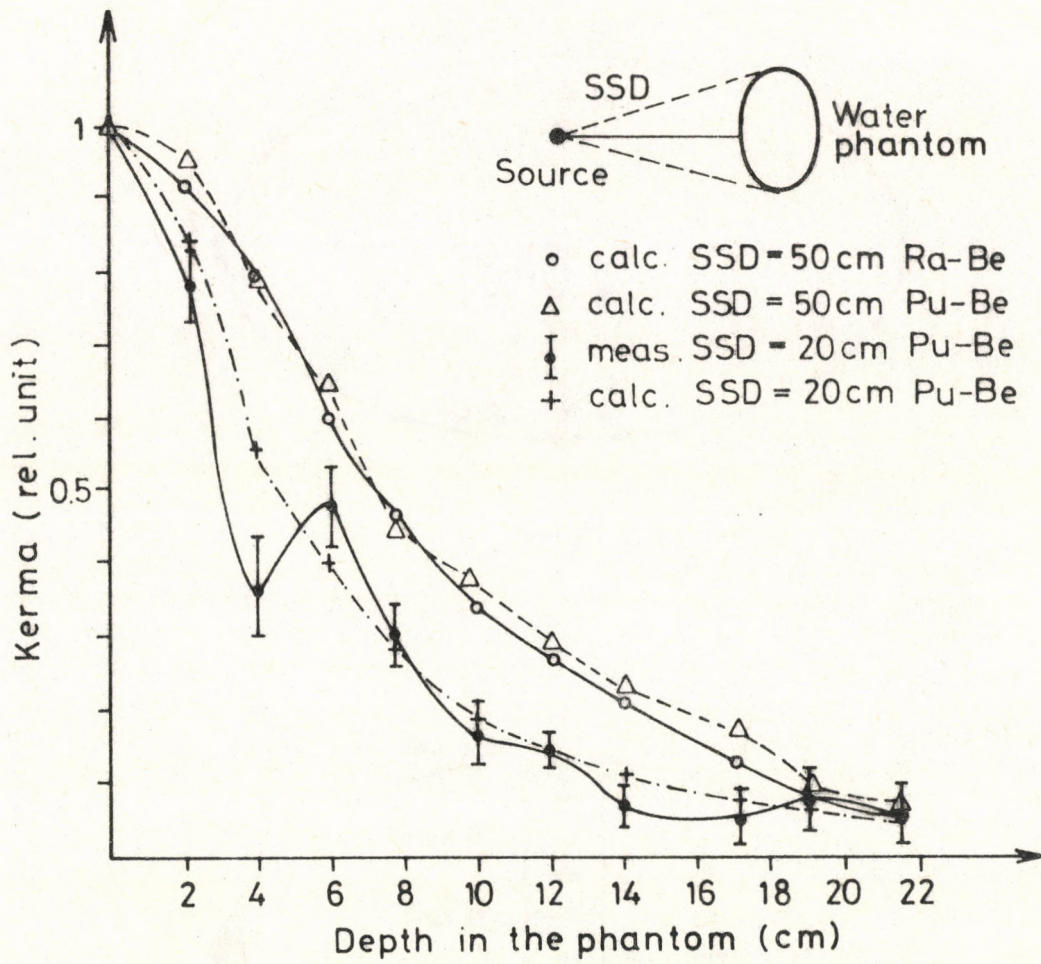
3. ábra



4. ábra

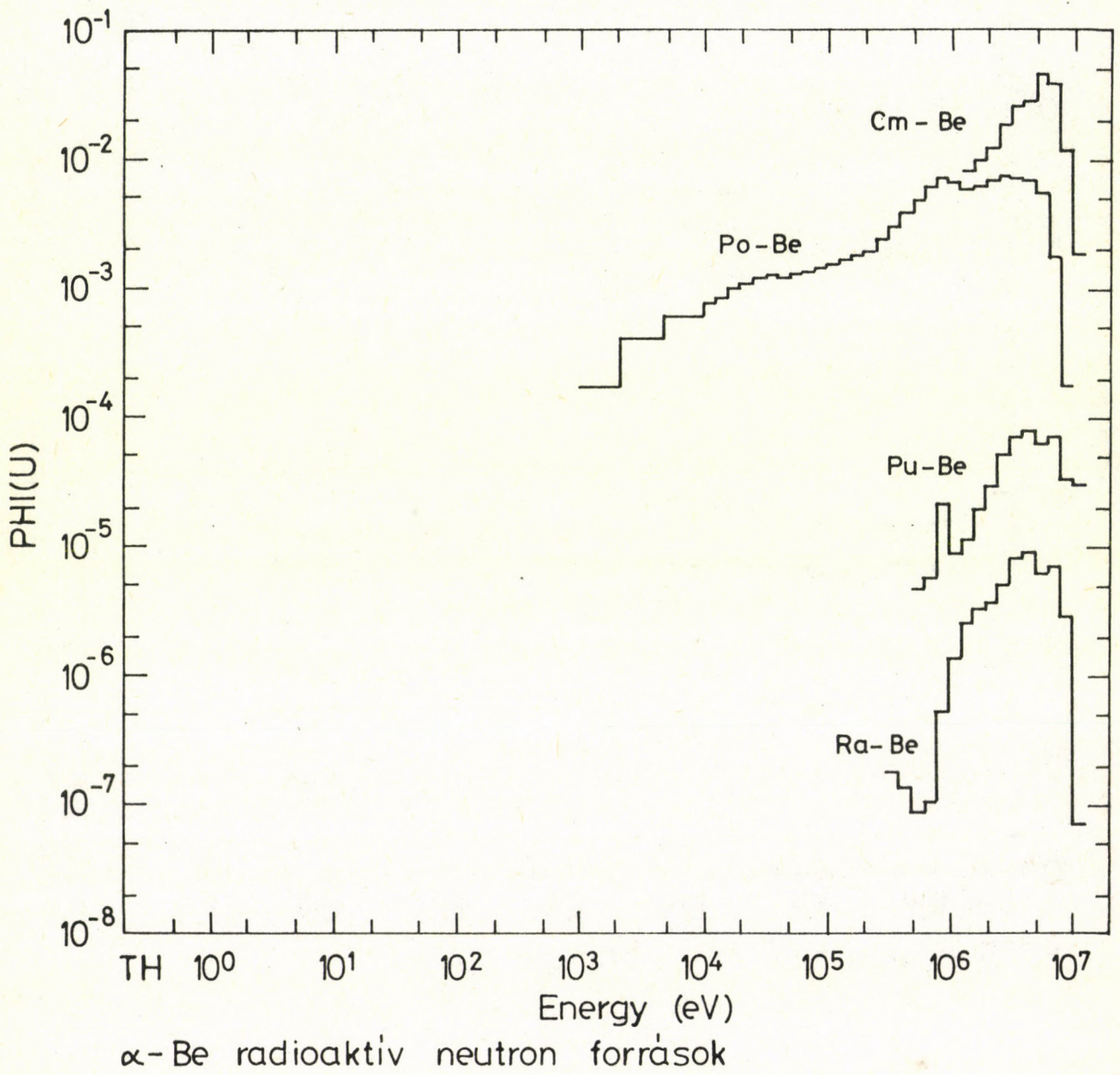


5. ábra

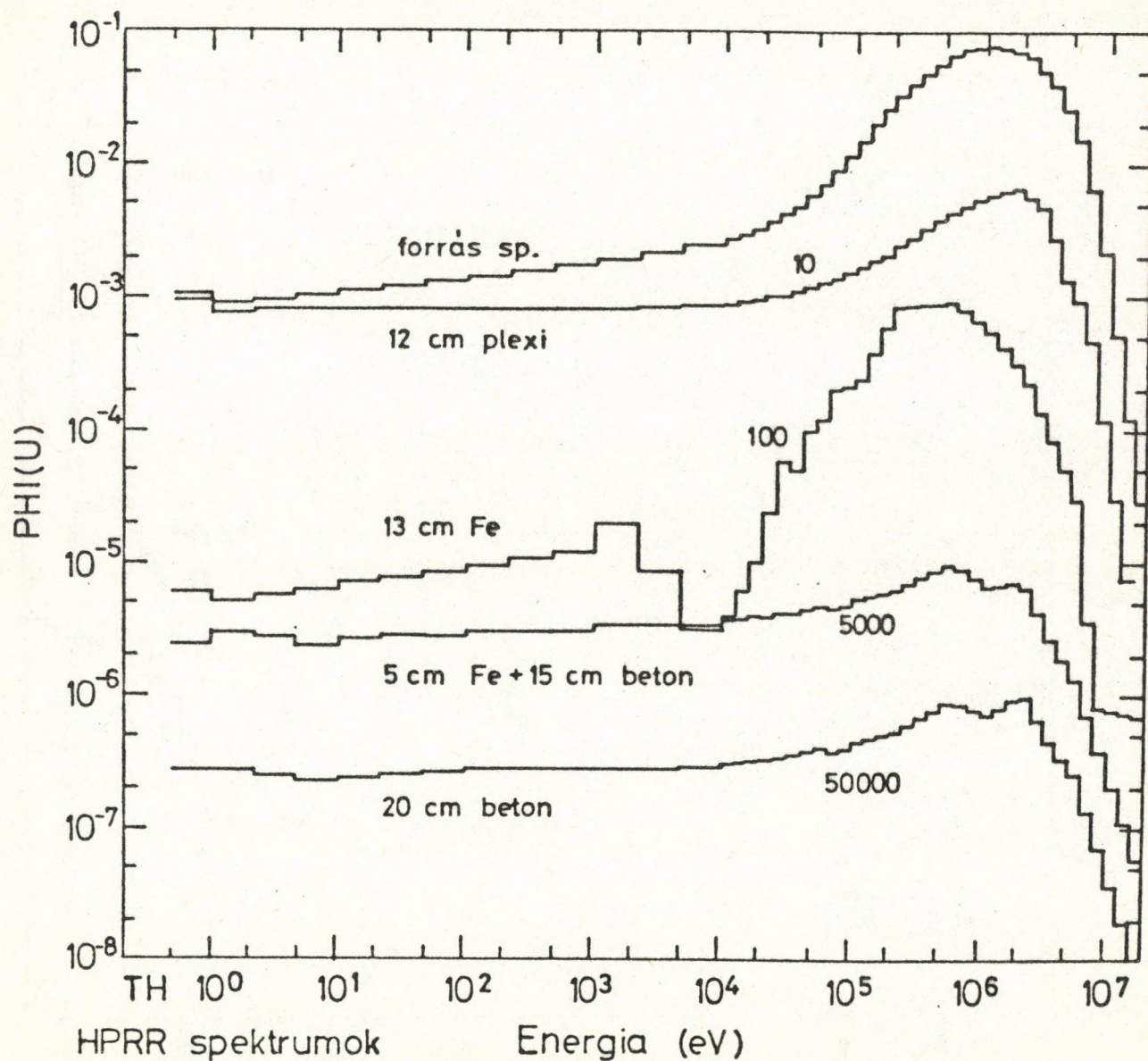


6. ábra

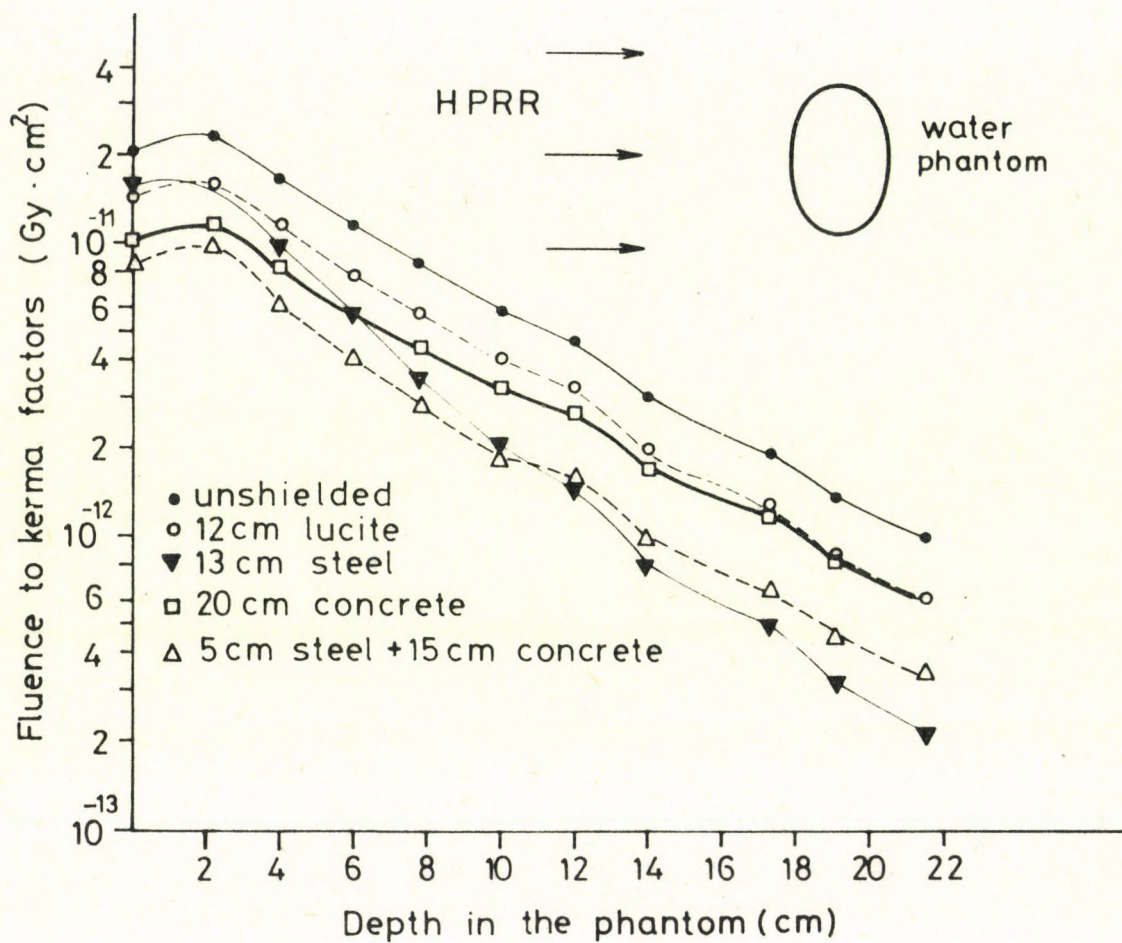




7. ábra



8. ábra



9. ábra







1917  
1918  
1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938  
1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

65296



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet  
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán  
Szakmai lektor: Biró Tamás  
Példányszám: 54 Törzsszám: 85-152  
Készült a KFKI sokszorosító üzemében  
Felelős vezető: Tőreki Béláné  
Budapest, 1985. február hó