

1972
international book year



E28

TK 41.913

101 39.386

KFKI-72-49

Frankl L.
Szabó F.
Zsolnai É.
Bollók L.
Tóth M.
Dencs B.
Bod L.

A BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
OKTATÓ ÉS KUTATÓ REAKTORA V.
A REAKTOR NUKLEÁRIS ÜZEMBEHELYEZÉSE
ÉS HELYSZINI BEMÉRÉSE

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS



BUDAPEST

2017

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT

A BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM OKTATÓ-ÉS KUTATÓ REAKTORA

V.

A REAKTOR NUKLEÁRIS ÜZEMBEHELYEZÉSE ÉS HELYSZINI BEMÉRÉSE

Frankl L., Szabó F., Zsolnai É^x, Bollók L., Tóth M., Dencs B^x, Bod L.

^x Budapesti Műszaki Egyetem

KIVONAT

E riport a Központi Fizikai Kutató Intézetnek a Budapesti Műszaki Egyetem 10 kW teljesítményű Oktató és Kutató Reaktorával kapcsolatos munkásságát leíró riport sorozat V., s egyben utolsó része, mely áttekintést ad mindazon mérésekről, melyeket a helyszíni üzembehelyezés, illetve helyszíni bemérések során kellett elvégeznünk. A jelen anyag szorosan kapcsolódik a sorozat I.sz. riportjához /Reaktorfizikai mérések és számítások; Az aktív zóna kialakítása/. A sorozat többi tagja publikációs előkészítés előtt áll.

ABSTRACT

The present report is the 5th and last one of the series of reports describing the participation of the Central Research Institute for Physics in the design, construction and measurements of the 10 kW Research-Educational Reactor of the Budapest Technical University. A survey is given on the measurements performed on the site after the first critical experiment. The present report is tightly connected with the first one of the series /Reactor-physical measurements and calculations; Construction of the core/. The other reports of the series are under publication.

РЕЗЮМЕ

Настоящая работа является последней - пятой - частью серии репортов описывающей участие Центрального Института Физических Исследований в создании 10 киловатного учебного реактора Будапештского Политехнического Университета, дающей обзор проведенных на реакторе измерений после пуска реактора и достижения мощности 10 к.ватт. Эта работа тесно связана с первой частью данной серии (Реакторно-Физические Измерения и расчёты; оптимализация активной зоны.) Остальные части данной серии находятся в стадии подготовки к печати.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	1
1. A reaktor nukleáris üzembehelyezése	4
1.1 A reaktor első /fizikai/ indítása	4
1.2 A zóna reaktivitás-tartalékának finom beállítása	6
1.3 A nukleáris üzemi próbák elvégzése	6
2. A rendszer helyszini bemérése	8
2.1 Neutronfluxus-mérések	8
2.1.1 Termikus neutronfluxus-mérések az aktív zónában, 10 kW reaktorteljesítmény beállítása	8
2.1.2 Gyors neutronfluxus-mérések az aktív zónában	14
2.1.3 Fluxusmérések a vízszintes kísérleti csatornáknál	15
2.2 Reaktivitás-mérések	26
2.2.1 A szabályozó rudak kalibrálása	26
2.2.2 Néhány reaktivitás-értékesség mérése	29
2.2.3 A gyors csőposta csatornába belőtt céltárgyak által okozott reaktivitás-ugrás hatásának vizsgálata	29
2.2.3.1 Az analóg számítógépen végrehajtott kísérletsorozat	29
2.2.3.2 A reaktoron végzett mérések	33
2.3 A reaktivitás hőfokfüggésének mérése	38
2.3.1 A zónahőmérséklet eloszlásának mérése	38
2.3.2 A reaktivitás-hőfokfüggés-mérés előkészítése	43
2.3.3 A reaktivitás-hőfokfüggés-mérés kivitelezése	45
2.3.4 Mérési eredmények	46
2.4 Sugárvédelmi mérések	49
2.4.1 Neutron- és gamma-dózisintenzitások a reaktor biológiai védelmének közvetlen környezetében	50
2.4.1.1 A reaktor-tető felszínén	50
2.4.1.2 A vízszintes kísérleti csatornák környezetében	51
2.4.1.2.1 A vízszintes kísérleti csatornák teljesen zártak	51

2.4.1.2.2	A vízszintes kísérleti csatornák félig nyitottak; Vizzár feltöltve, vasvédelem /dugó/ kiemelve	51
2.4.1.2.3	A vízszintes kísérleti csatornák teljesen nyitottak	54
2.4.1.2.4	Sugárzási szintek a teljesen nyitott, kiegészítő védelemmel ellátott csatornák esetében	54
2.4.1.3	Besugárzó alagut környezetében	54
2.4.1.3.1	A besugárzó alagut teljesen zárt	58
2.4.1.3.2	A besugárzó alagut félig nyitott	58
2.4.2	Melegkamra-védelem vizsgálata	60
2.4.3	Üzemi helyiségek /szivattyú-gépház, szellőzőközpont/ vizsgálata	60
2.4.3.1	Gamma-dózisintenzitás a szivattyú-gépházban	60
2.4.3.2	Gamma-dózisintenzitás a szellőzőközpontban	61
2.4.4	Csőposta-védelem vizsgálata	61
2.4.5	A levegő radioaktív szennyezettségének vizsgálata	61
2.4.5.1	Radioaktív gázok	61
2.4.5.2	Radioaktív aeroszolok	61
2.4.6	A primer hűtőköri vizminták vizsgálata	63
2.4.7	Sugárvédelmi következtetések	64
IRODALOMJEGYZÉK		65
MELLÉKLET. A BME atomreaktor helyszíni bemérésének programja		66

I. BEVEZETÉS

Jelen dolgozat a Budapesti Műszaki Egyetem Atomreaktorának tervezésével, építésével, üzembehelyezésével és helyszini bemérésével foglalkozó, a Központi Fizikai Kutató Intézet e témában végzett tevékenységét leíró riportsorozatának utolsó, befejező része [1,2,3,4].

A reaktor aktiv zónakonfigurációjának kialakítását, legfontosabb paramétereinek előzetes meghatározását, valamint azok 10 kW reaktorteljesítményre történő extrapolációját 1969. év második felében végeztük el a Reaktor Főosztályon felépített ZR-5 jelű kritikus rendszeren, majd ezt követően részletes reaktorfizikai számításokat is folytattunk [2] a KFKI-ban kidolgozott reaktorfizikai modell segítségével. A modell teljesítőképességét bizonyítja a mérési és számítási eredmények közötti jó egyezés, mely - a néha igen bonyolult geometriai és anyagi összetételű viszonyok között is - fennáll. Ez a jó egyezés ugyancsak egyszerűsítette a helyszini bemérési programot, mivel a KFKI-ban kapott eredmények jelentős része minden változtatás nélkül használható volt a Műszaki Egyetem reaktorára.

A helyszini mérések két nagyobb téma köré csoportosíthatók:

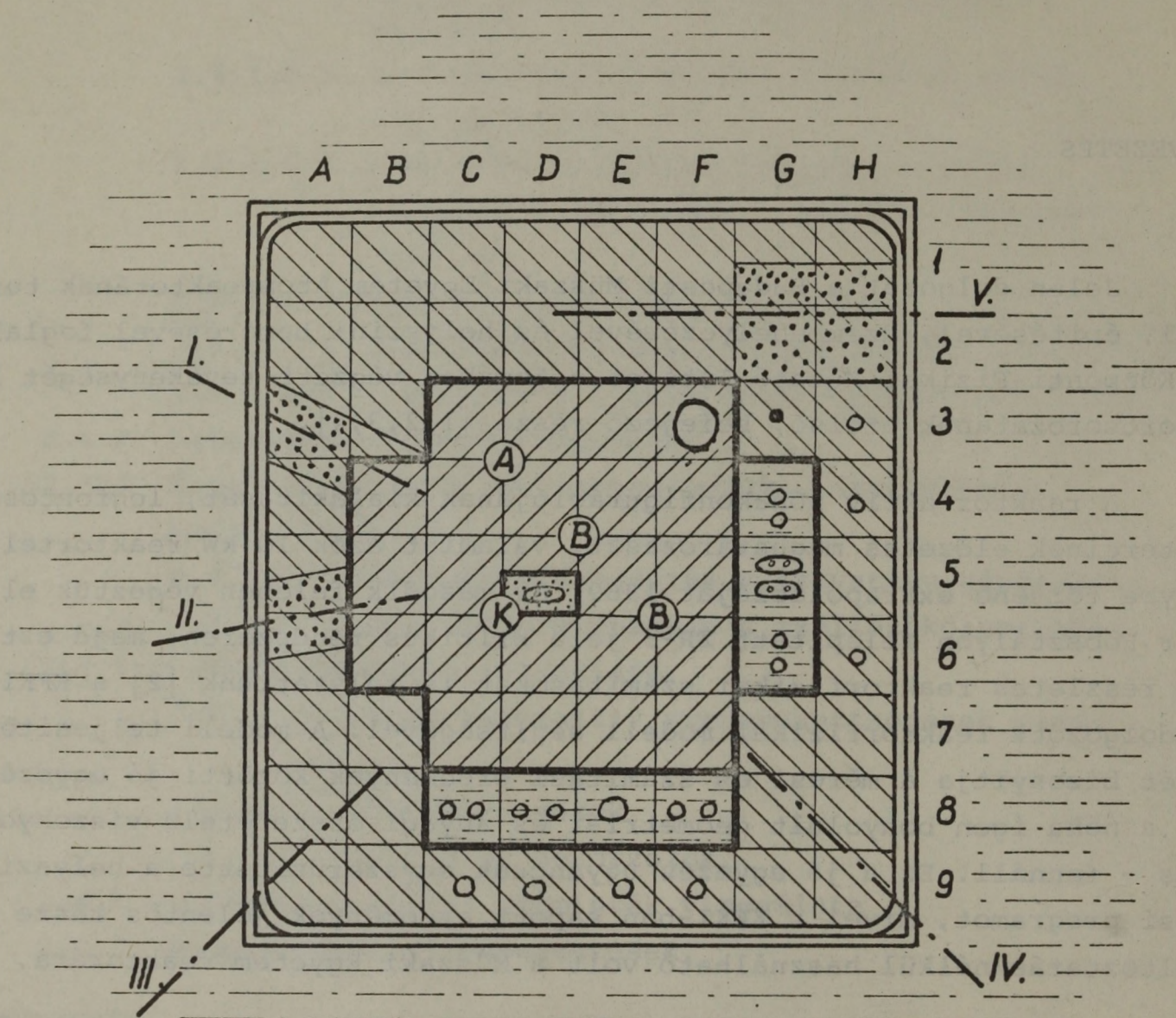
1. A reaktor nukleáris üzembehelyezése:


- 1.1 Az első /fizikai/ indítás;
- 1.2 A zóna reaktivitástartalékának finom beállítása /a zónakonfiguráció véglegesítése útján/;
- 1.3 A "meleg" /nukleáris/ üzemi próbák elvégzése.


2. A rendszer helyszini bemérése:


- 2.1 Neutronfluxus-mérések, a reaktorteljesítmény 10 kW-ra történő beállítása;
- 2.2 Reaktivitás-mérések;
- 2.3 A reaktivitás hőfokfüggése;
- 2.4 Sugárvédelmi mérések.


A helyszini mérések vázát az általunk készített és az OAB Nukleáris Szakbizottsága által elfogadott, a mellékletben közölt "A BME Atomreaktor helyszini bemérésének programja" c. anyag képezte.





 Fűtőelem


 Grafit

 Csöpposta

 Víz

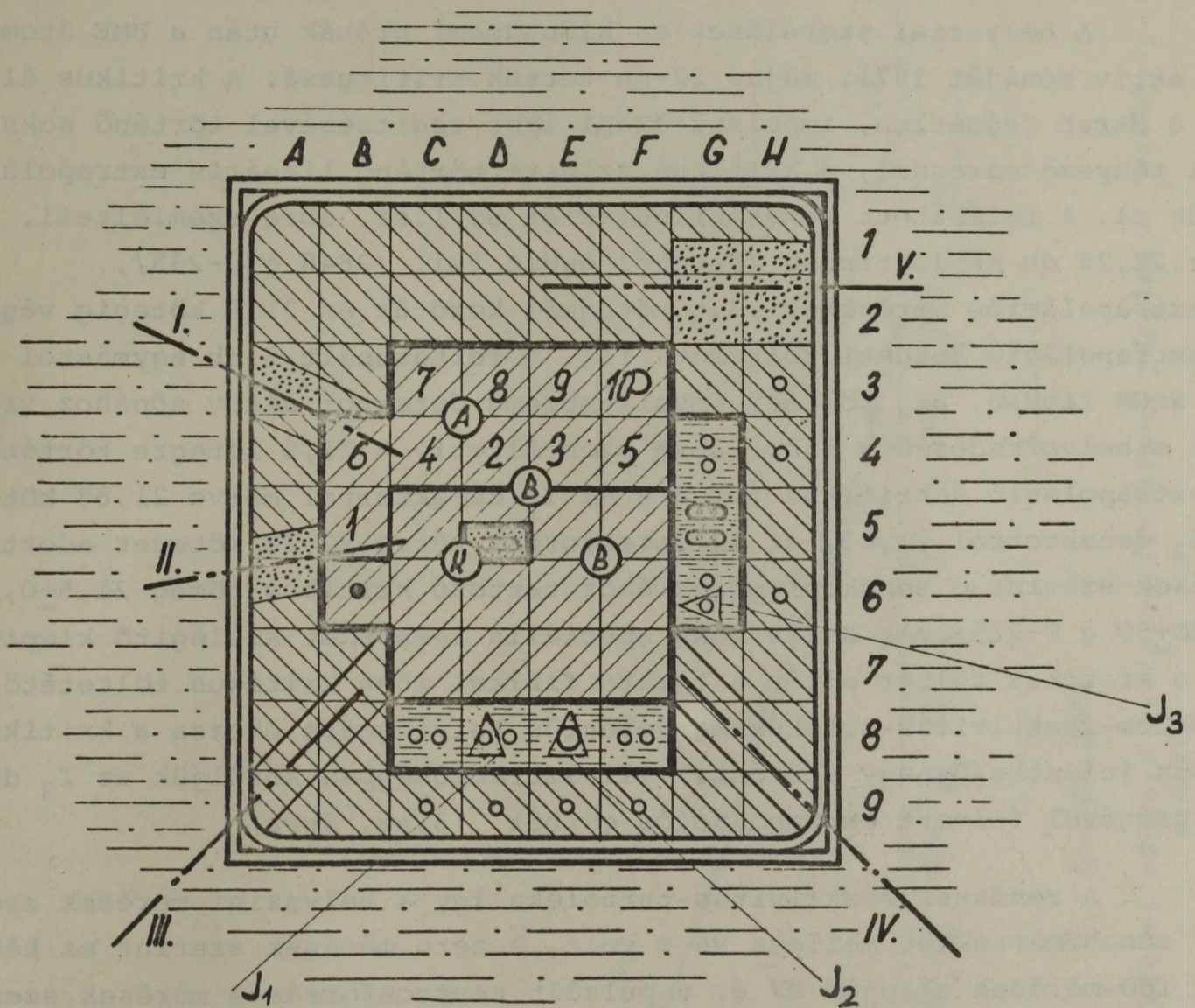
 Levegő

 Függ. besug. csat.


 Forrás-csatorna


1.sz. ábra


A zóna indításakor felépített zónakonfiguráció
22 4/16 EK-10 köteg; U-235 = 2848 g.





22,25 köteg = 2848 g U^{235}


 Fűtőelem


 Grafit


 Víz


 Levegő

 1. extrapolációs köteg

 Füg. besug. csat.

 Forrás

 Csöpósta

 Impulzus detektor

2. sz. ábra

Az extrapoláció kezdeti töltete, ill. a 3 darab SzNM típusú extrapolációs detektor elhelyezkedése

1. A REAKTOR NUKLEÁRIS ÜZEMBEHELYEZÉSE

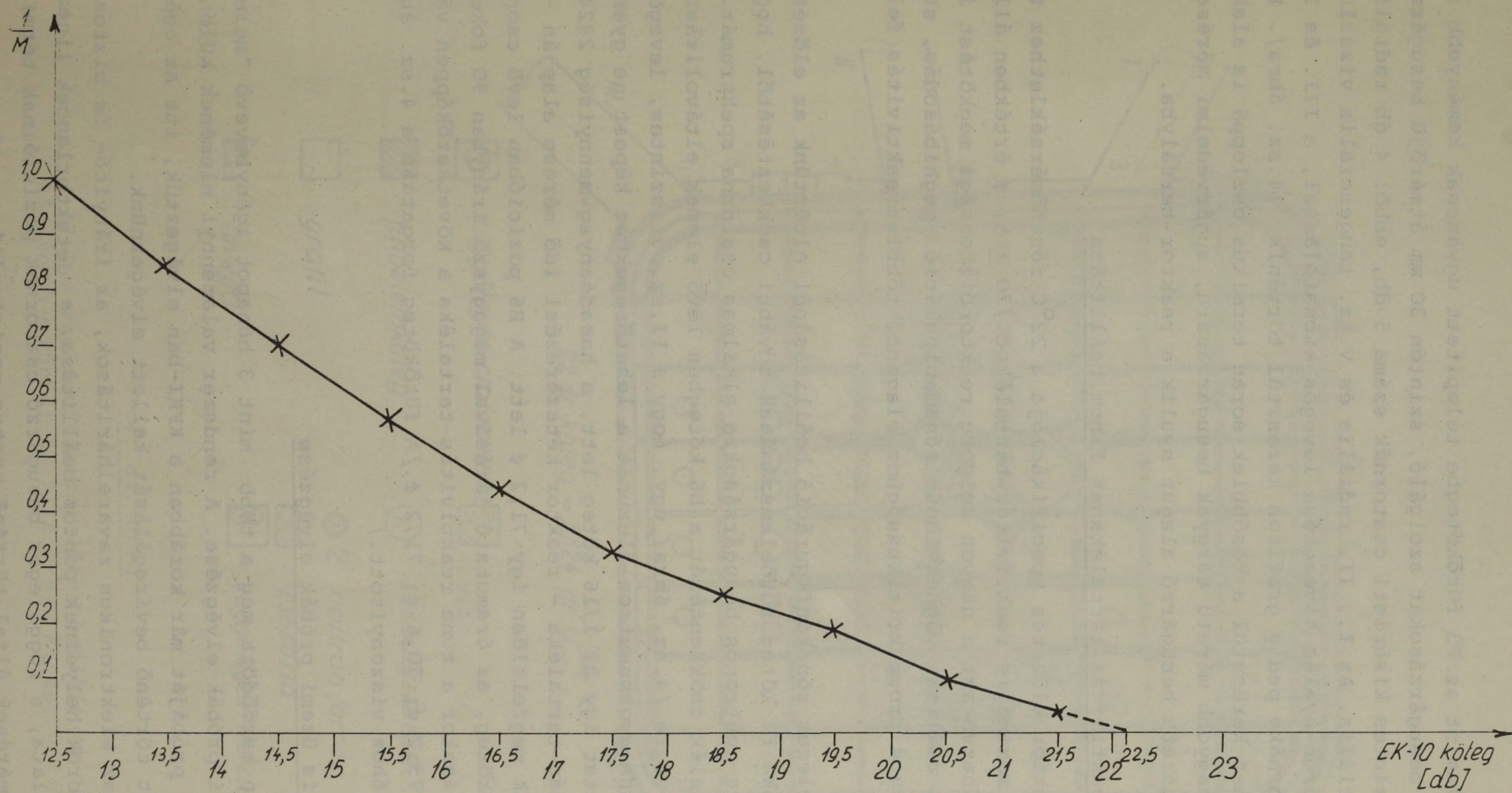
1.1. A reaktor első /fizikai/ indítása

A helyszini szerelések és hidegüzemi próbák után a BME Atomreaktor aktív zónáját 1971. május 22-én tettük kritikussá. A kritikus állapotot 3 darab független, impulzus-üzemi lánc segítségével történő sokszorozási tényező mérésével, a kritikus szintre történő lineáris extrapolációval értük el. A felépített zónakonfigurációt az 1.sz. ábra szemlélteti. A rendszer 22,25 db EK-10 típusu kötegből épült fel. /2848 g U-235/. Az extrapolációs méréseket 12,5 kötegnél kezdtük és 21,5 köteggig végeztük. Az extrapoláció kezdeti töltetét, ill. a felhasznált 3 db egymástól független SzNM típusu, BF_3 töltésű impulzusüzemű detektor aktív zónához viszonyított elhelyezkedését a 2.sz. ábra szemlélteti. A 21,5 kötegre történő utolsó extrapoláció a kritikus tömegre az I_1 detektorral mérve 21,87 köteget, az I_2 detektorral 21,83, az I_3 detektorral mérve 22,25 köteget adott. A ZR-5 mérések szerint e zónakonfigurációhoz tartozó kritikus tömeg $21,5 \pm 0,4$ köteg /2740 \pm 50 g U-235/. /Az aktív zóna speciális igényeket kielégítő kiépítése miatt a kritikus töltet eltér a tiszta fizikai zóna kritikus töltetétől. A fűtőelem-reaktivitás-értékek jelentős helyfüggése okozza a kritikus töltetben jelentkező nagy szórást./ Illusztrációképpen közöljük az I_3 detektor segítségével felvett extrapolációs görbét /3.sz. ábra/.

A rendszer reaktivitás-tartaléka így a helyszini mérések szerint 24°C zónahőmérséklet mellett 96ϕ volt. A zéro mérések szerint ez kétszereségi idő-mérések alapján 87ϕ , a pulzált neutronforrásos mérések szerint pedig 91ϕ . Figyelembe véve a Zr-5 rendszeren használt makettek számát /reflektor elemek, csőposták, vízszintes csatorna kicsatoló elem/, a reaktivitás-tartalék egyezése teljes mértékben kielégítő.

Az aktív zóna részletes leírását [1] tartalmazza, itt most csak rövid jellemzését kívánjuk megtenni:

Az aktív zóna EK-10 típusu, U-235-ben 10%-ra dúsított fűtőelemből épül fel kötegelt kivitelben. Moderátorként vizet, reflektorként viz-grafit kombinációt alkalmaztunk. A rendszer beavatkozó és irányítási szervei: 2 db biztonságvédelmi rud /BV1; BV2/, 1 db u.n. kézi szabályozó rud /K/ és 1 db automata szabályozó rud /A/. Az aktív zóna melletti vízreflektorban helyezkednek el a belső besugárzó csatornák, 5x2 db 30 mm átmérőjű u.n. osztott "iker" csatorna, 1 db nagyátmérőjű /45 mm/ besugárzó csatorna. A víz előreflektáló réteg mögötti grafit kiszorítóban foglalnak helyet a külső besugárzó csatornák, számszerint 7 db. A speciális csatornák száma 4 db: a G5 pozíció jobb és bal felében helyeztünk el egy-egy pneumatikus csőposta-rendszerrel kiszolgálható "termikus" csőpostát, a D5 pozícióban fél köteg helyét foglalja el az ugyancsak csőposta-rendszerrel kiszolgálható "gyors" csőposta-csator-



3. sz. ábra

Az I_3 detektorral felvett erősítési tényező reciprok értékének függése a fűtőkötégszámtól

na [2,3], valamint az F3 fűtőkötégbe telepített ugyancsak keményebb spektrumot igénylő besugárzásokat szolgáló, szintén 30 mm átmérőjű besugárzó csatorna. A vízszintes kísérleti csatornák száma 5 db, ebből 4 db radiális és egy db tangenciális. Az I., II. radiális és V.sz. tangenciális vízszintes csatornák neutron-nyaláb kivezetése levegős kicsatolással, a III. és IV.sz. radiális csatornáké pedig grafiton keresztül történik /4.sz. ábra/. Ezenkívül a védelmen keresztül a későbbiek során termikus oszloppá is alakítható, jelenleg nagyobb méretű tárgyak besugárzására, sugárvédelmi mérésekre alkalmas nagyméretű besugárzó alagut nyulik a reaktor-tartályba.

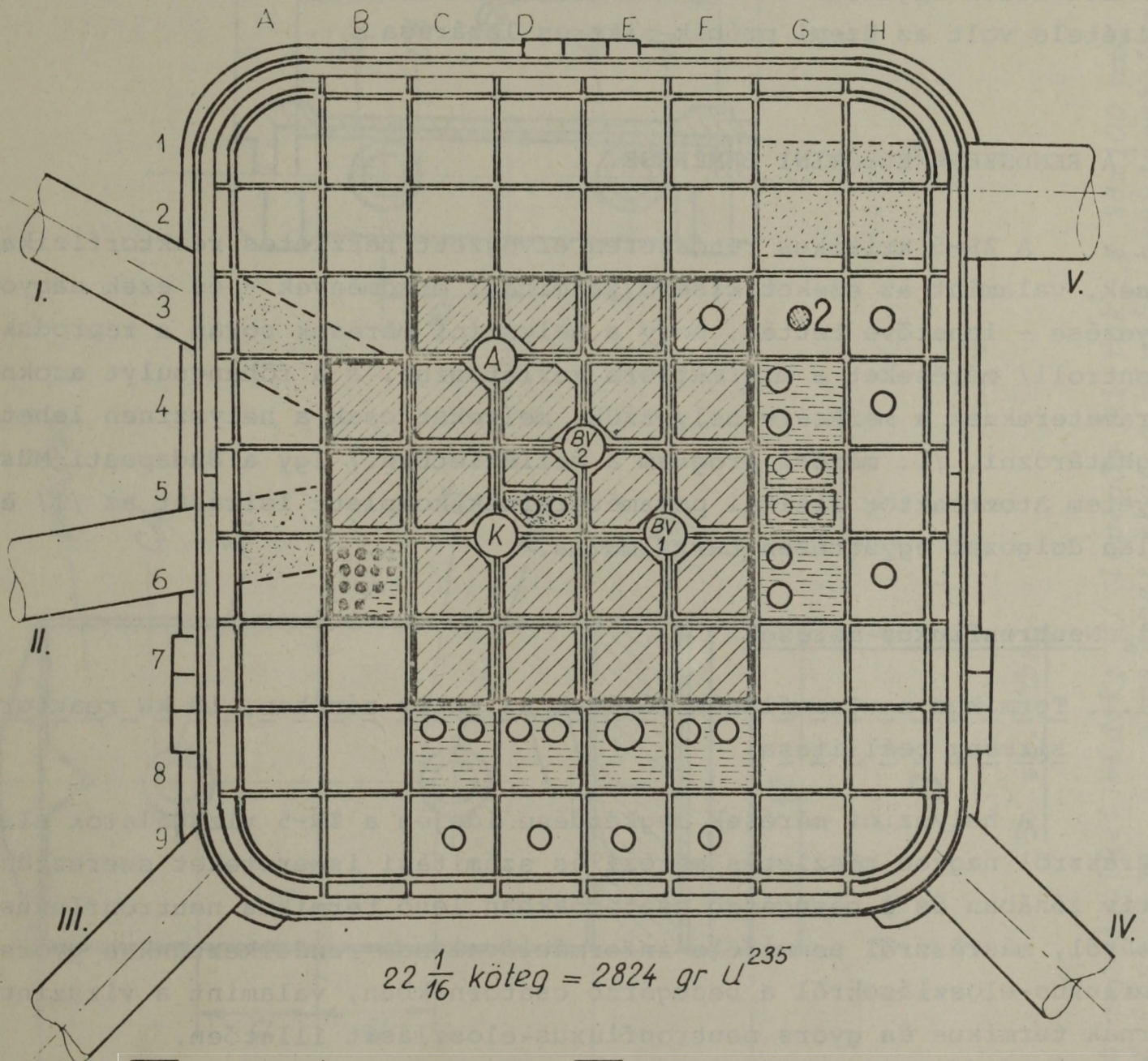
1.2. A zóna reaktivitás-tartalékának finom beállítása










A reaktor előzetes specifikációja a 22°C zónahőmérsékletéhez tartozó beépíthető maximális reaktivitás-tartalékot 70 ± 5 ϕ értékben állapította meg, aláhuzva azt a nagyon szigorú reaktorbiztonsági megkötést is, hogy semmilyen reálisan véghezvihető zónamanipuláció /meghibásodás, stb./ által se legyen a promptkritikussághoz elegendő többletreaktivitás felszabadditható.

A végleges zónakonfiguráció beállításánál eltértünk az előzetesen tervezett csonka F3 köteg fűtőelemszámának további csökkentésétől, hogy ne rontsuk e gyors-neutronos besugárzásokra alkalmas csatorna spektrumát. A reaktivitás-tartalék csökkentését a B6 kötegben lévő elemek eltávolítása után hajtottuk végre /4.sz. ábra/ úgy, hogy a II.sz. vízszintes, levegővel csatolt csatorna gyorsneutron-fluxusát a lehetőségekhez képest ne gyengítsük. A zónatöltet így $22 \frac{1}{16}$ köteg lett, a hasadóanyag-mennyiség 2824 g. A zóna reaktivitás-tartaléka - reaktor kétszerezési idő mérése alapján - a specifikációnak megfelelően így $71,2 \phi$ lett. A B6 pozícióban levő csonka, 13 elemes fűtőkötég, az óramutató járásával megegyező irányban 90 fokként történő forgatásakor a zóna reaktivitás-tartaléka a következőképpen változott: $74,8 \phi$, $75,2 \phi$; $70,6 \phi$; $71,2 \phi$. /A fűtőkötég forgatása a 4.sz. ábrán jelzett pozícióhoz viszonyított./

1.3. A nukleáris üzemi próbák elvégzése

Ezután kezdődött meg a több mint 3 hónapot igénybevevő "meleg", nukleáris üzemi próbák elvégzése. A rendszer valamennyi elemének külön-külön az üzemi próbáját már korábban a KFKI-ban elvégeztük, itt az egész rendszer együtt történő bevizsgálását kellett elvégeznünk. Ide tartoztak az elektronikus zavarelhárítások, az irányító- és biztonságvédelmi detektorok helyeinek pontos beállítása, a detektorláncok linearitásának vizsgálata, a függőleges besugárzó csatornák pozícióinak termikus neutronfluxus-mérések által történő pontos pozicionálása, stb.



- | | | | |
|---|----------------------------|--|--------------------------------|
|  | <i>függőleges csatorna</i> |  | <i>víz</i> |
|  | <i>fűtőelemköteg</i> |  | <i>szabályzó rúd</i> |
|  | <i>grafit</i> |  | <i>neutron forrás</i> |
|  | <i>levegő</i> |  | <i>csöposta</i> |
| | |  | <i>függőleges ikercsatorna</i> |

4. sz. ábra

A 71,2 ϕ reaktivitástartalékra beállított végleges zónakonfiguráció; 22 1/16 EK-10 köteg; U-235=2824 g

Meg kívánjuk jegyezni, hogy a nukleáris üzemi próbák idején alkalmazott mérési módszerek semmiben sem különböztek a 2. részben leírt, a kapott mérési eredményeket tárgyaló részben alkalmazottaktól, csupán azért gyűjtöttük ezt külön fejezetbe, mert a végleges zóna bemérésének elengedhetetlen feltétele volt az üzemi próbák sikeres lezárása.

II. A RENDSZER HELYSZINI BEMÉRÉSE

A ZR-5 kritikus rendszeren elvégzett részletes reaktorfizikai mérések, valamint az ezeket kísérő számítási eredmények - és ezek nagyon jó egyezése - lehetővé tették, hogy a helyszini mérések során a reprodukciós /kontroll/ méréseket a minimálisra korlátozzuk, s a főhangsúlyt azoknak a paramétereknek a mérésére helyezzük, melyeket csak a helyszinen lehetett meghatározni. /L. mérési program a mellékletben./ Így a Budapesti Műszaki Egyetem Atomreaktor fizikai paramétereinek komplett leírását az /1/ és a jelen dolgozat együttesen tartalmazza.

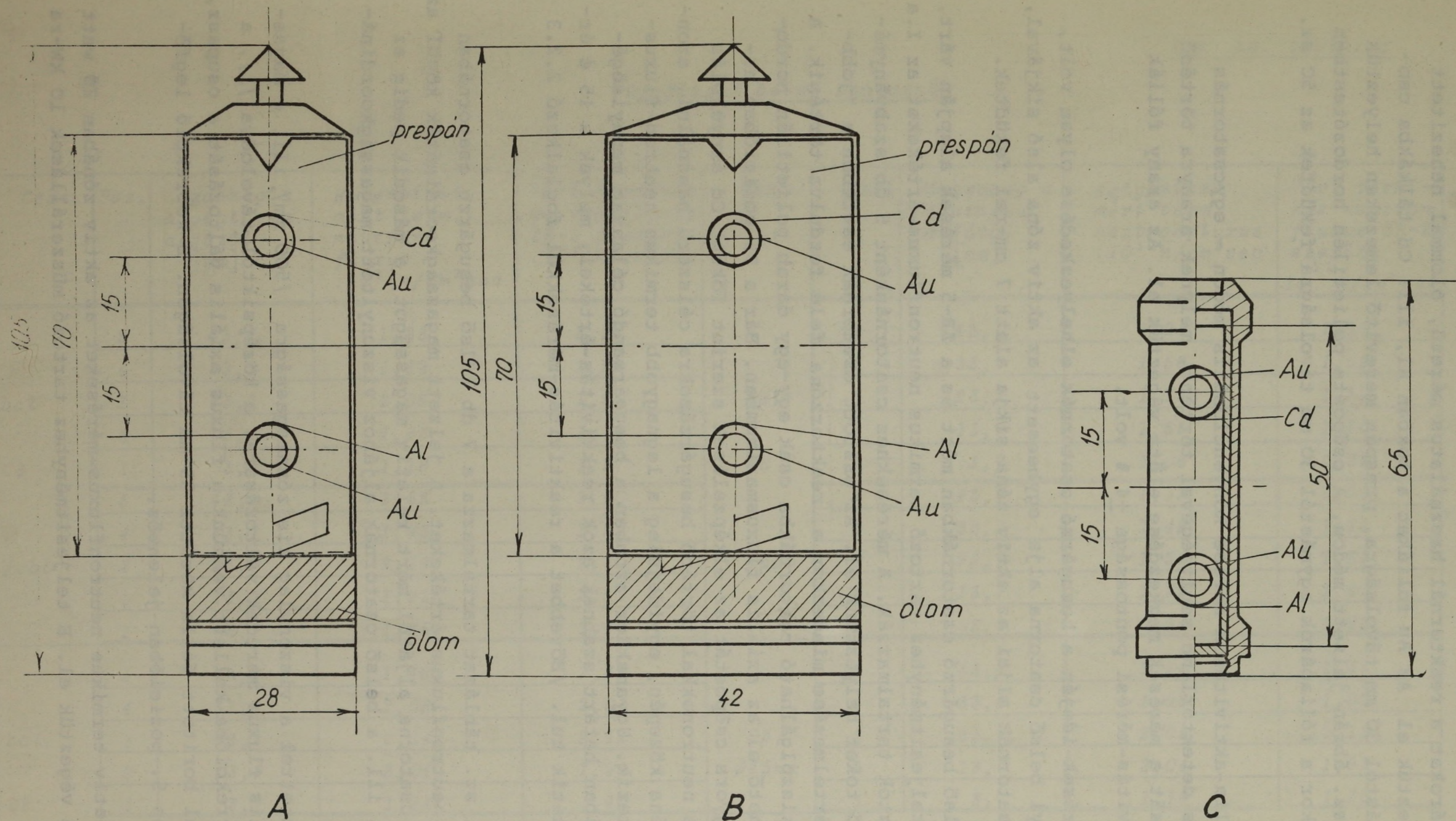
2.1. Neutronfluxus-mérések

2.1.1. Termikus neutronfluxus-mérések az aktív zónában, 10 kW reaktorteljesítmény beállítása

A helyszini mérések megkezdése idején a ZR-5 vizsgálatok alapján egyrésztől nagyon részletes mérési és számítási ismereteket szereztünk az aktív zónában és a besugárzó csatornában levő termikus neutronfluxus eloszlásáról, másrésztől semmiféle információval nem rendelkezünk a gyors neutronfluxus-eloszlásokról a besugárzó csatornában, valamint a vízszintes csatornák termikus és gyors neutronfluxus-eloszlását illetően.

Az [1]-ben közöltek szerint a ZR-5 mérések és számítások alapján ismert volt a zóna pontos átlagfluxusának a külső besugárzó csatornához viszonyított aránya, s így a reaktorteljesítmény beállítását visszavezethettük a külső besugárzó csatornák 10 kW teljesítményhez tartozó fluxusértékek beállításához. /Referenciahelyként azért választottuk a grafitba telepített külső csatornákat, mivel geometriai pozicionálásuk jól definiált volt, szemben a vízreflektorban kialakított belső besugárzó csatornákkal, melyek pozicionálására nagyon érzékenyen reagálnak a bennük kialakult fluxuseloszlás értékei./

Az aktív zónában a termikus neutronfluxus-eloszlás-méréseket Au-Au/Cd/ aktivációs módszerrel határoztuk meg, 5 mm átmérőjű 92 mg/cm² vastag, 99,99 % tisztaságu arany fóliapárok segítségével. A mérések során az Au fóliák kadmium borítása minden esetben 0,5 mm vastag volt.



5. sz. ábra

Az Au-foliás méréseknél alkalmazott csomagolási módok; A/ levegős Al tok, $\varnothing 28 \times 100$ mm; B/ az E8 csatornában használt levegős Al tok, $\varnothing 42 \times 100$ mm; C/ a csőpostákban a minták besugárzására, szállítására használt polietilén hordozóttest

A mérő fóliapárokat a reaktornál használatos méretű, ólommal nehezített tokokban helyeztük el. Az Au fóliákat a tokban Al, ill. Cd tálcákba csomagolva, egymástól 30 mm távolságra, prespán merevítő lemezekon helyeztük el az 5A, 5B sz. ábrán jelzett módon. A csőposta polietilén hordozótestben történő méréskor a fóliapárok egymástól 30 mm távolságra feküdtek az 5C sz. ábra szerint.

A fólia-aktivitások mérése konvencionális módon - egycsatornás szcintillációs detektorlánc segítségével történt, melynek aranyra történő abszolútizálását a mérések megkezdése előtt végeztük el. Az arany fóliák abszolút aktivitás-mérési pontossága $\pm 4\%$ volt.

A mérések idején a besugárzó csatornák elhelyezkedése olyan volt, hogy valamennyi belső csatorna alja egybeesett az aktiv zóna alsó síkjával, míg a külső csatornák aljai az aktiv zóna síkja alatt 7 cm-rel feküdtek.

A belső besugárzó csatornáknál mért és a ZR-5 mérések alapján várt, 10 kW reaktorteljesítményhez tartozó termikus neutronfluxus-értékeket az I.a és I.b táblázatok tartalmazzák. A mérésekhez csatornánként 5 db szabványméretű besugárzó tokot helyeztünk el. Az osztott csatornák esetében a "jobbal" oldalak értelmezése mindenkor a reaktorzóna felé fordulva történik. A csőpostákkal kiszolgálható csatornáknál csak egy-egy darab polietilén hordozó tok helyezhető el az axiális fluxusmaximumban. Bár a D5 pozícióban helyet foglaló gyors csőpostát az elképzelések szerint főként Cd árnyékolás melletti gyors neutronokkal történő besugárzásokra célszerű használni, azonban lévén a zóna közepén, egyidejűleg a legnagyobb termikus neutron-fluxussal is rendelkezik. Ugyanakkor azonban a besugárzandó célanyag mennyiségének e csatornában határt szabnak azok reaktivitás-értékei, melyek a 15ϕ értéket nem léphetik túl. /Bővebbet a reaktivitás-mérésekkel foglalkozó 2.2.3 pontban./

A II. sz. táblázat tartalmazza a 7 db külső besugárzó csatornában mért termikus neutronfluxus-értékeket. A jelzett magasságkoordináták közül az első oszlop a csatorna aljától mért relatív magasságot, a második pedig az aktiv zónához, ill. a belső csatornák aljához viszonyított magasságkoordinátákat jelzi.

Tekintettel a viszonylag kis zónamagasságra /500 mm/, ill. e magasságon az axiális fluxus meredek változására, a középsiktől távolodva /1/, a méréseknél korrekcióba kellett vennünk a fluxus axiális változását a csupasz, ill. kadmiummal borított fólia közötti 35 mm távolságon. E korrekció legfőképpen az 1. és 5. pozícióban jelentős.

A relatív termikus neutronfluxus-méréseket az aktiv zónában 20 watt teljesítményen végeztük el. E teljesítményhez tartozó műszerállások 10 kW-ra

Függőleges belső csatornák

Csat.	Poz.	Magasság a a csatorna aljától [cm]	Helyszínen mért term. neutron- fluxus .10 ¹¹ n/cm ² sec	Várt termikus neutronfluxus ZR-5 szerint .10 ¹¹ n/cm ² sec	Csat.	Poz.	Magasság a csatorna aljától [cm]	Helyszínen mért term. neutronfluxus .10 ¹¹ n/cm ² sec	Várt termi- kus neutron- fluxus ZR-5 szerint .10 ¹¹ n/cm ² sec
bal	5	43,7	1,28	1,24	bal	5	43,7	1,24	1,19
	4	33,7	1,82	1,76		4	33,7	1,56	1,69
	3	23,7	2,06	1,94		3	23,7	1,71	1,87
	2	13,7	1,83	1,78		2	13,7	1,55	1,70
	1	3,7	1,18	1,27		1	3,7	1,06	1,22
jobb	5	43,7	1,35	1,40	jobb	5	43,7	1,12	1,00
	4	33,7	1,93	1,99		4	33,7	1,46	1,42
	3	23,7	2,18	2,20		3	23,7	1,57	1,57
	2	13,7	1,92	2,02		2	13,7	1,39	1,43
	1	3,7	1,25	1,44		1	3,7	0,94	1,02
bal	5	43,7	1,48	1,36	E8 Ø45mm	5	43,7	1,44	1,35
	4	33,7	2,08	2,01		4	33,7	1,96	1,92
	3	23,7	2,24	2,14		3	23,7	2,05	2,12
	2	13,7	2,01	1,96		2	13,7	2,04	1,93
	1	3,7	1,34	1,40		1	3,7	1,16	1,38
jobb	5	43,7	1,57	1,51					
	4	33,7	2,19	2,14					
	3	23,7	2,40	2,37					
	2	13,7	2,08	2,17					
	1	3,7	1,42	1,55					

Függőleges belső csatornák /folyt./

Csat.	Poz.	Magasság a csatorna aljától [cm]	Helyszínen mért term. neutronfluxus $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Várt termikus neutronfluxus ZR-5 szerint $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Csat.	Poz.	Magasság a csatorna aljától [cm]	Helyszínen mért term. neutronfluxus $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Várt termikus neutronfluxus ZR-5 szerint $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	
G6	bal	5	43,7	1,38	G4	bal	5	43,7	1,60	
		4	33,7	1,97			4	33,7	2,13	
		3	23,7	2,08			3	23,7	2,28	
		2	13,7	1,79			2	13,7	2,02	
		1	3,7	1,20			1	3,7	1,30	
	jobb	5	43,7	1,58		jobb	5	43,7	1,50	1,33
		4	33,7	2,18			4	33,7	2,01	1,88
		3	23,7	2,37			3	23,7	2,15	2,08
		2	13,7	2,03			2	13,7	1,96	1,90
		1	3,7	1,31			1	3,7	1,27	1,35
G5 A jobb	-	term.csőposta	2,36	2,4	F3	5	43,7	1,05	1,04	
G5 B bal	-	term.csőposta	2,41	2,4		4	33,7	1,45	1,47	
						3	23,7	1,57	1,58	
						2	13,7	1,44	1,48	
						1	3,7	1,00	1,06	
D5	-	gyors csöp.	2,8	-						

Függőleges külső csatornák

Csat.	Poz.	Magasság a		Helyszinen mért term. neutronfluxus $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Várt termikus neutronfluxus ZR-5 szerint $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Csat.	Poz.	Magasság a		Helyszinen mért termikus neutronfluxus $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	Várt termikus neutronfluxus ZR-5 szerint $\cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$
		csat. aljától [cm]	belső csat.- hoz vi- szonyítva					csat. aljától [cm]	belső csat.- hoz vi- szonyítva		
	5	43,7	36,7	0,85	0,84		5	43,7	36,7	0,86	0,79
	4	33,7	26,7	0,96	0,99		4	33,7	26,7	0,95	0,93
C9	3	23,7	16,7	0,92	0,95	H3	3	23,7	16,7	0,88	0,89
	2	13,7	6,7	0,72	0,74		2	13,7	6,7	0,69	0,70
	1	3,7	-3,3	0,44	0,39		1	3,7	-3,3	0,43	0,37
	5	43,7	36,7	0,90	0,92		5	43,7	36,7	1,02	0,92
	4	33,7	26,7	1,03	1,09		4	33,7	26,7	1,11	1,09
D9	3	23,7	16,7	1,00	1,05	H4	3	23,7	16,7	1,07	1,05
	2	13,7	6,7	0,76	0,82		2	13,7	6,7	0,78	0,82
	1	3,7	-3,3	0,45	0,43		1	3,7	-3,3	0,49	0,43
	5	43,7	36,7	0,83	0,84		5	43,7	36,7	1,00	0,92
	4	33,7	26,7	1,00	0,99		4	33,7	26,7	1,15	1,09
H9	3	23,7	16,7	0,92	0,95	H6	3	23,7	16,7	1,04	1,05
	2	13,7	6,7	0,71	0,74		2	13,7	6,7	0,79	0,82
	1	3,7	-3,3	0,43	0,39		1	3,7	-3,3	0,48	0,43
	5	43,7	36,7	0,74	0,68						
	4	33,7	26,7	0,83	0,80						
F9	3	23,7	16,7	0,79	0,77						
	2	13,7	6,7	0,59	0,60						
	1	3,7	-3,3	0,38	0,32						

történő extrapolációjával állítottuk be az irányító- és biztonságvédelmi láncok detektorainak végső pozícióit.

A 10 kW-os reaktorteljesítmény elérését fokozatosan, öt lépésben hajtottuk végre a reaktorteljesítmény mért termikus neutronfluxus-értékektől történő számításával, valamint részletes dozimetriai kontrollal egybekötve. /Lásd 2.4 pontot./ A teljesítmény-lépcsők a következők voltak: 20 W; 193 W; 1 kW; 6,45 kW; 10 kW. A 10 kW reaktorteljesítményhez tartozó műszerállások:

galvanométer: 200 μ A
BV₁ erősítő, E₄: 6/100 műszerállás
BV₂ erősítő, E₅: 7/100 műszerállás
log I₁ telítésben
log I₂ telítésben
log E₃ 10⁻⁴
I₁, I₂ bénítva

A fluxusmérésekkel történt detektorlánc-linearitás ellenőrzések szerint a 100-10.000 watt teljesítmény-intervallumban a láncok \pm 10%-on belül lineárisak.

2.1.2. Gyors neutronfluxus-mérések az aktív zónában

Tekintettel a ZR-5 rendszer maximálisan 8,5 watt teljesítményére, előzetes méréseink során nem rendelkezünk semmiféle gyors neutronfluxus-adattal a besugárzó csatornákat illetően. A méréseket kén küszöbdetektorral végeztük. A tablettá formájú detektorokat spektráltiszta kénből, préseléssel, kötőanyag nélkül készítettük 12 mm átmérővel és 900 mg/cm² vastagságban. A fóliák vastagsága nagyobb volt, mint a kénre jellemző betasugárzás-hoz tartozó telítési vastagság.

A besugárzó kapszulák mérete és a fóliák csomagolása hasonló volt az arany fóliák csomagolásához. A kén tablettá a kapszula hasznos terének közepén foglalt helyet \sim 5 μ A vastagságú Al fóliába csomagolva, prespán tartólemezre rögzítve.

A tabletták mérésére előzetesen bekalibrált szcintillációs mérőberendezést használtunk. A besugárzott S tabletták mérése során a termikus neutronfluxus hatására, a mintegy 0,5 %-ban jelenlevő S³⁵ izotóp zavaró lágy betakomponensét /0,16 MeV/ 40 mg/cm² vastagságú Al abszorbens közbeiktatásával szűrtük ki. Ugyanezt az abszorbenst használtuk mind a tabletták bemérésénél, mind előzetesen a szcintillációs detektorok abszolútizálásánál is.

A mérőlánc abszolútizálása az IAEA-tól vásárolt, 1% pontossággal be-

mért, a telítési vastagságot ugyancsak meghaladó vastagságu kén tabletták segítségével történt.

A gyors neutronfluxus számításakor felhasználtuk a VVR-Sz reaktor spektrumára vonatkozó irodalmi adatokat [5], mely szerint $\sigma_{\text{eff}} = 0,114$ barn, $E_{\text{eff}} = 1$ MeV.

Tekintettel a hatáskeresztmetszetek alacsony értékére, mind a relatív, mind az abszolút besugárzásokat 10 kW maximális reaktorteljesítményen végeztük el. Mivel kén tablettáink száma erősen korlátozott volt, ezért a méréseket nagyjából a keményebb spektrumú csatornákra koncentráltuk, így: F3 - fűtőkötébe épített, valamint D5 pozícióban levő gyors csőposta csatornában, a G6, D8 és C8 jobb- és baloldali csatornában, az E8 nagyátmérőjű csatornában, valamint a G5 pozíció jobb oldalán fekvő termikus csőposta csatornában. A külső besugárzó csatornák gyors neutronfluxusa már jelentéktelen, így csak a H6 és D9 csatornában végeztünk méréseket. Az 1 MeV effektív energia feletti tartományhoz tartozó gyors neutronfluxus-értékeket a belső csatornában a III. sz., a külső csatornában a IV. sz. táblázat tartalmazza. /A IV. sz. táblázatban szereplő kettős magasságkoordináta a külső csatornáknak a belsőkhöz viszonyított 7 cm-es szintkülönbségéből ered./ A gyors csőpostának az aktív zónában történt elhelyezése és konstrukciós megoldása közel háromszorosára növelte a $\phi_{\text{gy}}/\phi_{\text{th}}$ arányt a besugárzó csatornához viszonyítva. Tekintettel a mérésben szereplő kiindulási adatok pontatlanságára, a kapott fluxusértékek pontossága nem jobb $\pm 25\%$ -nál.

2.1.3. Fluxusmérések a vízszintes kísérleti csatornáknál

A zéro mérések során nem rendelkezünk sem termikus, sem gyors neutronfluxus-adattal a vízszintes csatornákat illetően, így a csatornában kialakult fluxuseloszlásokat részletesen fel kellett térképezni.

Az aktív zónához 5 darab vízszintes csatorna csatlakozik a padlószinttől számított 1 m magasságban. A csatornák közül 4 darab: I-IV.sz., 60 mm belső átmérőjű és az aktív zónához viszonyítva radiális irányú, az V. sz. pedig 90 mm belső átmérővel rendelkezik és tangenciális irányú /6.sz. ábra/.

Valamennyi csatorna a betonvédelem külső felületéhez csatlakozik, lépcsős módon kifelé bővülve. A csatornák zóna melletti szakaszában vízzár-rendszer, a külső végén pedig 400 mm vastag acéldugó biztosítja a védelmet. A mérések idejére a vízzárról leengedtük a vizet és az acéldugókat eltávolítottuk.

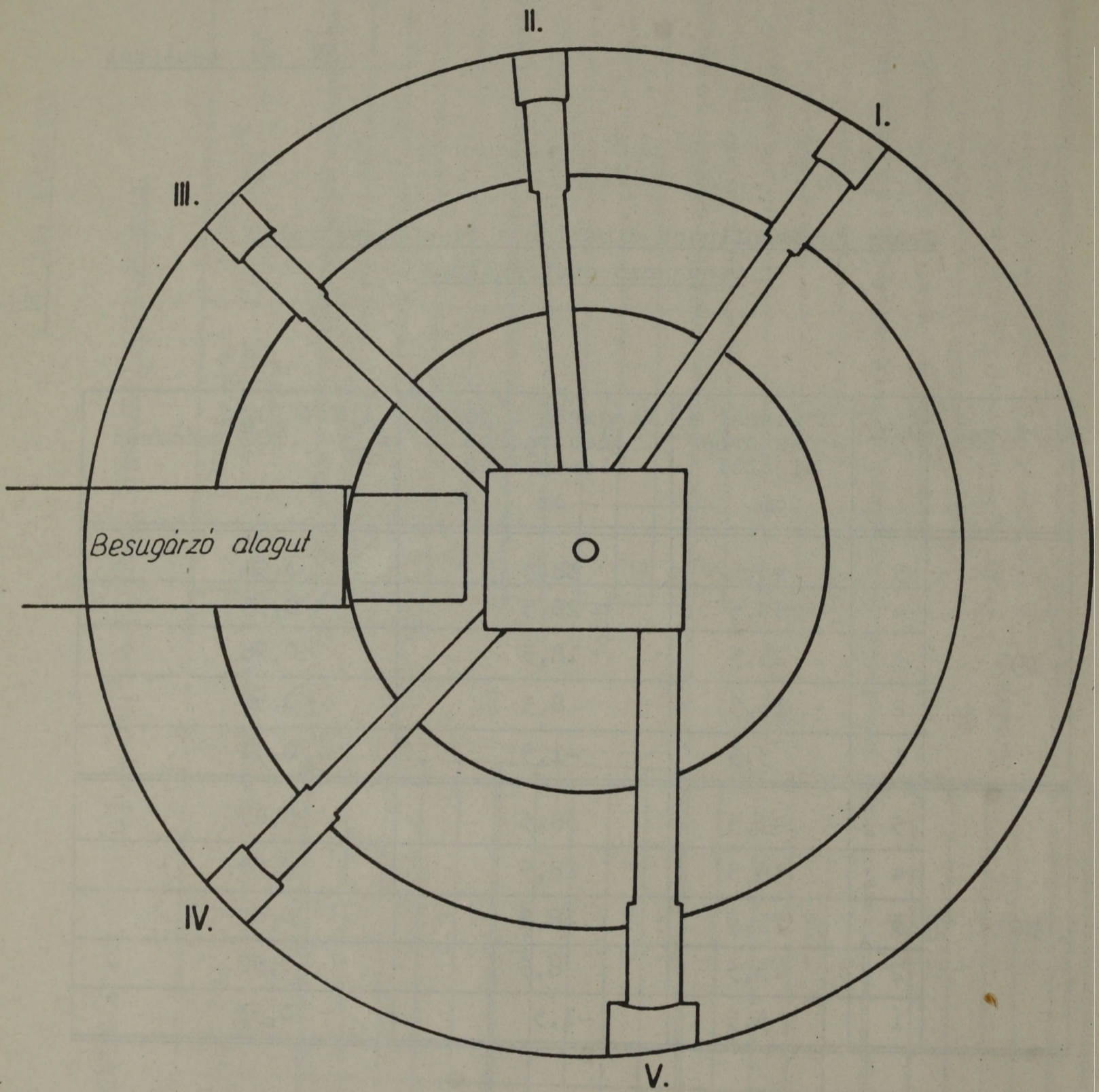
A vízszintes csatornák csatlakoztatása az aktív zónához különböző. Az I. és II. sz. csatornák előtt álló grafit elemekben a csatornák magasságában levegős kicsatoló betétek helyezkednek el /a keményebb neutronspektrum biztosítása érdekében/, míg a III. és IV. sz. csatornák csatlakoztatá-

Gyors neutronfluxus-eloszlás a függőleges belső besugárzó csatornáknban

Csat.	Poz.	Magasság a csatorna aljától cm	ϕ 1 MeV gy $\cdot 10^{10}$ n/cm ² sec	Csat.	Poz.	Magasság a csatorna aljától cm	ϕ 1 MeV gy $\cdot 10^{10}$ n/cm ² sec		
C8	bal	5	45,5	1,40	G6	bal	5	45,5	1,41
		4	35,5	2,39			4	35,5	2,95
		3	25,5	2,57			3	25,5	3,26
		2	15,5	2,31			2	15,5	2,91
		1	5,5	1,59			1	5,5	1,90
	jobb	5	45,5	1,64		jobb	5	45,5	2,17
		4	35,5	2,71			4	35,5	3,05
		3	25,5	3,00			3	25,5	3,50
		2	15,5	2,94			2	15,5	3,17
		1	5,5	1,79			1	5,5	1,97
D8	bal	5	45,5	1,90	F3		5	45,5	3,25
		4	35,5	2,97			4	35,5	5,26
		3	25,5	3,18			3	25,5	5,75
		2	15,5	2,87			2	15,5	5,46
		1	5,5	1,98			1	5,5	3,67
	jobb	5	45,5	1,98	E8 $\phi 40$ mm		5	45,5	1,80
		4	35,5	2,98			4	35,5	2,59
		3	25,5	3,53			3	25,5	2,88
		2	15,5	3,16			2	15,5	2,69
		1	5,5	2,05			1	5,5	1,86
D5	3	-	11,00						

Gyors neutronfluxus-eloszlás a függőleges külső
besugárzó csatornáknban

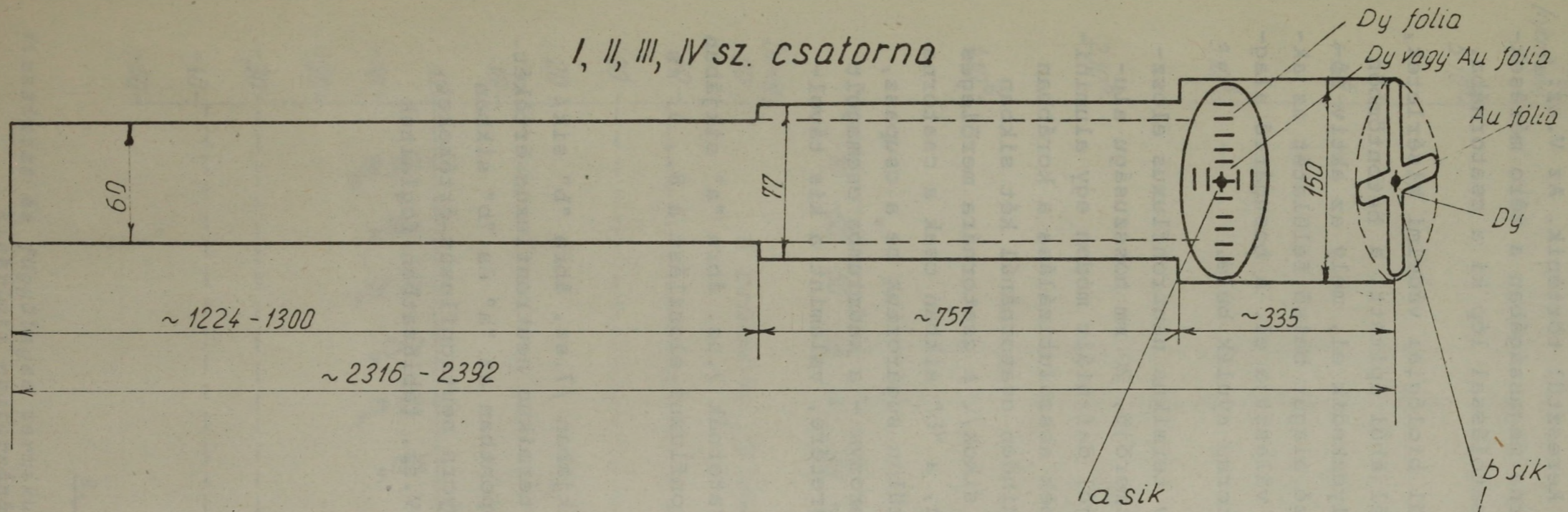
Csatorna	Poz.	Magasság a csatorna aljától cm	Magasság a belső csatornához viszonyítva cm	1 MeV $\phi_{gy} \cdot 10^{10}$ n/cm ² sec
D9	5	45,5	38,5	0,58
	4	35,5	28,5	0,76
	3	25,5	18,5	0,78
	2	15,5	8,5	0,56
	1	5,5	-1,5	0,31
H6	5	45,5	38,5	0,67
	4	35,5	28,5	0,83
	3	25,5	18,5	0,82
	2	15,5	8,5	0,60
	1	5,5	-1,5	0,33



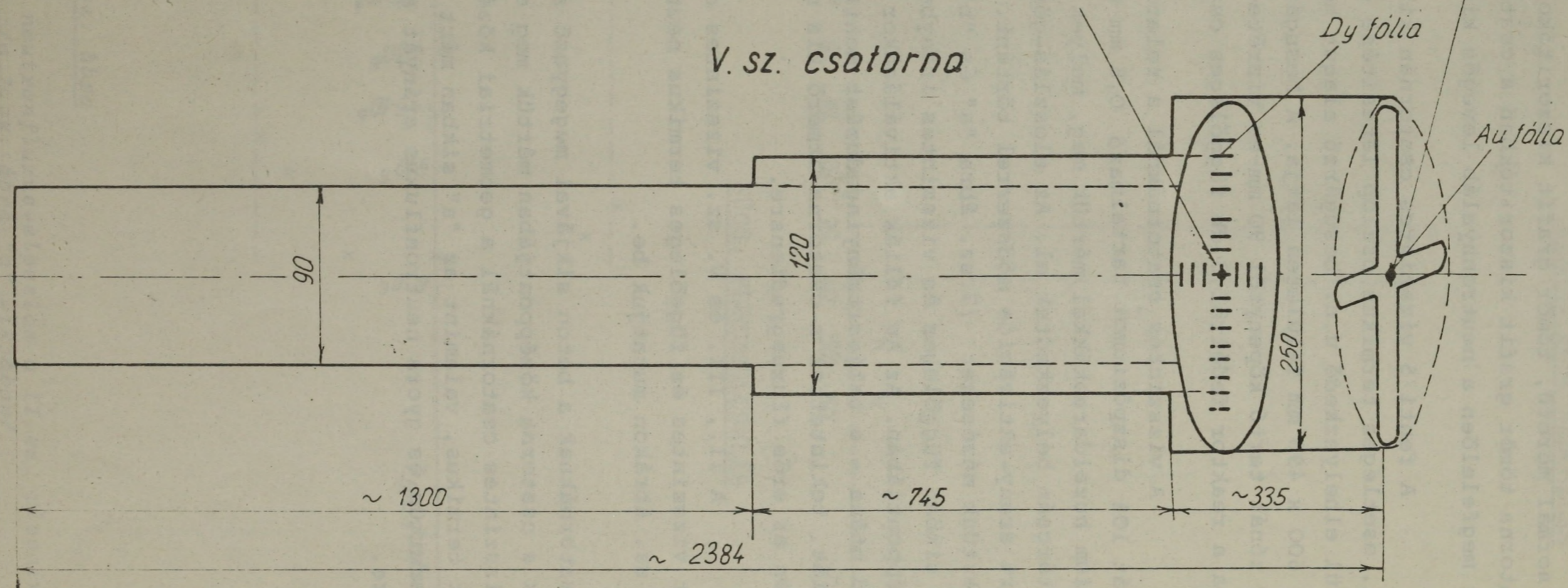
6. sz. ábra

A vízszintes csatornák aktiv zónához viszonyított elhelyezkedésének vázlatos rajza

I, II, III, IV sz. csatorna



V. sz. csatorna



7. sz. ábra

Mérőfóliák elhelyezkedése a vízszintes csatornánál

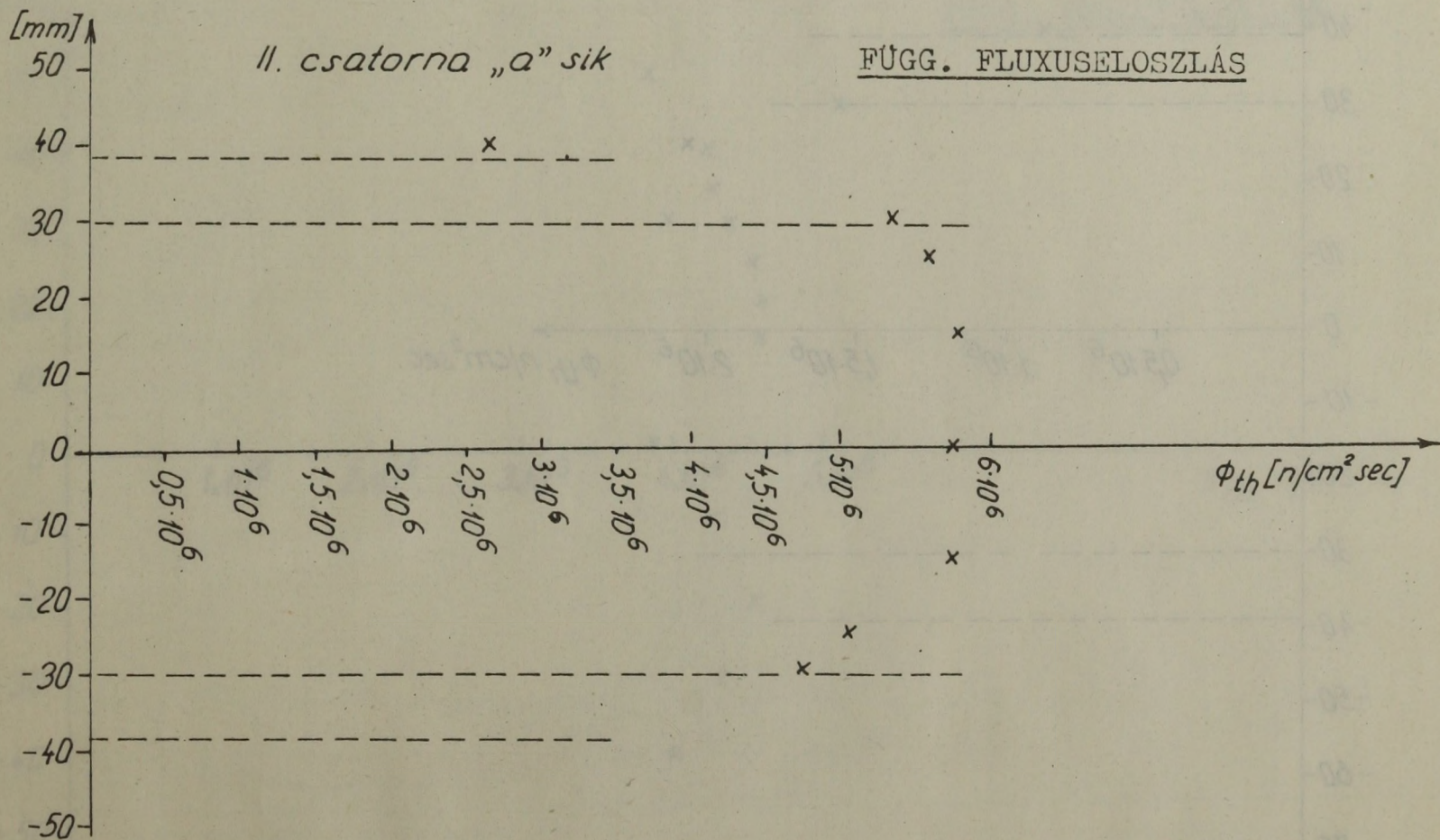
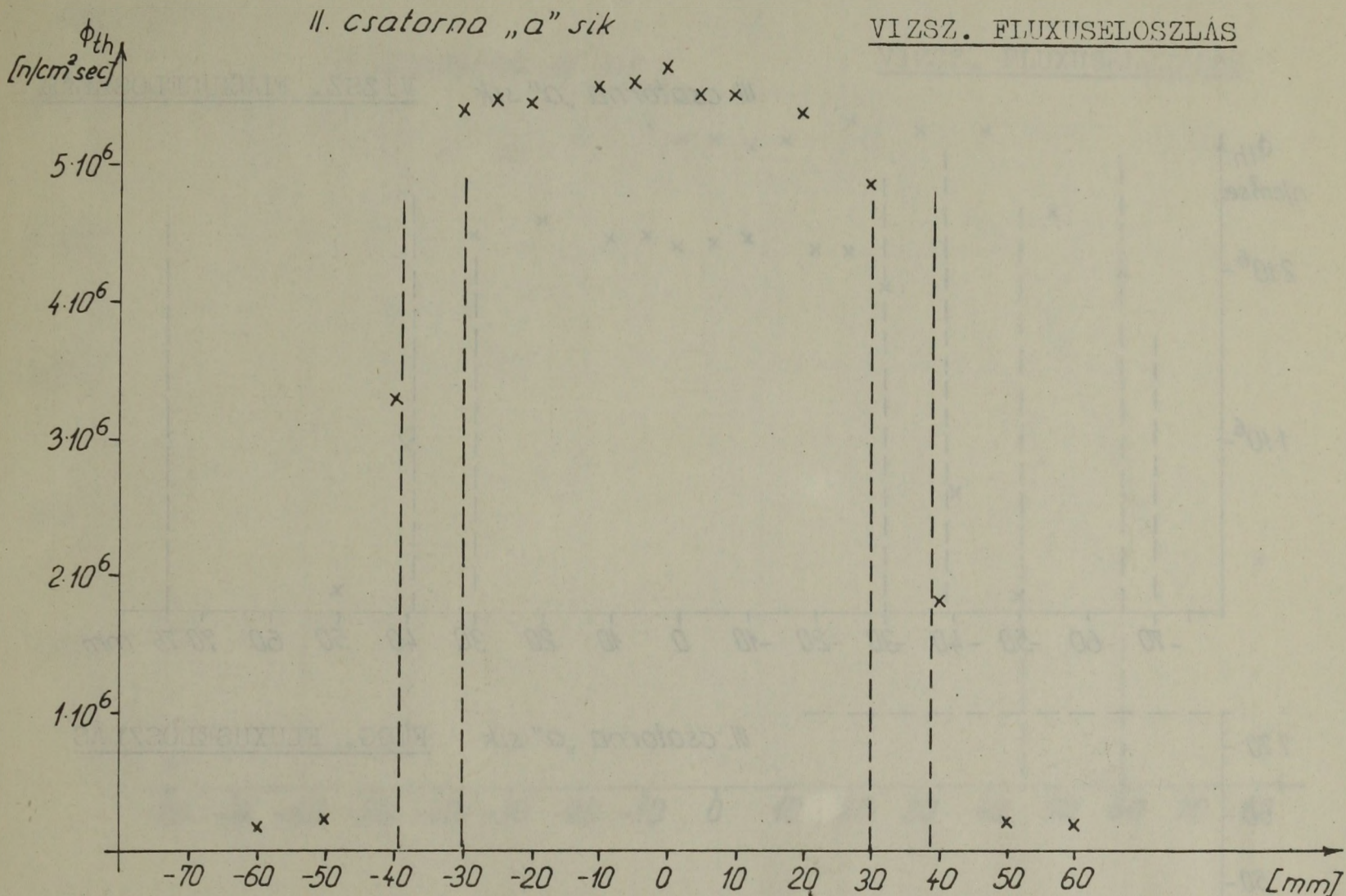
sa normál méretű, tömör grafit kiszorítókon keresztül történik. Az V.sz. csatorna tömör grafit kiszorítóiban a csatorna magasságában a zero méréseknek megfelelően a neutronnyaláb levegős kicsatolással lép ki a csatornába.

A fenti 5 vízszintes csatornán kívül biológiai védelmi kísérletek, ill. esetleges termikus oszlop létesítése céljából épített, a betontömbön belül elhelyezkedő u.n. besugárzó alagut helyezkedik el, mely az aktív zónát 600 x 490 mm felületen látja. A besugárzó alagut belső felületét az aktív zónát tartó köpenytől 90 mm-es vizréteg választja el. A besugárzó alagutba a reaktor fedélről 3 db függőleges csatorna nyulik bele.

A vízszintes csatornáknál a relatív termikus neutronfluxus eloszlását 10% diszpoziumot tartalmazó 0,8 mm átmérőjű, 20 mm hosszúságú alumínium huzaldarabkákkal mértük meg, melyek jól definiált módon egy alumínium tárcsán helyezkedtek el. Az eloszlás-görbék abszolútizálása a korábban leírt arany-aktivációs módszerrel történt. Minden csatornánál két síkban végeztünk méréseket /7.sz. ábra "a" és "b" síkok/. A csatornára merőleges "a" síkban függőleges és vízszintes irányban, a "b" síkban csak a csatorna középpontjában. Az Au fóliák aktiválásakor külön sugároztuk be a csupasz, majd utána - a teljesítményingadozást monitorozva - a kadmiumba csomagolt fóliát, tekintettel a csatorna-átmérő kis méretére, valamint a kis távolságon az erős fluxusgradiensre.

A II., III. és V. sz. vízszintes csatornák 7.sz. ábra "a" síkjában mért vízszintes és függőleges termikus neutronfluxus-eloszlást a 8., 9. és 10. sz. ábrákon mutatjuk be.

A csatornáknak a beton síkjával megegyező síkjában /7.sz. ábra "b" sík/ csak a csatorna középpontjában mértük meg a termikus neutronfluxus-értékét. A vízszintes csatornáknál a geometriai középpontban az "a" és "b" síkban mért termikus, valamint az "a" síkban mért gyors neutronfluxus-értékeket, a termikus és gyors neutronfluxus arányát a V.sz. táblázatban foglaltuk össze.

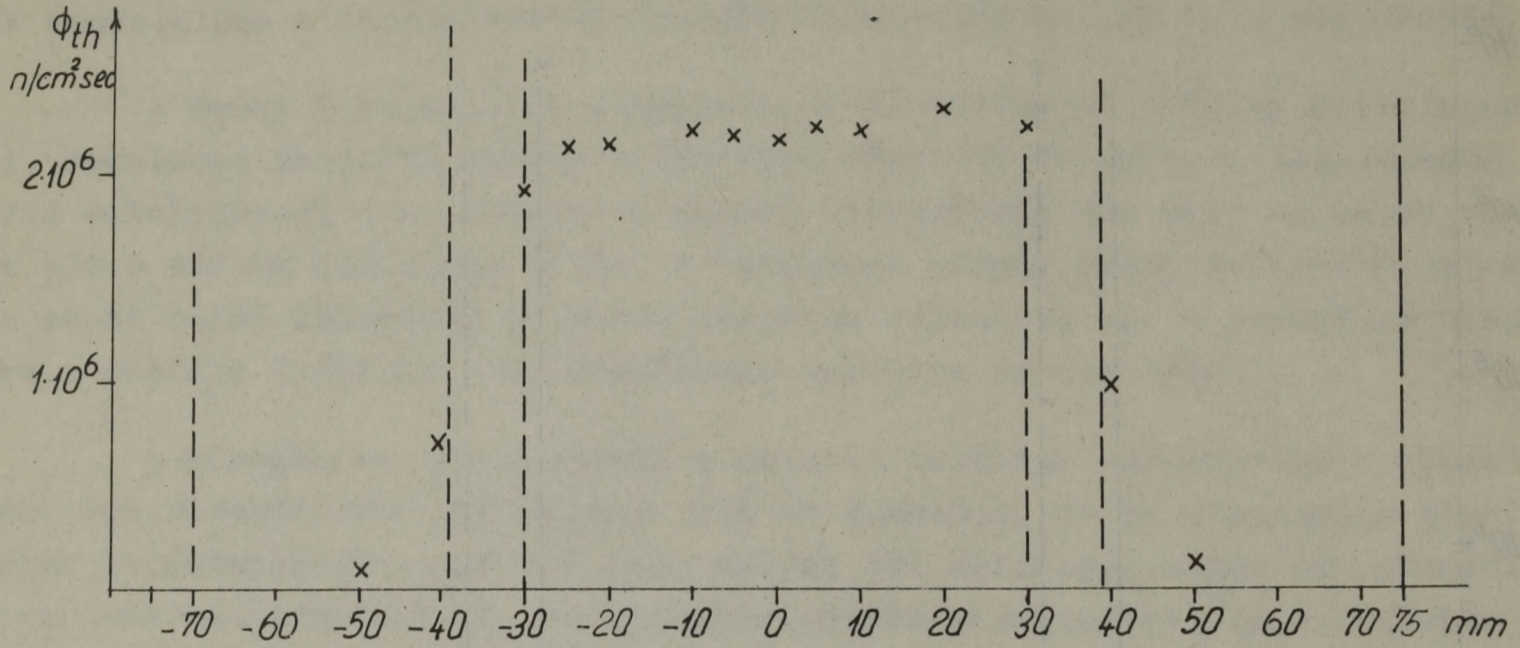


8. sz. ábra

Vizzintes és függőleges termikus neutronfluxus-eloszlás a II.sz. vizzintes kísérleti csatornánál /a 7.sz. ábra "a" síkjában/

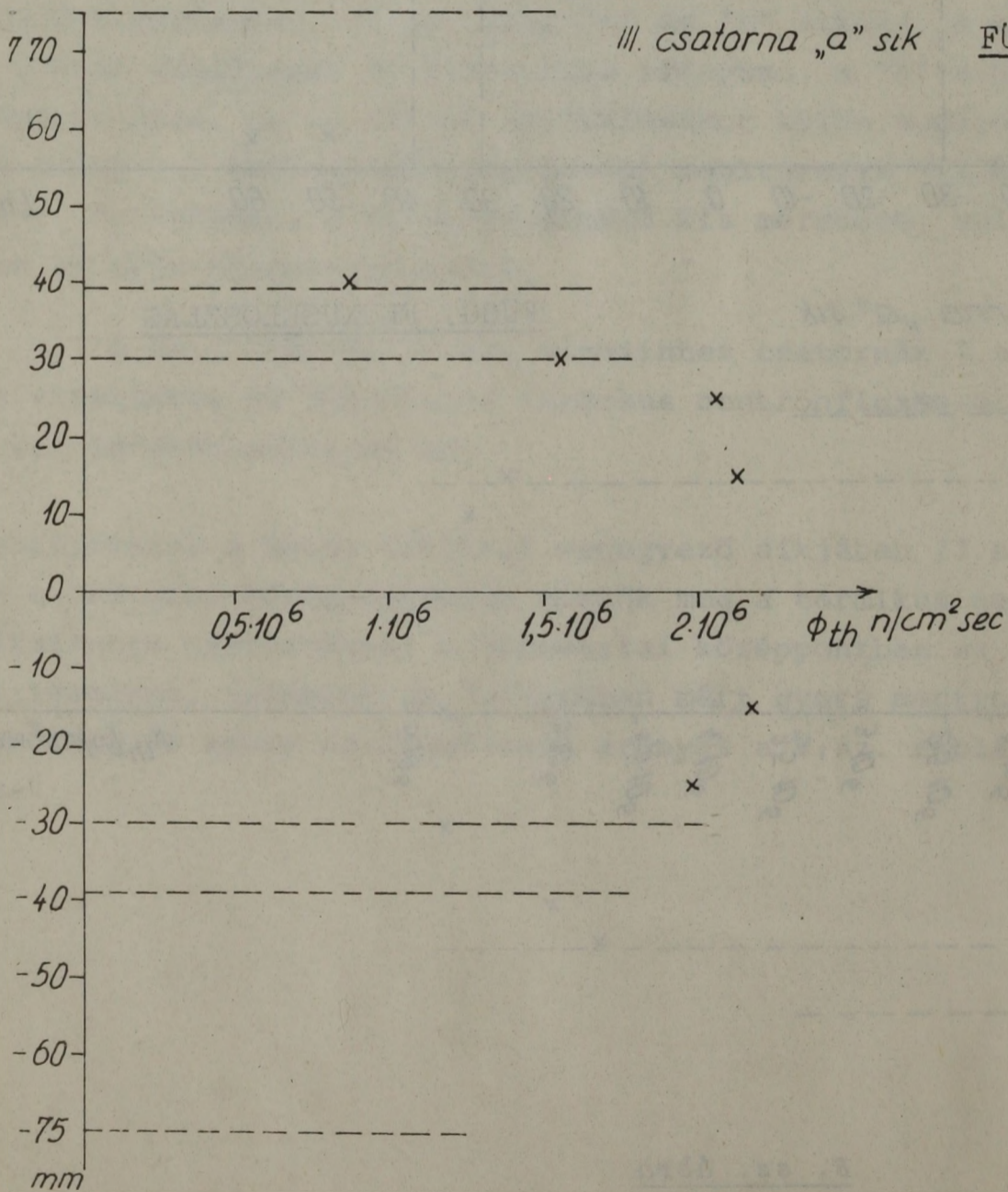
III. csatorna „a” sík

VIZSZ. FLUXUSELOSZLÁS



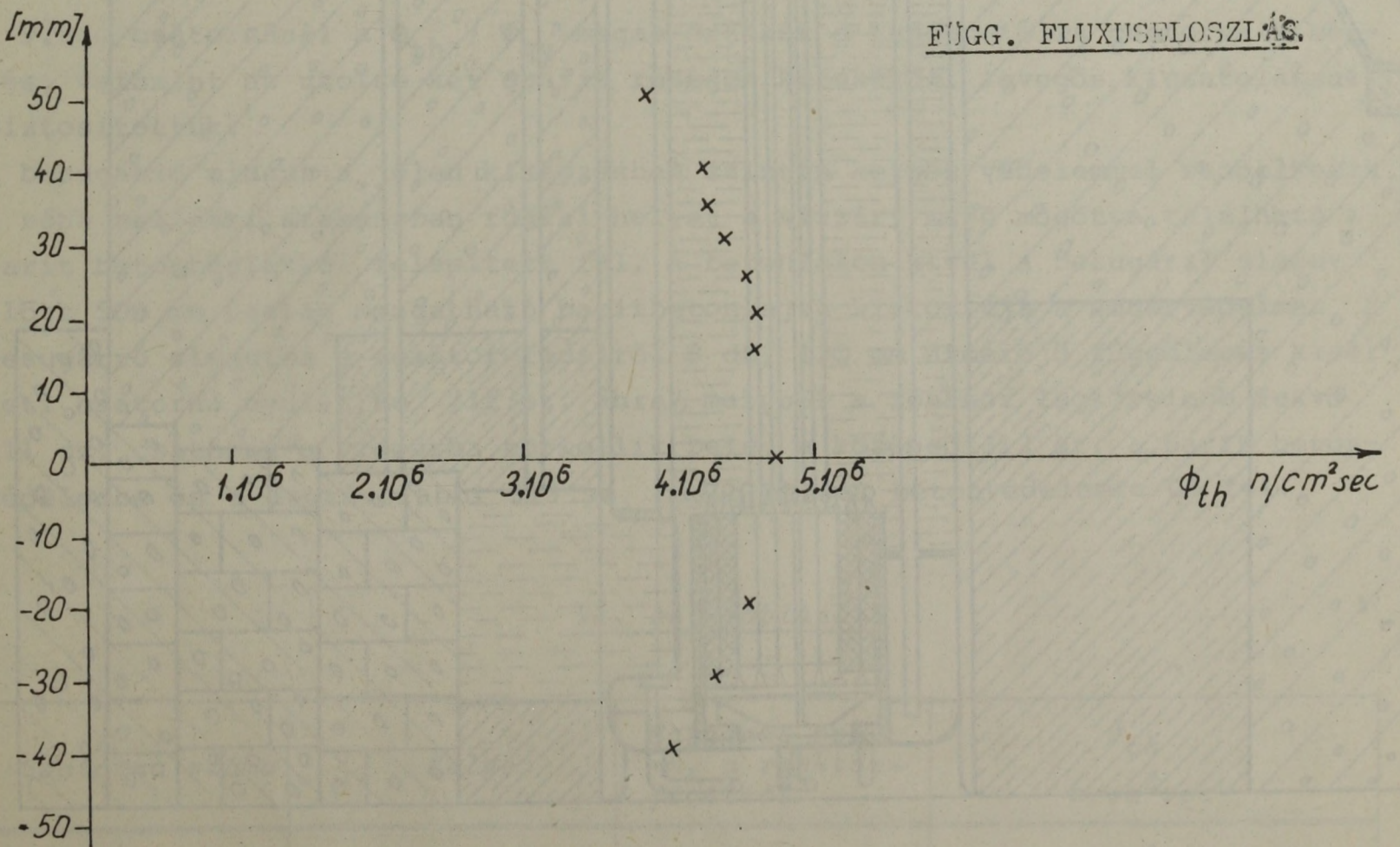
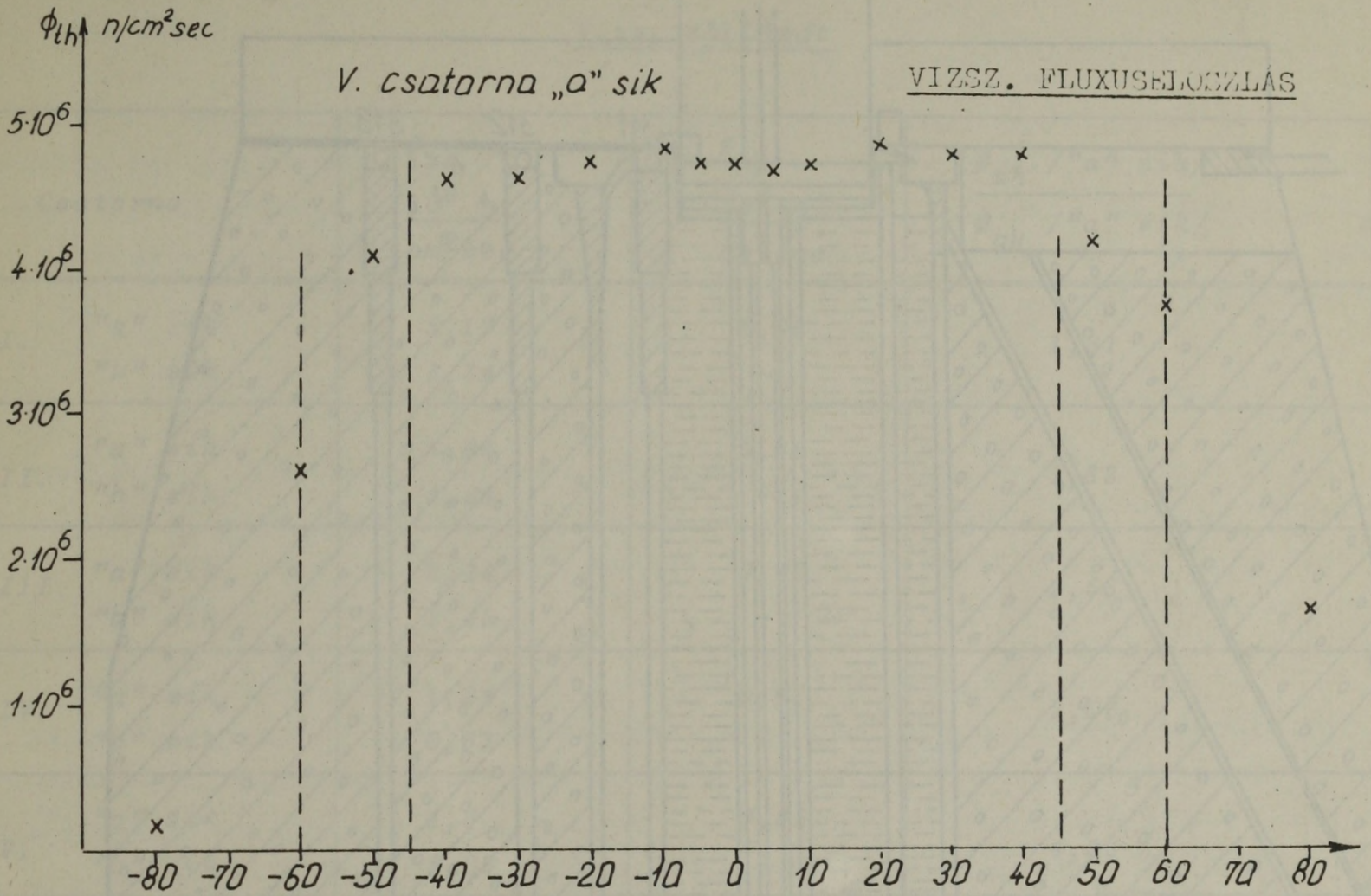
III. csatorna „a” sík

FÜGG. FLUXUSELOSZLÁS



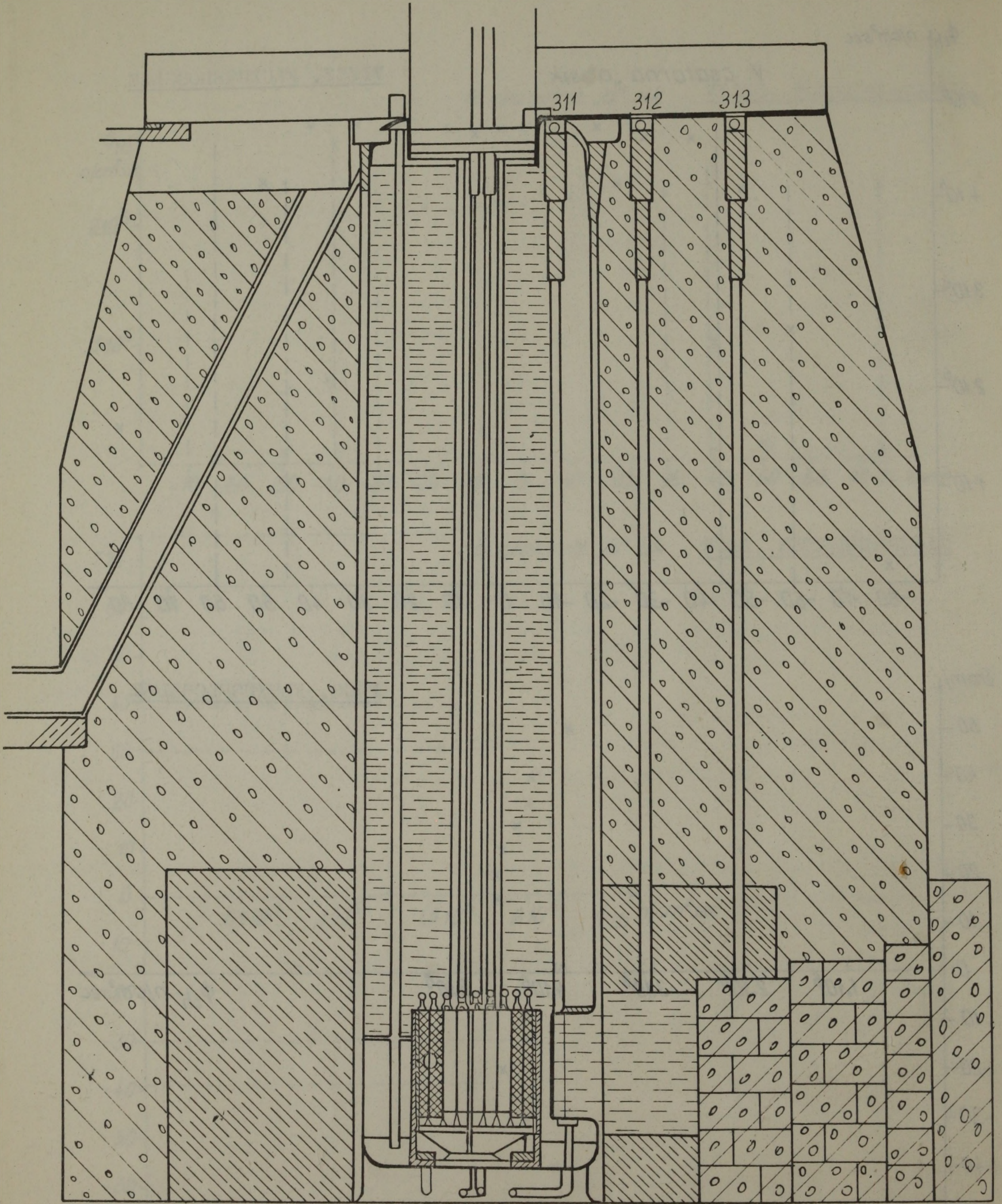
9. sz. ábra

Vízszintes és függőleges termikus neutronfluxus-eloszlás a III. sz. vízszintes kísérleti csatornánál /a 7.sz. ábra "a" síkjában/



10. sz. ábra

Vízszintes és függőleges termikus neutronfluxus-eloszlás az V.sz. vízszintes kísérleti csatornánál /a 7.sz. ábra "a" síkjában



11. sz. ábra

A reaktor függőleges metszete a besugárzó alaguttal

V.sz. táblázat

Csatorna	ϕ_{th} $\frac{10^6 n}{cm^2 sec}$	ϕ_{gy} $\frac{10^6 n}{cm^2 sec}$	$\frac{\phi_{th} / "a" sik/}{\phi_{gy} / "a" sik/}$
I. "a" sik	5,17	2,86	1,81
"b" sik	3,34	-	
II. "a" sik	5,64	3,49	1,62
"b" sik	3,86	-	
III. "a" sik	2,14	0,83	2,58
"b" sik	1,45	-	
IV. "a" sik	1,24	0,61	2,03
"b" sik	0,81	-	
V. "a" sik	4,6	0,93	4,95
"b" sik	3,06	-	

A V.sz. csatornánál a ϕ_{th} / ϕ_{gy} magas értékét a tangenciális csatorna-kiképzés, valamint az utolsó két grafit rétegen keresztüli levegős kicsatolással biztosítottuk.

A besugárzó alagut a jelen kiképzésben szintén kettős védelemmel rendelkezik. A zóna melletti szakaszban foglal helyet a vizzár, majd mögötte található a barit betontéglákból felépített fal. A betonfalon kívül a besugárzó alagut előtt 500 mm vastag mozgatható baritbeton ajtó biztosítja a sugárvédelmet. A besugárzó alagutba a reaktor-fedélről 3 db, 120 mm átmérőjű függőleges kísérleti csatorna nyulik be /11.sz. ábra/, melyből a zónához legközelebb fekvő 311 sz. csatorna a vizzárba torkollik bele, a középső 312 sz. a barit betonvédelembe és a legtávolabbi 313 sz. pedig normál betonvédelemre ül fel.

VI. sz. táblázat

Csatorna száma	Helye	Magasság poz. mm, a reaktor- fedéltől	ϕ_{th} $n/cm^2 sec$
311	Vizes tagban	5300	$2,16 \cdot 10^9$
312	Betonban	5300	$1,26 \cdot 10^6$
313	Betonban	4800	Aktivációs módszerrel nem mérhető

2.2. Reaktivitás-mérések

A ZR-5 kritikus rendszeren a maximális biztonság érdekében nagyon részletes reaktivitás-méréseket végeztünk, melyet ugyancsak részletes számítási eredmények kísérték [1]. A kísérleti és számítási eredmények jó egyezése lehetővé tette, hogy a helyszínen már csak viszonylag szerény reaktivitás-mérési programot hajtsunk végre.

2.2.1. A szabályozó rudak kalibrálása

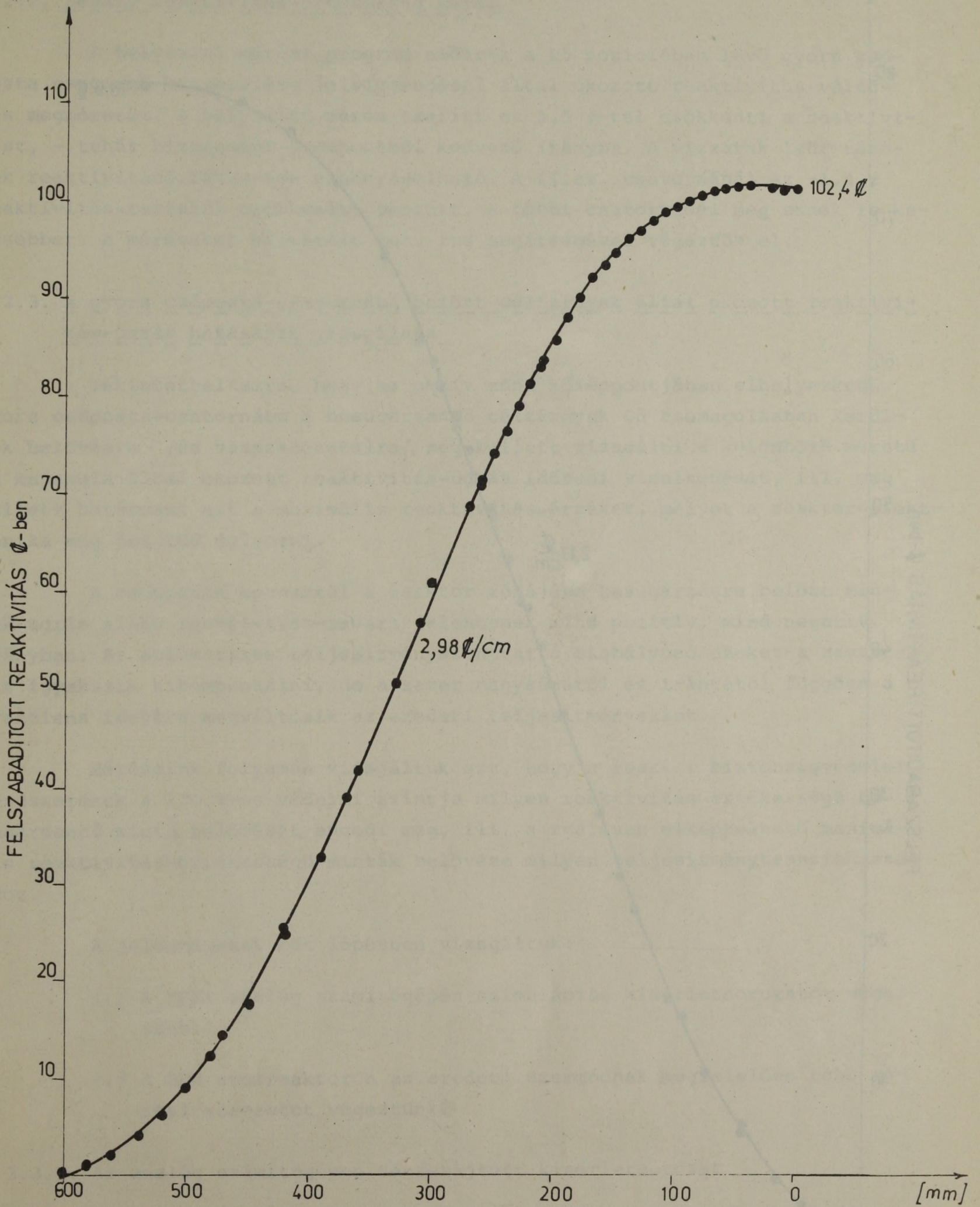
Tekintettel, hogy a ZR-5 rendszerben használt szabályozó rudak nem feleltek meg a követelményeknek, így a helyszíni szerelések alkalmával új "kézi" és automata rudakat építettünk be, melynek reaktivitásértékességéről nem rendelkezünk adattal.

A méréseket kétszerezési időmérésen alapuló módszerrel végeztük, a kétszerezési idő - reaktivitás összefüggéseket a Hughes-féle későneutron paraméterekkel számítottuk. A rudkalibrációs mérésekre feloldottuk a rudmozgatással kapcsolatos bénításokat. A zóna fojtásához a BV2 rudat, kompenzáláshoz /a méréstől függően/ a K, A ill. BV1 rudakat használtuk.

A rudkalibráció alkalmával, mivel a zóna beépített reaktivitás-tartaléka kevesebb volt az egyes rudak értékességénél, a rendszer reaktivitás-tartalékát $106,7 \text{ } \phi$ -re növeltük. Ezt a D8 pozícióba helyezett grafit reflektor elemmel értük el, melynek reaktivitásértékessége - nagyon jó egyezéssel a ZR-5 mérésekkel - $+32,2 \text{ } \phi$ volt. A zóna ilyen kismérvű módosítására a rud-karakterisztika nem érzékeny. A K és automata rudak jelleggörbéit a 12. és 13. sz. ábrán mutatjuk be. A rendszer beavatkozó szerveinek paramétereit a VII. sz. táblázat foglalja össze:

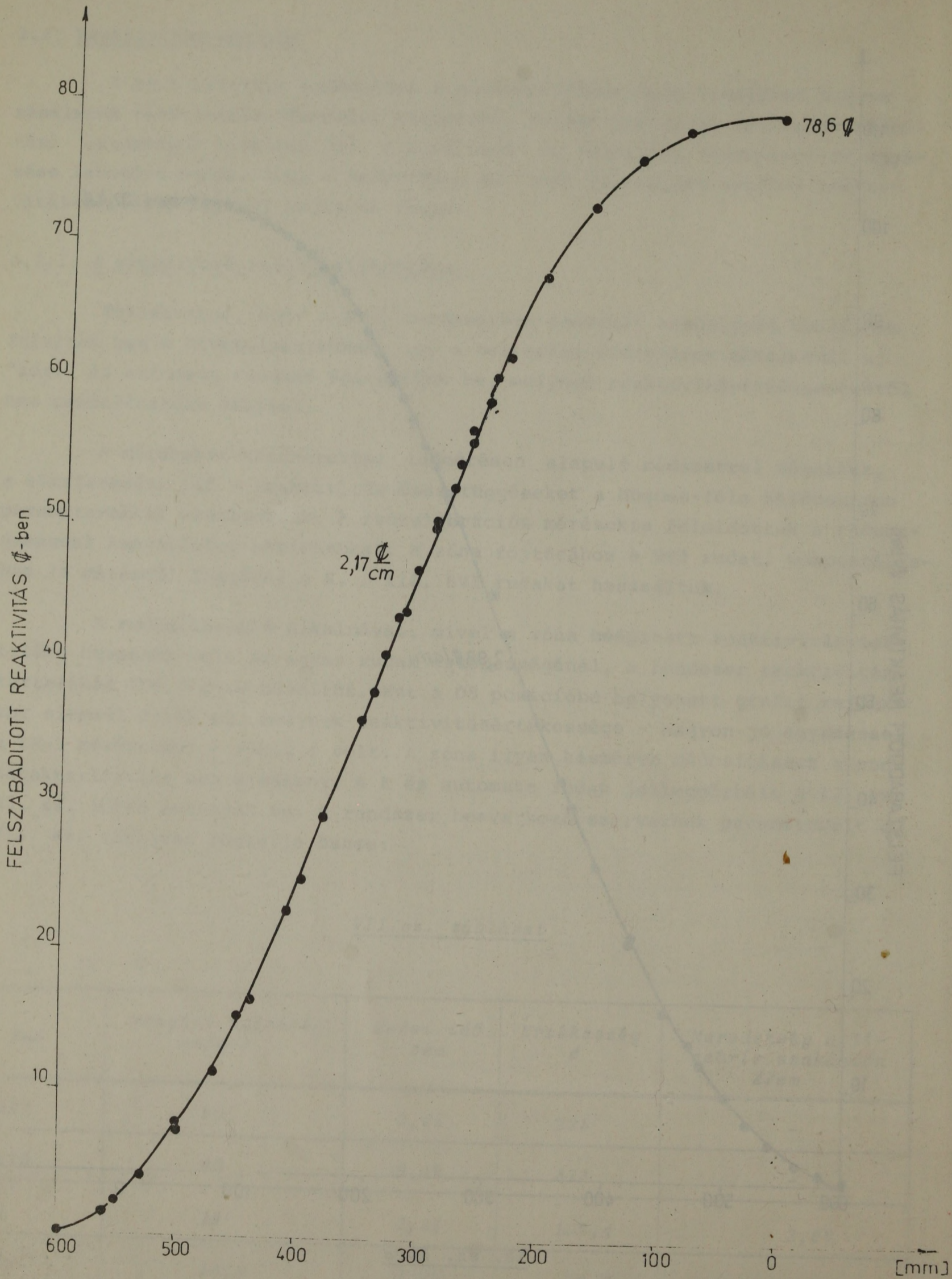
VII.sz. táblázat

Rud	Mozgási sebesség mm/sec	Esési idő sec	Értékesség ϕ	Meredekség a lineáris szakaszon ϕ/cm
BV1	50	0,45	225	-
BV2	40	0,42	318	-
K	14	0,83	102,4	2,98
Aut	13,6	0,85	78,6	2,17



12. sz. ábra

A K rud jelleggörbéje



13. sz. ábra

az Aut rud jelleggörbéje

2.2.2. Néhány reaktivitás-értékesség mérés

A helyszini mérési program előírta a D5 pozícióban levő gyors csőposta csatorna kiszerezése /elvizesedése/ által okozott reaktivitás-változás megmérését. A helyszini mérés szerint ez 5,5 ϕ -tel csökkenti a reaktivitást, - tehát biztonsági szempontból kedvező irányba. A vizzárak leürítésének reaktivitásértékessége elhanyagolható. A II.sz. csatornánál ez -1,4 ϕ reaktivitás-tartalék csökkenést okozott, a többi csatornánál még ennél is kevesebbet. A méréseket kalibrált Aut. rud segítségével végeztük el.

2.2.3. A gyors csőposta-csatornába belőtt céltárgyak által okozott reaktivitás-ugrás hatásának vizsgálata

Tekintettel arra, hogy az aktiv zóna középpontjában elhelyezkedő gyors csőposta-csatornába a besugárzandó céltárgyak Cd csomagolásban kerülnek belövésre /és visszahozatalra/, meg kellett vizsgálni a különböző méretű Cd kapszula által okozott reaktivitás-ugrás időbeni viselkedését, ill. meg kellett határozni azt a maximális reaktivitás-értéket, melyet a reaktor-elektronika még fel tud dolgozni.

A csőpostán keresztül a reaktor zónájába besugárzásra belőtt minták ugrás alakú reaktivitás-zavart jelentenek mind pozitív, mind negatív irányban. Az automatikus teljesítményszinttartó szabályozó ezeket a zavarokat igyekszik kikompenzálni, de a zavar nagyságától és irányától függően a tranziens idejére megváltozik az eredeti teljesítményszint.

Méréseink folyamán vizsgáltuk azt, hogy a reaktor biztonságvédelmi rendszerének a 120 %-os védelmi szintje milyen reaktivitás-értékességű besugárzandó minta belövését engedi meg, ill. a reálisan elképzelhető maximális reaktivitás-értékességű minták belövése milyen teljesítménytranzienseket okoz.

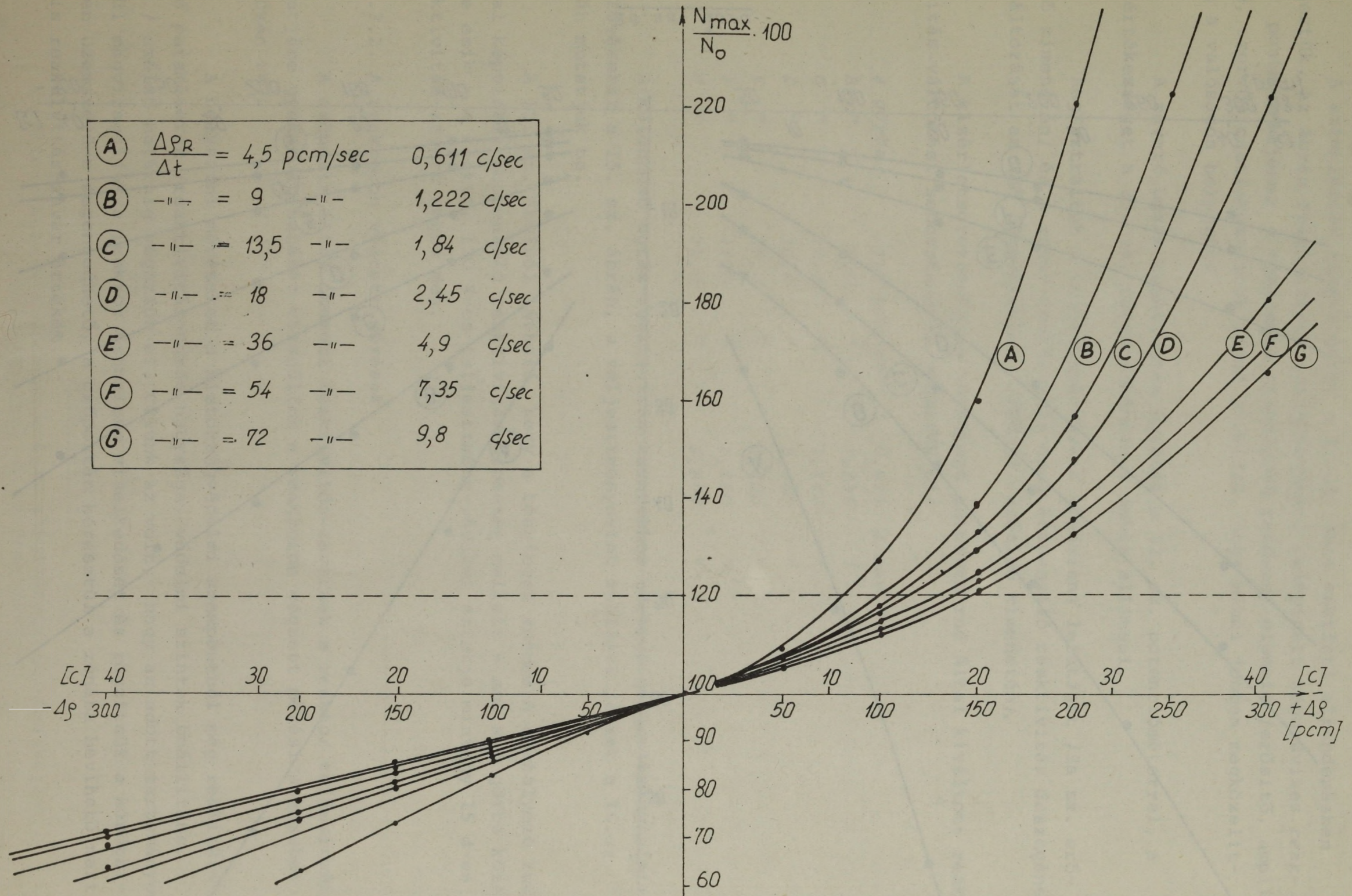
A jelenségeket két lépésben vizsgáltuk:

- 1./ A KFKI analóg számítógépén szimulációs kísérletsorozatot végeztünk.
- 2./ A BME atomreaktoron az eredeti üzemmódnak megfelelően több mérési sorozatot végeztünk.

2.2.3.1. Az analóg számítógépen végrehajtott kísérletsorozat

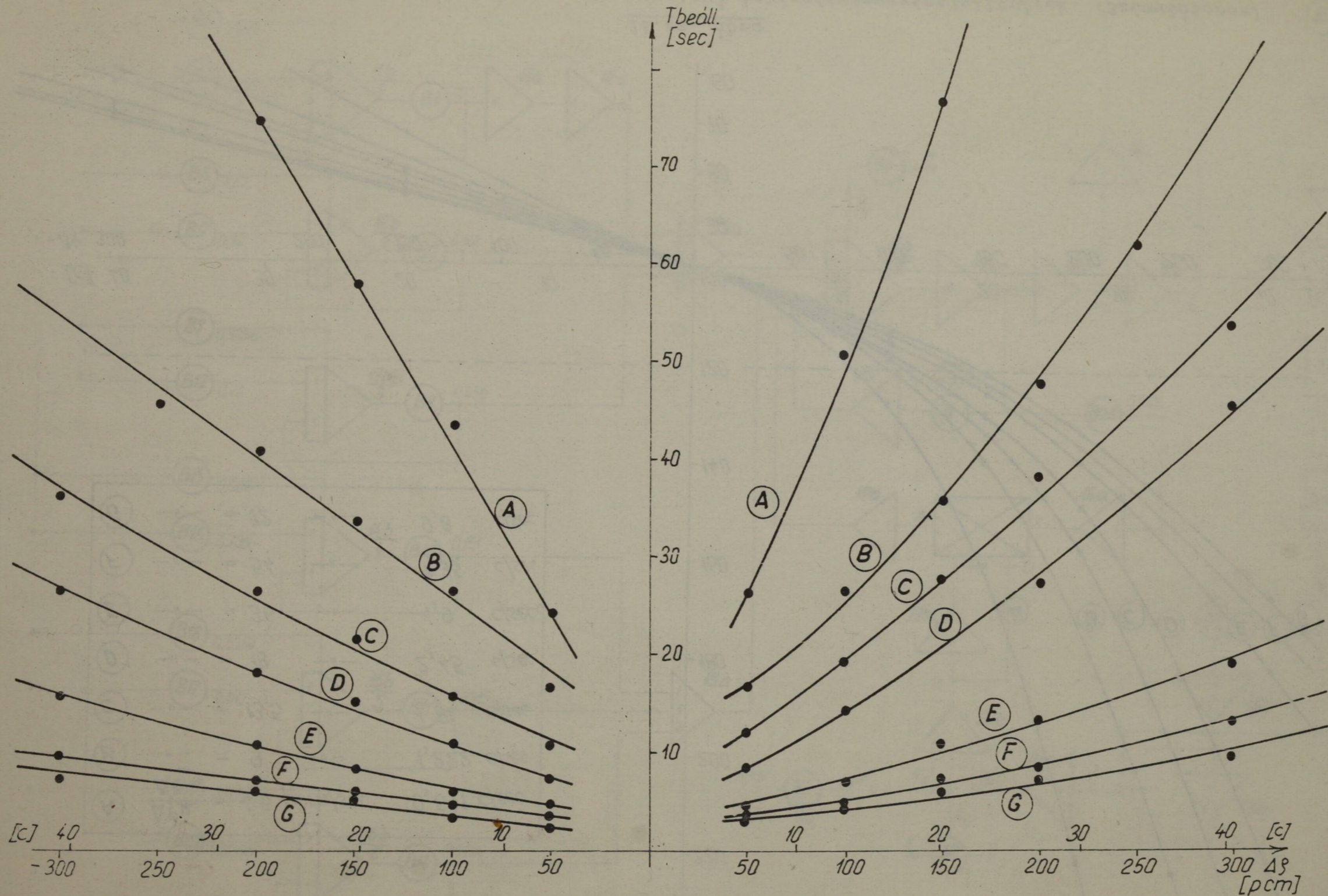
Az analóg számítógépen végrehajtott szimulációs kísérletsorozat célja az volt, hogy tanulmányozzuk az ugrás-reaktivitás által okozott tranziensek lezajlását mind az üzemi, mind az üzemtől erősen eltérő szabályozó és zavaró paraméterek mellett.

A	$\frac{\Delta \rho_R}{\Delta t} = 4,5$	pcm/sec	0,611	c/sec
B	"	9	"	1,222
C	"	13,5	"	1,84
D	"	18	"	2,45
E	"	36	"	4,9
F	"	54	"	7,35
G	"	72	"	9,8



15.sz. ábra

Különböző értékű ugrás-reaktivitás zavarhoz tartozó teljesítményszinttullövések. (Szimulátoron.)
 Paraméter: Aut. rud másodpercenkénti reaktivitás-értékessége



16.sz. ábra

A különböző értékű ugrás-reaktivitás zavarhoz tartozó teljesítményszint beállási idő (Szimulátoron)

A szimulációs kísérleteket a 14.sz. ábra szerinti elrendezésben végeztük. Az ábrán feltüntetett paraméterekkel felépített könnyűvizes reaktor pontmodelljéhez a tényleges szabályozó rendszer elemeit /erősítő, amplitudin, szervó/ csatlakoztattuk azzal a céllal, hogy minél jobban megközelítsük a valóságos helyzetet.

A zavaró ugrás-reaktivitás értékét a 32. sz. potencióméterrel, a rudértékességet a 33. sz. potencióméterrel lehet állítani.

Regisztráltuk a teljesítményszint tranziens lefutását /3a sz. erősítő kimenetén/ és a zavar-reaktivitás és a kompenzáló reaktivitás összegének a változását az idő függvényében /20b sz. erősítő kimenetén/.

A kísérletsorozatot a következő automata rud által kiváltott reaktivitás-változási sebességeknél végeztük el:

A görbe	4,5 pcm/sec	0,611 ϕ /sec
B "	9,0 "	1,222 "
C "	13,5 "	1,840 "
D "	18,0 "	2,450 "
E "	36,0 "	4,900 "
F "	54,0 "	7,350 "
G "	72,0 "	9,800 "

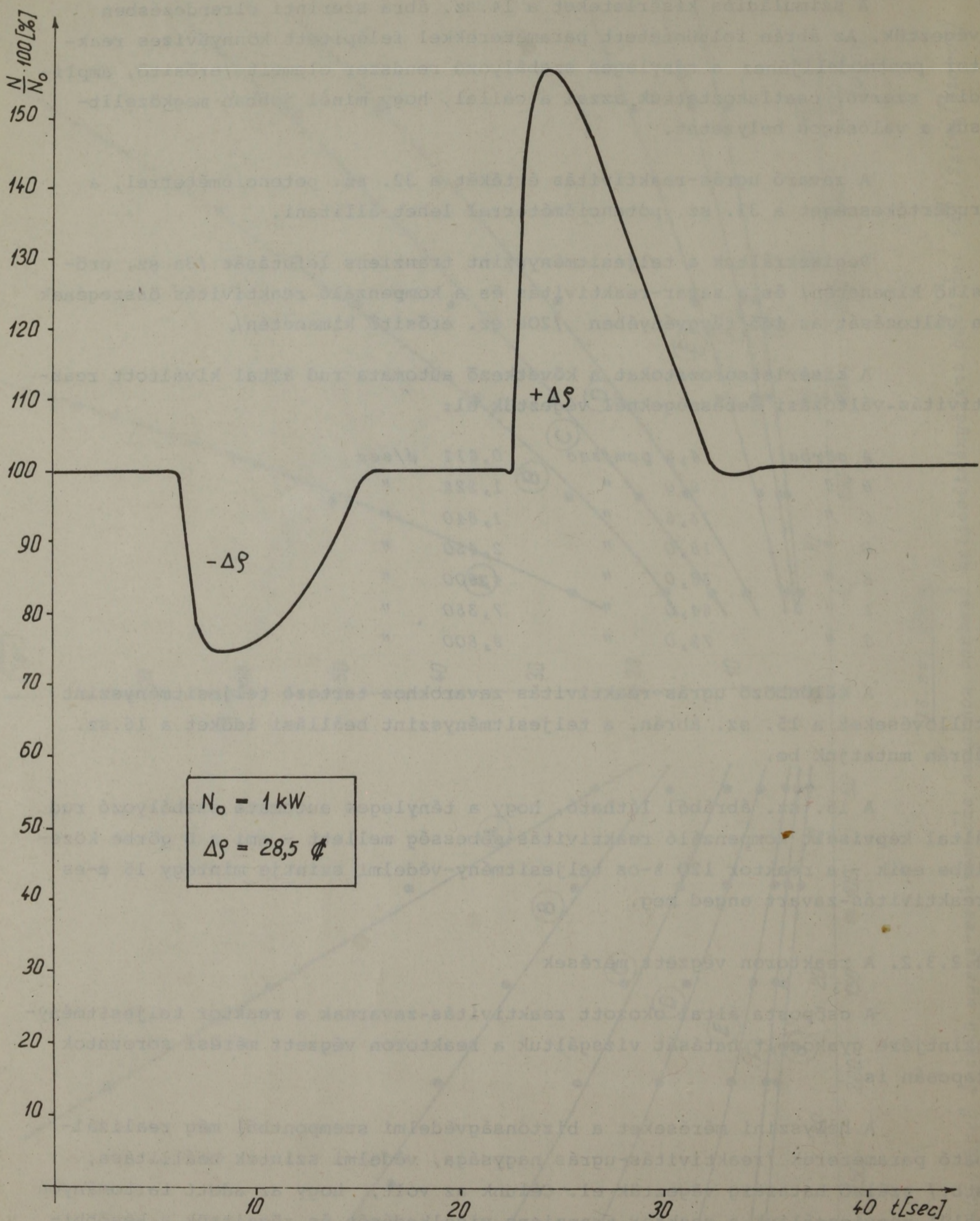
A különböző ugrás-reaktivitás zavarokhoz tartozó teljesítményszint hullóvéseket a 15. sz. ábrán, a teljesítményszint beállási időket a 16.sz. ábrán mutatjuk be.

A 15. sz. ábrából látható, hogy a tényleges automata szabályozó rud által képviselt kompenzáló reaktivitás-sebesség mellett - ami a D görbe közélebe esik - a reaktor 120 %-os teljesítmény-védelmi szintje mintegy 15 ϕ -es reaktivitás-zavart enged meg.

2.2.3.2. A reaktoron végzett mérések

A csőposta által okozott reaktivitás-zavarnak a reaktor teljesítményszintjére gyakorolt hatását vizsgáltuk a reaktoron végzett mérési sorozatok kapcsán is.

A helyszíni méréseket a biztonságvédelmi szempontból még realizálható paraméterek /reaktivitás-ugrás nagysága, védelmi szintek beállítása, stb./ szélső határáig végeztük el. Célunk az volt, hogy az adott tartományon belül megvizsgáljuk a reaktor tranziens viselkedését és rögzítsük a későbbiekben üzemszerűen megengedhető, a csőpostán keresztül a zónába bevihető maximális reaktivitás-zavar értékét.



17. sz. ábra

Teljesítményszint-túllövés 28,5 ϕ reaktivitás-zavar hatására
/1 kW reaktor teljesítménynél/

A mérési eredményeknek a szimulátoros vizsgálatok eredményeivel való összehasonlításából választ kívántunk kapni arra, hogy az alkalmazott reaktor-modellünk mennyire írja le helyesen a tényleges reaktor tranziens viselkedését.

A kísérletek fontos célja volt a reaktor automatikus teljesítményszinttartó szabályozójának az ellenőrzése, ill. a szabályozó kör stabilitásának a vizsgálata, valamint a szabályozó egyes paramétereinek /erősítés, időállandók/ megfelelő beállítása. A különböző teljesítményszinteken való mérésekből választ kívántunk kapni arra is, hogy a reaktor automatikus teljesítményszinttartó szabályozója mennyire biztosítja a zárt szabályozó kör /reaktor + szabályozó/ körerősítésének teljesítményszint-függetlenségét.

A méréseket a reaktor 1, 10, 100 W és 1 kW-os teljesítményszintje mellett végeztük el a reaktor zónájának D5 pozíciójában levő "gyors" csőposzta segítségével. A teljesítményszint 1-1000 wattos tartományában a mérési eredmények azonos értékeket adtak. A 100 W-os teljesítményszinten végzett mérések főbb adatait a VIII.sz. táblázat tartalmazza.

A mérés folyamán regisztráltuk az E_4 , E_5 /lineáris egyenáramu/ biztonságvédelmi mérőláncok kamraáramát /17.sz. ábra/, a $\log E_3$ egyenáramu lánc periódusjelét $/T_{2 \times 3}/$, az automata szabályozó hibajelét $/\epsilon/$. A rudhelyzetjelző készülékek segítségével rögzítettük a mindenkori rudelmozdulásokat, amely adatokból a rudkalibrációs görbe segítségével megkaptuk a kompenzáló reaktivitás értékét.

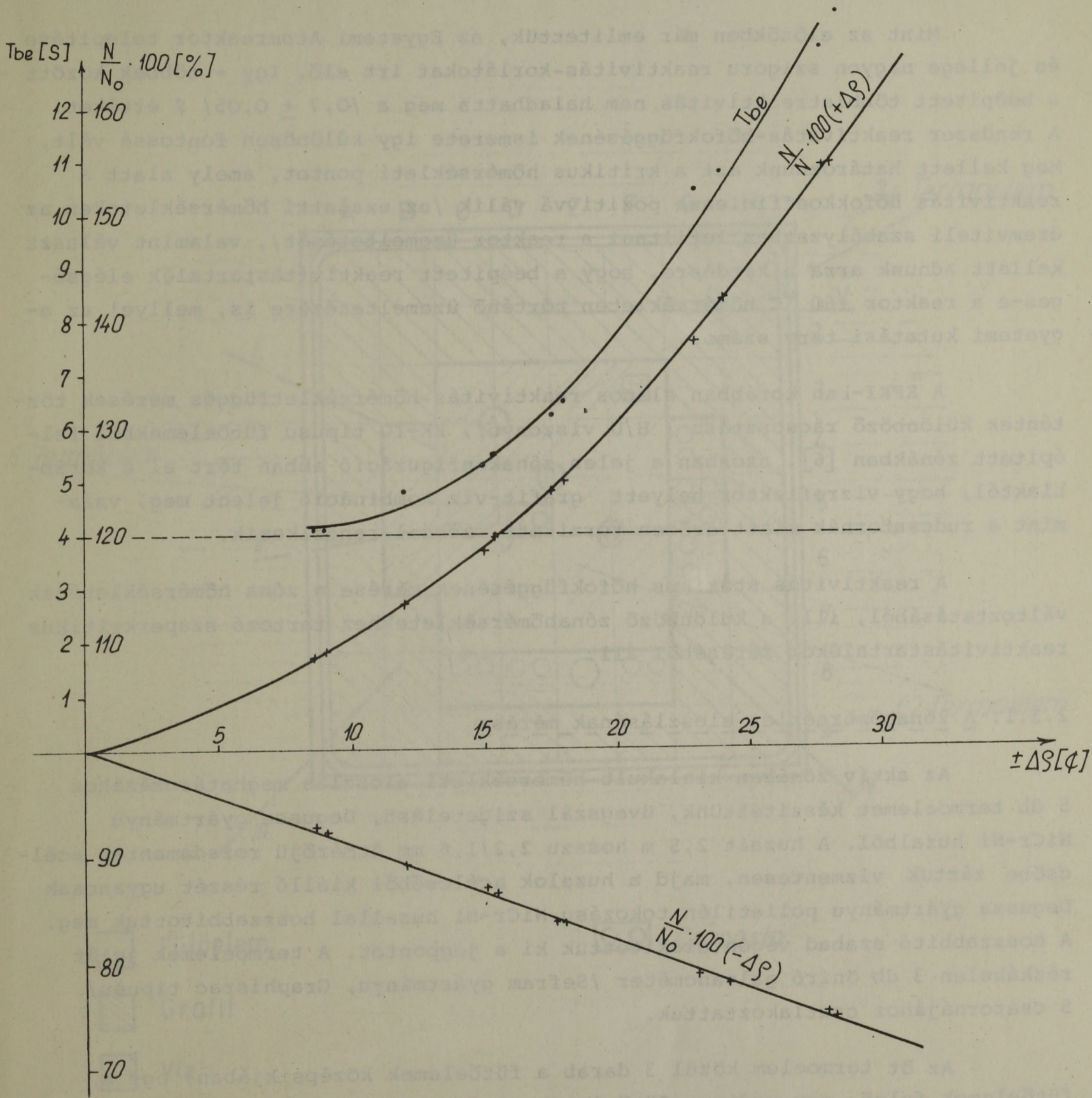
A tranziens vizsgálatokból levont következtetések:

A reaktor egy adott teljesítményszintjén /kb. 100 W/ mért teljesítményszint-tullövéseket és az azokhoz tartozó beállási időket a 18. sz. ábra mutatja. Látható, hogy a 120 %-os biztonságvédelmi teljesítményszint mellett megengedhető maximális zavaróreaktivitás értéke 15 ϕ . A védelmi szint magasabb értékre történő átállítása mellett az automatikus szabályozó rendszer 30 ϕ körüli reaktivitást is képes üzembiztosan kompenzálni, miközben a teljesítményszint tullövése nem éri el a 160 %-ot. A tranziensek lezajlása alatt az automata szabályozó lánc hibajele nem jelez be és a teljesítmény-tranziens alatti periódusidő sem éri el a védelmi - 10 sec - szintet.

Az automata szabályozó rud reaktivitás-sebessége 2,95 ϕ /sec, tehát a szimulációs kísérletek D és E görbéje közé esik /15. sz. ábra/, ami azt jelenti, hogy a reaktivitás-zavarral kapcsolatosan elvégzett megelőző szimulációs kísérletek és a tényleges reaktoron elvégzett mérések teljesítmény-tullövés tekintetében jól egyező eredményt adtak.

VIII. sz. táblázat

Mérés sorosz.	Hapszula /Cd/			Cd érté- kessége ρ	$-\Delta p$		$+\Delta p$		$N_{telj.}$ W
	szá- ma	Cd sulya g	Cd méret, mm		$\frac{N}{N_0} \cdot 100$ %	$T_{beáll}$ sec	$\frac{N}{N_0} \cdot 100$ %	$T_{beáll}$ sec	
1.	10	1,7458	$\phi 15 \times 10 \times 0,5$	8,6	92,7	4,08	108,5	4,08	100
2.	11	3,5010	$\phi 15 \times 10 \times 1$	9,0	92,2	4,08	109,0	4,08	100
3.	12	3,0662	$\phi 22 \times 10 \times 0,5$	12,0	89,2	4,8	113,4	4,8	100
4.	13	3,6420	$\phi 30 \times 10 \times 0,5$	15,0	86,7	5,75	118,5	5,3	100
5.	14	7,0494	$\phi 30 \times 10 \times 1$	15,4	86,4	6,0	119,8	5,5	100
6.	15	4,3772	$\phi 37 \times 10 \times 0,5$	17,6	83,5	6,7	124,0	6,25	100
7.	3	5,2536	$\phi 37 \times 10 \times 0,5$	18,0	83,5	6,95	125,1	6,5	100
8.	16	6,1856	$\phi 48 \times 10 \times 0,5$	23,1	78,5	10,1	138,8	10,5	100
9.	17	11,4238	$\phi 48 \times 10 \times 1$	24,1	77,7	10,8	142,6	10,8	100
10.	4	15,4392	$\phi 48 \times 12 \times 1$	27,9	74,8	11,7	154,7	13,2	100
11.	18	19,7156	$\phi 47,5 \times 10 \times 0,5$ $\phi 48 \times 12,2 \times 1$	28,1	74,7	12,2	154,7	13,9	100



18.sz. ábra

100 W reaktorteljesítményen a reaktivitás-értékeességtől függő teljesítményszint-tullövések, ill. az ezekhez tartozó regenerációs idők

2.3. Reaktivitás hőfokfüggésének mérése

Mint az előzőkben már említettük, az Egyetemi Atomreaktor telepítése és jellege nagyon szigorú reaktivitás-korlátokat írt elő. Így - többek között - a beépített többletreaktivitás nem haladhatta meg a $0,7 \pm 0,05$ \$ értéket. A rendszer reaktivitás-hőfokfüggésének ismerete így különösen fontossá vált. Meg kellett határoznunk azt a kritikus hőmérsékleti pontot, amely alatt a reaktivitás hőfokkoefficiense pozitívvá válik /az ezalatti hőmérsékleteken az üzemviteli szabályzatban letiltani a reaktor üzemeltetését/, valamint választ kellett adnunk arra a kérdésre, hogy a beépített reaktivitástartalék elégséges-e a reaktor $+60$ °C hőmérsékleten történő üzemeltetésére is, mellyel az egyetemi kutatási terv számol.

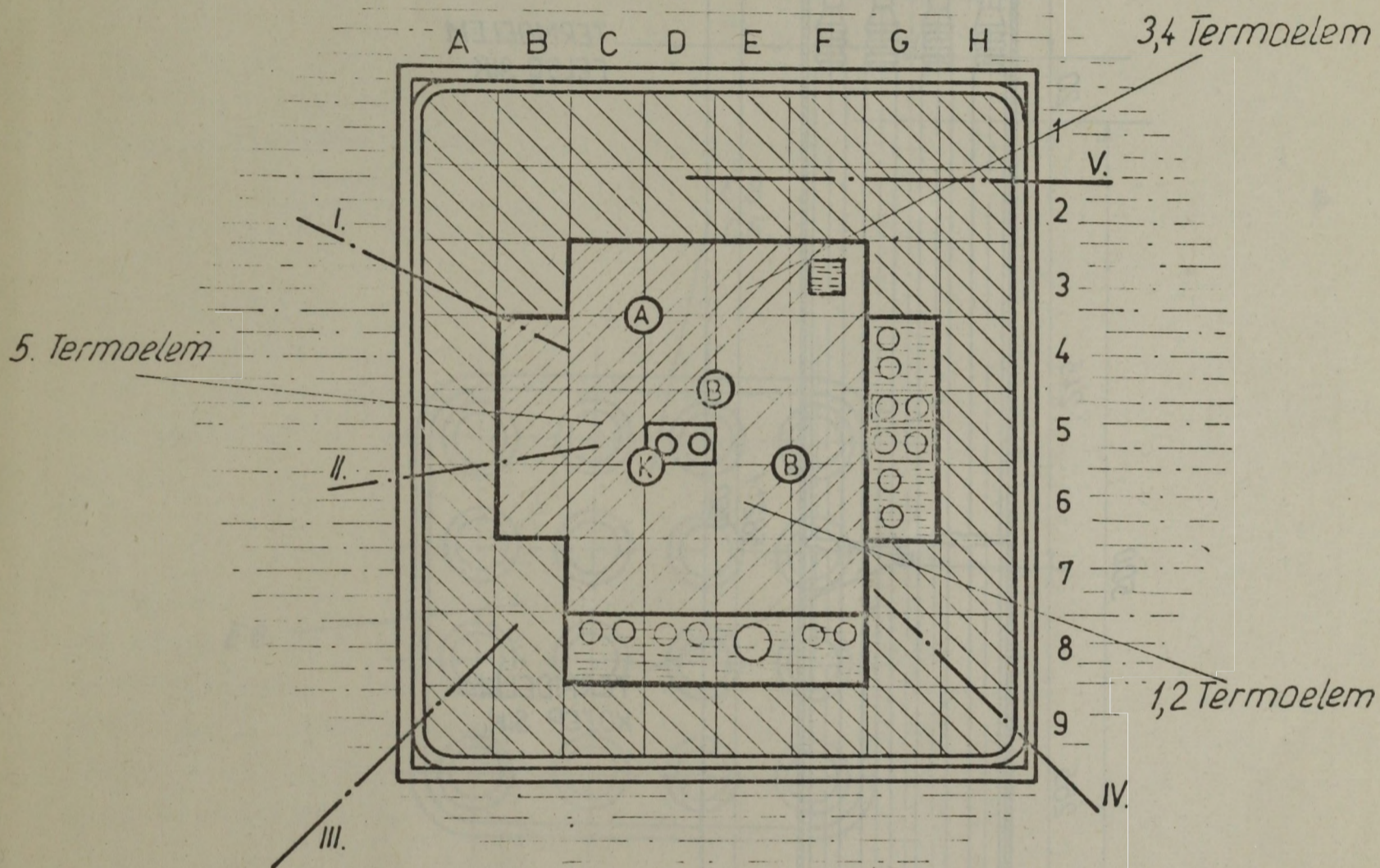
A KFKI-ban korábban alapos reaktivitás-hőmérsékletfüggés mérések történtek különböző rácsoztású / H/U viszonyú/, EK-10 típusú fűtőelemekből felépített zónákban [6], azonban a jelen zónakonfiguráció abban tért el a korábbiaktól, hogy vízreflektor helyett grafit-víz kombináció jelent meg, valamint a rudcsatornák miatt erősen torzított ráccsal rendelkezik.




A reaktivitás statikus hőfokfüggésének mérése a zóna hőmérsékletének változtatásából, ill. a különböző zónahőmérsékletekhez tartozó szuperkritikus reaktivitástartalékok méréséből áll.


2.3.1. A zónahőmérséklet eloszlásának mérése

Az aktív zónában kialakult hőmérsékleti eloszlás meghatározásához 5 db termoelemet készítettünk, üvegszál szigetelésű, Degussa gyártmányú NiCr-Ni huzalból. A huzalt 2,5 m hosszú 2,2/1,6 mm átmérőjű rozsdamentes acélcsőbe zártuk vízmentesen, majd a huzalok acélcsőből kiálló részét ugyancsak Degussa gyártmányú polietilén tokozású NiCr-Ni huzallal hosszabbítottuk meg. A hosszabbító szabad végén alakítottuk ki a jégpontot. A termoelemek jelét rézkábelben 3 db öniró galvanométer /Sefram gyártmányú, Graphisrac típusú/ 5 csatornájához csatlakoztattuk.

Az öt termoelem közül 3 darab a fűtőelemek középsikjában, egy a fűtőelemek felső, egy pedig a fűtőelemek alsó végének síkjában /19. sz. ábra/ mérte a hőmérsékletet. Ezt az elrendezést úgy oldottuk meg, hogy a termopárok közül kettőt-kettőt egymáshoz képest 265 mm-re eltolt állapotban forrasztottunk össze /20. sz. ábra/ és így helyeztük el az E3 pozíció középső és felső síkjában, az E6 pozíció középső és alsó síkjában, valamint a C5 pozíció középsikjának magasságában. A termoelemek a fűtőelemek közötti térben helyezkedtek el /21.sz. ábra/. A termoelemek fűtőelemkötegen belüli pontos pozícióját axiális irányban konuszos plexi dugók, radiális irányban plexi hengerek biztosították.

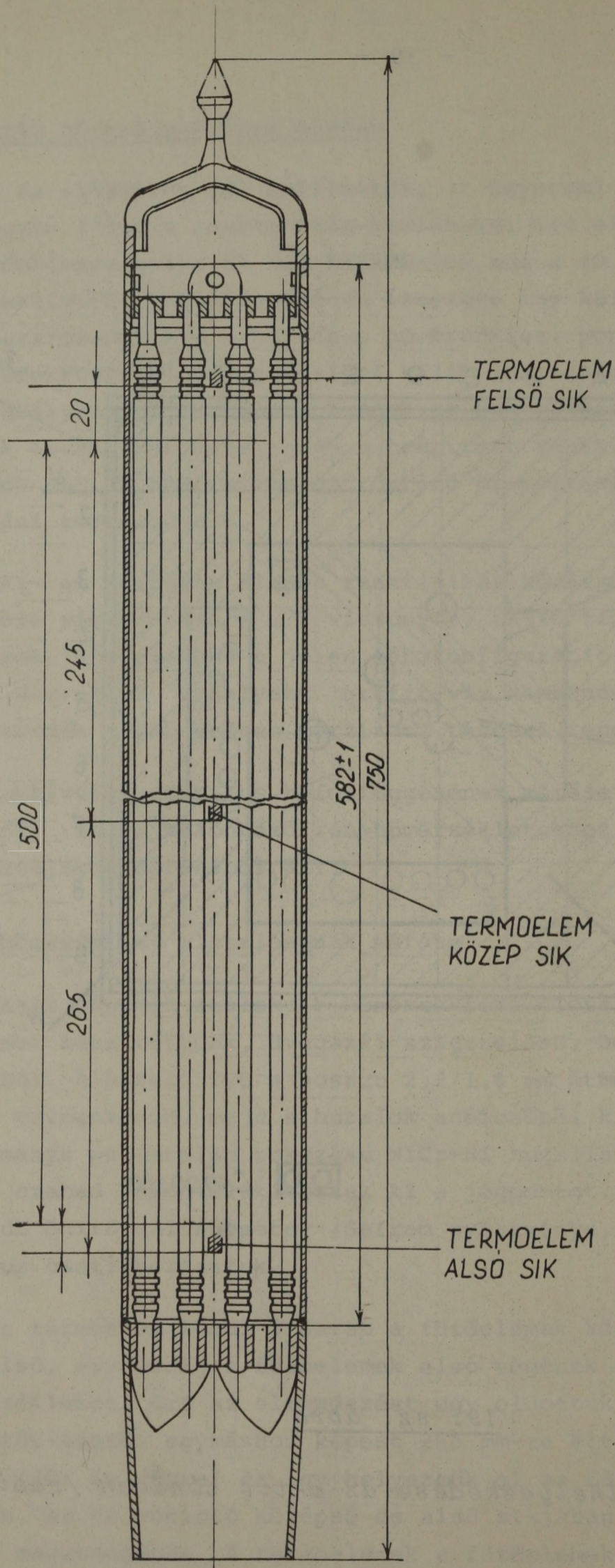


-  Fütőelem
-  Grafit
-  Viz

 Csőposta

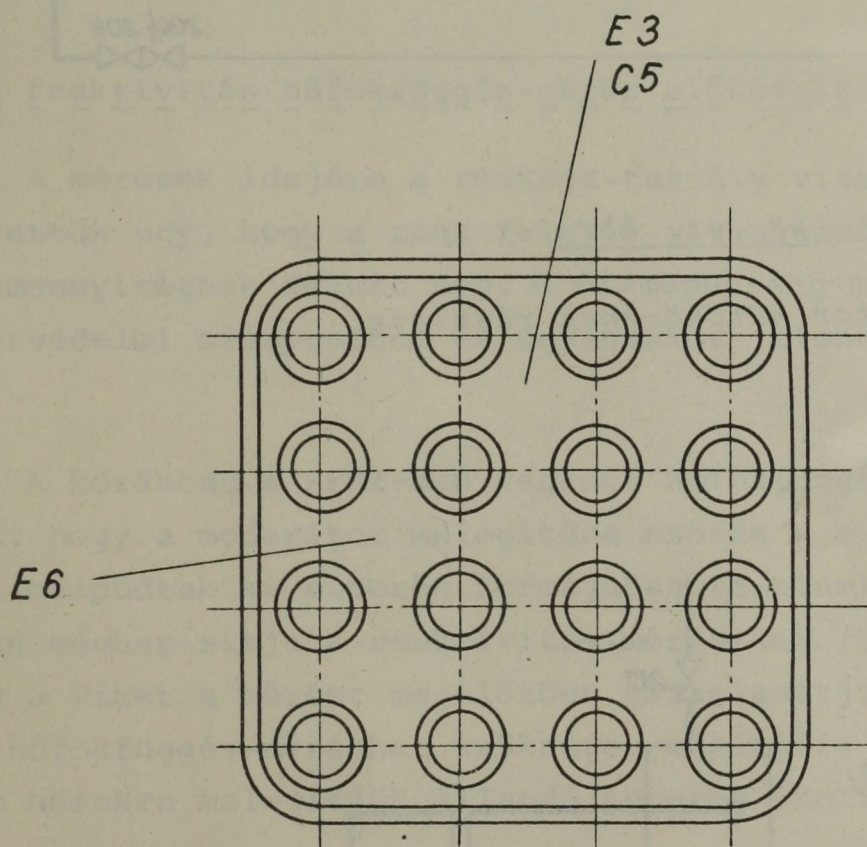
19. sz. ábra

A termopárok elhelyezkedése az aktiv zónában /radiális/



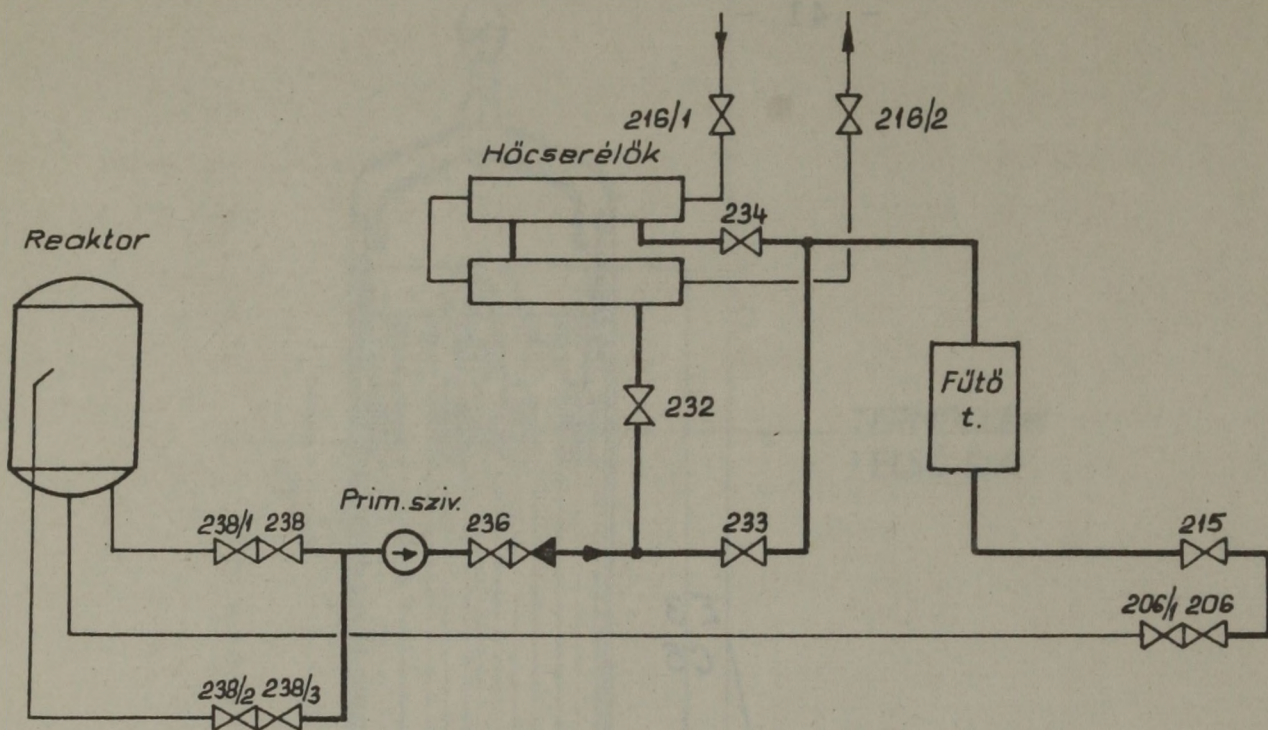
20. sz. ábra

A termopárok elhelyezkedése az EK-10 típusú kötegben /axiális/



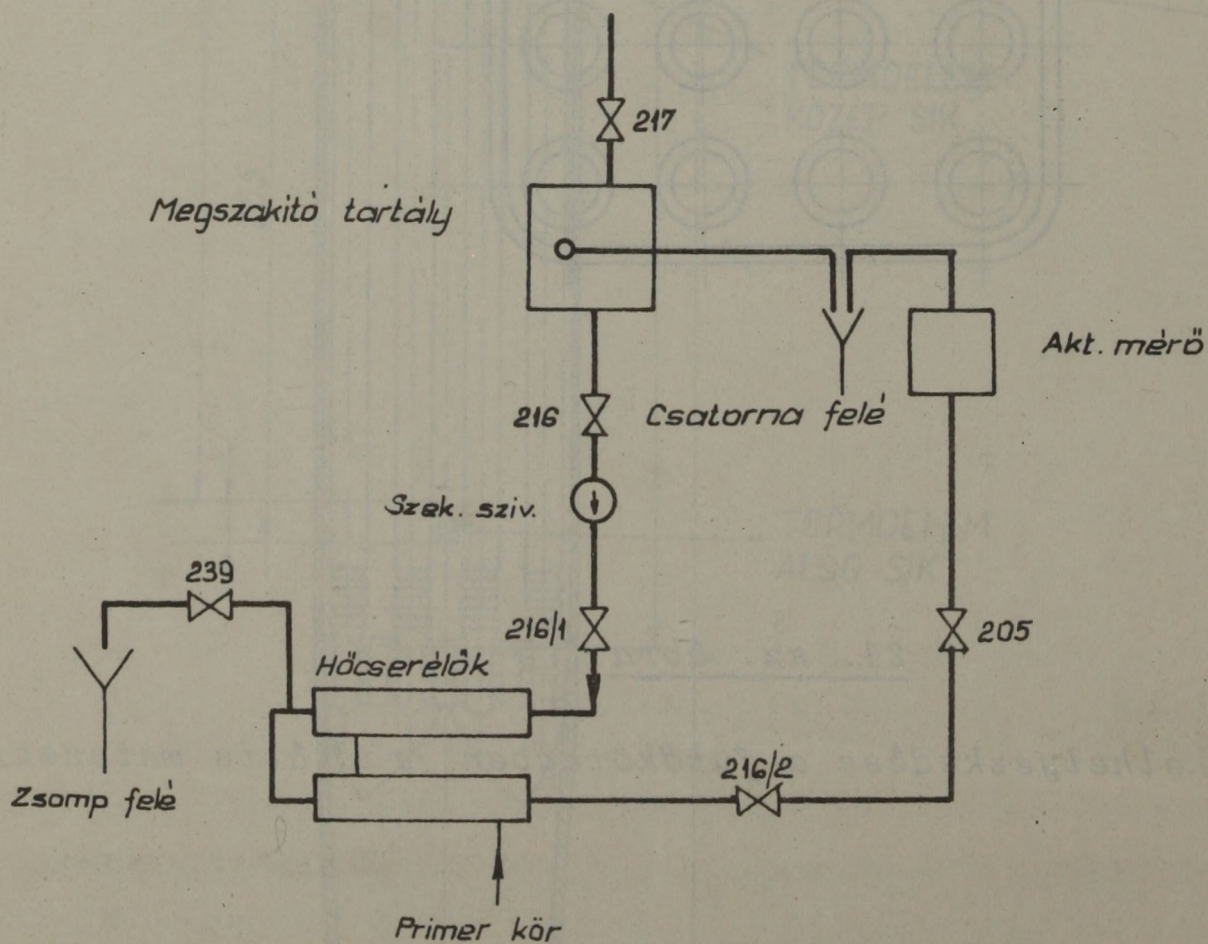
21. sz. ábra

A termoelemek elhelyezkedése a fűtőkötégekben /radiális metszet/



22. sz. ábra

A reaktor hűtőkörének részlete



23. sz. ábra

A reaktor hűtőkörének részlete

Az öniróhoz csatlakozó termoelemek kalibrálását a következőképpen végeztük el. A szorosan összefogott öt darab termoelem érzékelő részét ultra-termosztátba meritettük. A termosztát hőmérsékletét $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pontossággal tartotta. A kalibrációt az önirók $2,5\text{ mV}$ -os mérési tartományában $6\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ /, az 5 mV -os tartományban pedig $8\text{ pontban } 12,5\text{ }^{\circ}\text{C} - 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ / végeztük el. A mérési pontosság a $2,5\text{ mV}$ -os tartományban $1/6\text{ }^{\circ}\text{C}$, az 5 mV -os tartományban pedig $1/8\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

Az itt leirt öt darab termopáron kívül rendelkezésünkre álltak a reaktor primerkörébe beépített hőmérők is, a reaktor-tartály után, valamint a fűtőtartály után mérték a víz hőmérsékletét.

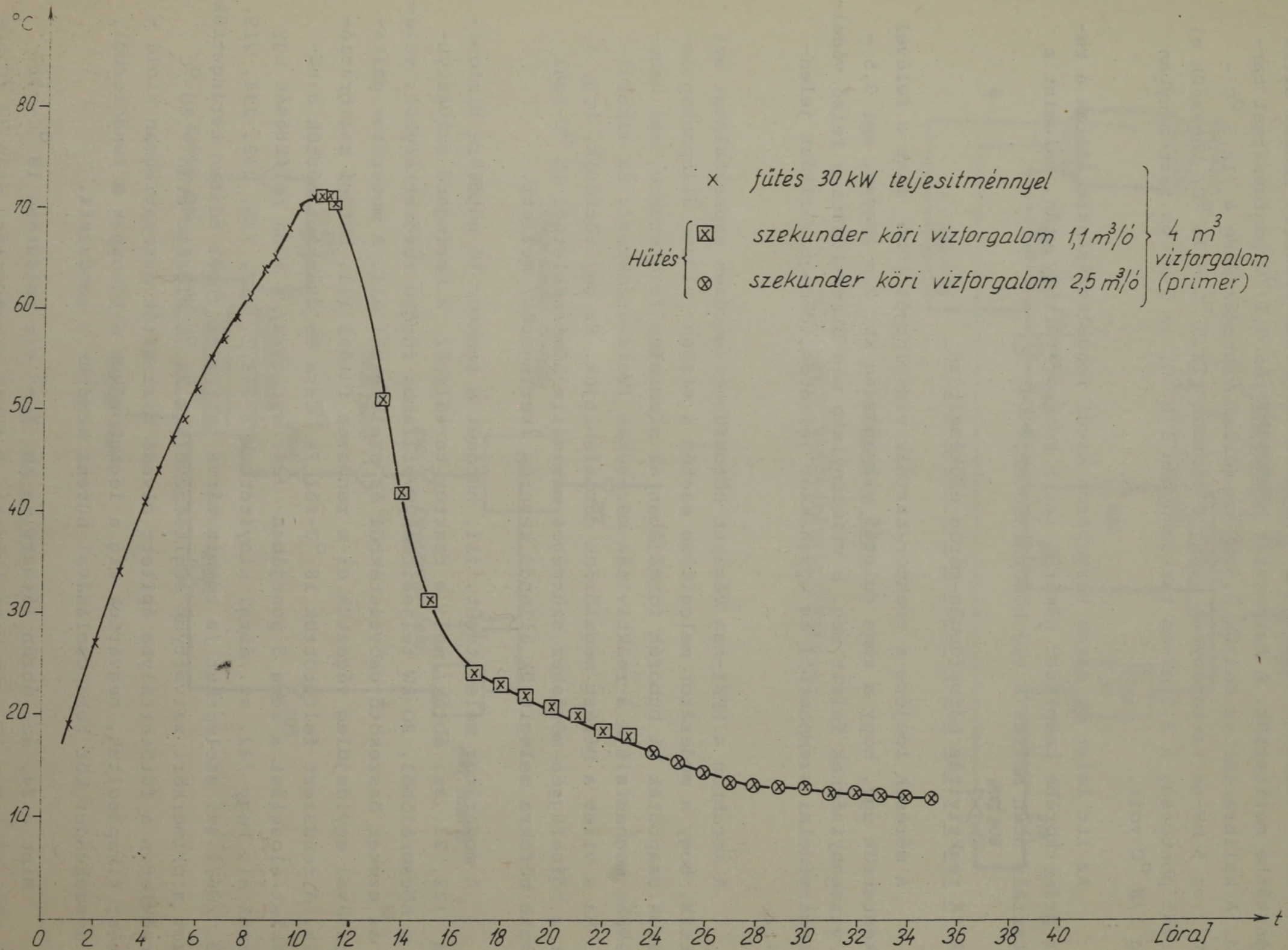
2.3.2. A reaktivitás hőfokfüggés-mérés előkészítése

A mérések idejére a reaktor-tartály vízszintjét több mint a felével csökkentettük úgy, hogy a zóna feletti vízmagasság kb. 2 m legyen, ami $3,5 - 4\text{ m}^3$ vízmennyiségnek felelt meg. E vízmennyiség még biztosította a felső védelmet sugárvédelmi szempontból és ugyanakkor jelentős időmegtakarítást jelentett.

A korábban a KFKI-ban végzett hőfokfüggés-mérések tapasztalatai azt mutatták, hogy a moderátor melegítése esetén a vízben oldott állapotban levő gázok csapódtak ki buborék formájában az alumínium felületekre, ami nagymértékben megzavarja a reaktivitás-méréseket /Void-effektus/. Ez elkerülhető, ha a vizet a mérést megelőzően gáztalanítjuk. Ez úgy történik, hogy a vizet a hőfokfüggés-méréshez szükséges maximális hőmérsékletnél $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -szal magasabb hőfokra melegítjük állandó keverés /keringetés/ mellett.

A moderátor melegítését, ill. hűtését a reaktor fő hűtőköre biztosította /22, 23. sz. ábrák/, mely a reaktor-tartályból, a keringető szivattyútól, a hőcserélőből, 30 kW teljesítményű villamos fűtésű fűtőtartályból, valamint az ezeket összekötő csővezetékéből és szelepekből áll. A moderátor gáztalanításával egyidejűleg végeztük el a rendszer fűtési ill. hűtési kalibrációját is. A rendszert felfűtöttük $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra és óránként mértük a hőmérséklet-eloszlást a zóna 5 pontjában /24. sz. ábra/. A zóna felfűtését úgy végeztük el, hogy /22. sz. ábra/ kinyitottuk a 238/1, 238, 236, 232, 234, 215, 206/3, 206/1 sz. szelepeket /a többi zárva tartva/ és fűtés közben keringettük a vizet a primerköri szivattyúk segítségével. A $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ elérése után $- 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten a fűtőtartályba épített olvadó biztosíték automatikusan kiold - a fűtést kikapcsoltuk, megvártuk míg a légbuborékok eltávoznak a rendszerből, majd a szekunder kör bekapcsolásával hűteni kezdtük a rendszert.

Mint a 24. sz. ábrán látható, a kb. 4 m^3 víz felfűtése $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre $10\text{ órá$ t vett igénybe. A fűtés kikapcsolása után $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten - a rendszer néhány perces primerköri forgatása után - a szivattyu-



24. sz. ábra
A rendszer fűtési, ill. hűtési kalibrációja

kat leállítottuk. A moderátor hőtehetetlensége következtében 10 perces időtartam alatt - mely a mérések elvégzéséhez szükséges - a hőmérséklet a mérési pontosságon belül nem változott. Ezután a 23. sz. ábrán jelzett 216/1 sz. szelep nyitásával és a szekunderköri szivattyu beindításával intenzív hűtést hoztunk létre $4 \text{ m}^3/\text{ó}$ primerköri és $1,1 \text{ m}^3/\text{ó}$ szekunderköri vízforgalom mellett. 17°C hőmérsékletnél megnöveltük a szekunderköri vízforgalmat $2,5 \text{ m}^3/\text{ó}$ szintre és így $12,3^\circ\text{C}$ hőmérsékletig sikerült a rendszert visszahűteni. /A mérést december hónapban végeztük, amikor a szekunderköri vízhőmérséklet éjjel 8°C -ra csökkent./

Az előzetes kalibrációs mérések alapján arra az elhatározásra jutottunk, hogy a mérést célszerűbb az előzőleg felmelegített víz hűtése során végezni el, mert így a mérendő hőmérsékleti tartományt tetszőleges finomsággal tudjuk átfogni.

2.3.3. A reaktivitás hőfokfüggés-mérés kivitelezése

Az előző pontban leírtak szerint a mérés megkezdése előtt újból felmelegítettük a moderátort 64°C hőmérsékletre. A kezdő hőmérsékleten beállítottunk egy hosszú, de még jól mérhető ketszerezési idővel rendelkező szuperkritikus alapzónát és megmértük a hőmérséklet eloszlását az aktív zónában. A mérés során leállítottuk az összes szivattyut, mert a primer szivattyu szekunderkör nélküli keringetése magasabb hőmérsékleteken lassu hűtést eredményezett, melyet ki is használtunk a moderátor hőmérsékletének kb. 50°C -ig történő finom beállítására.

50°C hőmérséklet alatt intenzívebb hűtést kellett biztosítanunk, ezért - a szükséges hűtéstől függő ideig - együttesen működtettük a primer- és szekunderköri szivattyukat, majd a kívánt hőmérsékleti érték közelében leállítottuk a szekunderköri szivattyut és a primerköri szivattyu segítségével biztosítottuk a szükséges hőmérséklet kialakulását az aktív zónában. Az egyensúlyi hőmérsékleti viszonyok kialakulása után a primer szivattyut is leállítottuk és elvégeztük a méréseket. Ily módon a reaktivitás hőfokfüggés-mérését a $64-15^\circ\text{C}$ közötti hőmérsékleti tartományban $1-3^\circ\text{C}$ -nyi lépésekben hajtottuk végre.

A hőmérséklet-mérésekkel párhuzamosan mértük a szuperkritikus rendszer aszimptotikus periódus idejét. A méréseket két darab, a rendszerbe beépített impulzus-detektor segítségével végeztük el, melyet később az ICT 1905 gépen értékeltünk az RA 01 illesztő program segítségével, a legkisebb négyzetek módszerével történő illesztéssel. A két detektor által kapott reaktivitás-értékek, melyeket a Hughes későneutron csoporttal, a reciprok óraformula alapján számítottunk, 1% -on belül egyeztek. Ezenkívül rendelkezésünkre álltak a 2.2.1. pontban közölt, 24°C zónahőmérsékleten bemért szabályozó rudak jelleg-

görbái is, melyeket felhasználtunk az effektus 24°C -on történő abszolútizálására.

A mérések során a zónán belüli hőmérsékleti adatokat összehasonlítva elmondhatjuk, az átlagos értéktől való maximális eltérés nem haladta meg a $\pm 1^{\circ}\text{C}$ -t. Ezt nagyrésztben a primer hűtőviznek a reaktor-tartályba való belépési, ill. onnét történő elszívási módja magyarázza. A primer hűtőviz egy elosztó tárcsa/injektor/ és osztott diffuzor rendszeren keresztül jut az aktiv zónába, míg a felmelegített víz elszívása a zóna felett egy méterrel történt. Az injektor tárcsán elhelyezkedő lyukak sűrűsége a zóna közepe táján - ahol a maximális teljesítménysűrűség várható a zóna 10 kW-os nukleáris üzeme során - nagyobb, mint a széleken, és ez okozta a statikus hőfokfüggés mérése során a hőmérsékleti gradienst radiális irányban. Axiális irányban a maximális eltérés $0,5^{\circ}\text{C}$ -on belül volt.

2.3.4. Mérési eredmények

A reaktor hőmérséklet-változása visszahat a reaktivitástartalékra egyrészt az aktiv zóna, valamint a reflektor eltérő magsűrűség-változásán keresztül /sűrűség tényező/, másrészt a hőmérséklet emelkedésével a neutrongáz hőmérséklete is emelkedik, mely az abszorpciós és szórási hatáskeresztmetszetek változásán keresztül hat vissza a reaktivitás-tartalékra /neutron hőmérsékleti tényező/. A két effektus egy összreaktivitás-hőfokfüggést mutat, melynek mérésével foglalkoztunk a jelen mérési sorozatban.

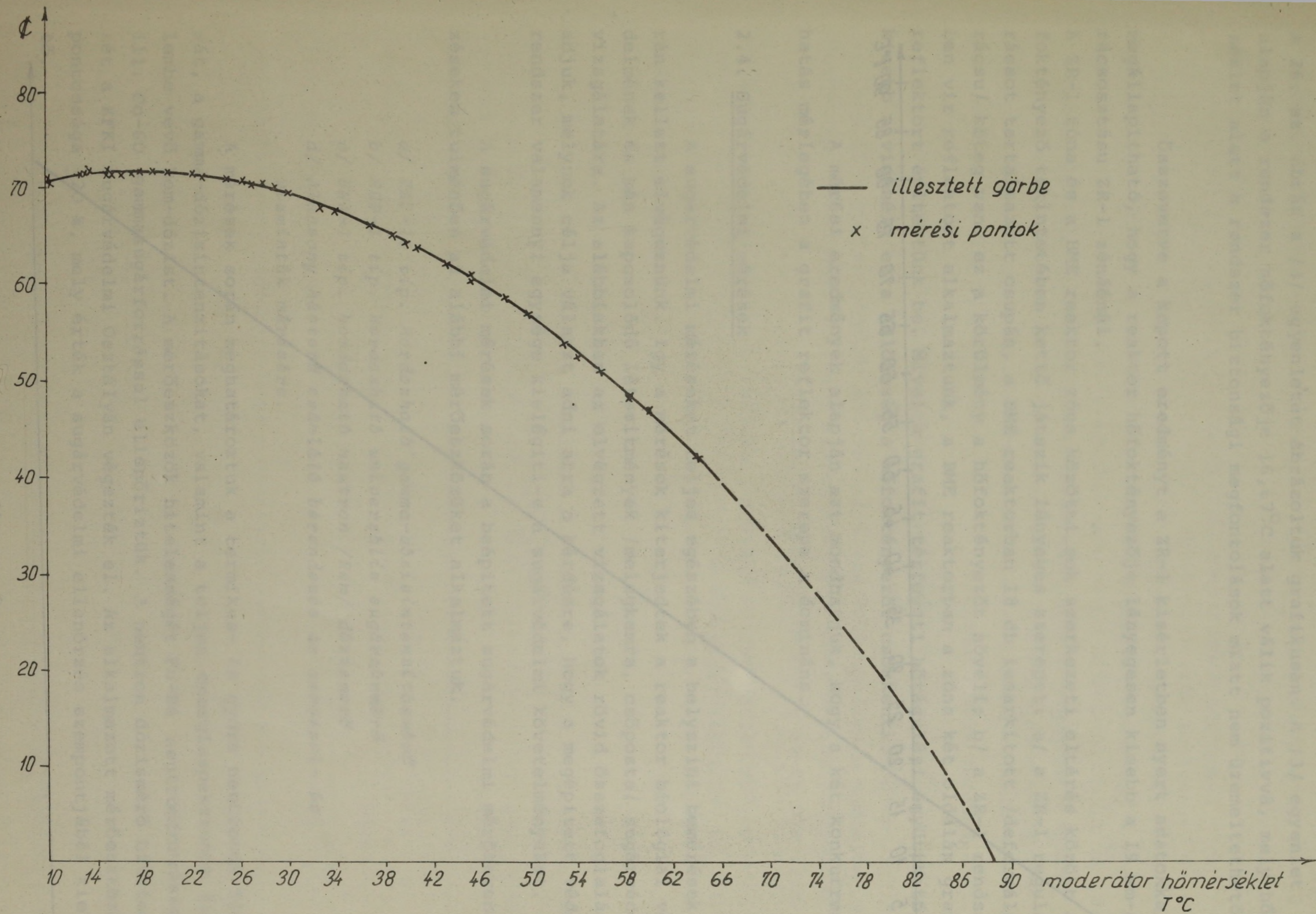
A korábbi, EK-10 típusu fűtőelemekből felépített rendszeren végzett méréseink azt mutatták, hogy a rendszer reaktivitás-hőfoktényezője a $13-40^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleti határok között lineáris függést mutat és a reaktivitás hőfokfüggését jó közelítéssel egy másodfoku polinom segítségével írhatjuk le.

Ezuttal a $12,6-64^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleti tartományban kapott mérési pontokra a legkisebb négyzetek módszerével másodfoku polinomot illesztettünk. Az illesztett görbe analitikusan:

$$\rho/t/ = -0,0135t^2 + 0,45t + 67,99 \quad /2/$$

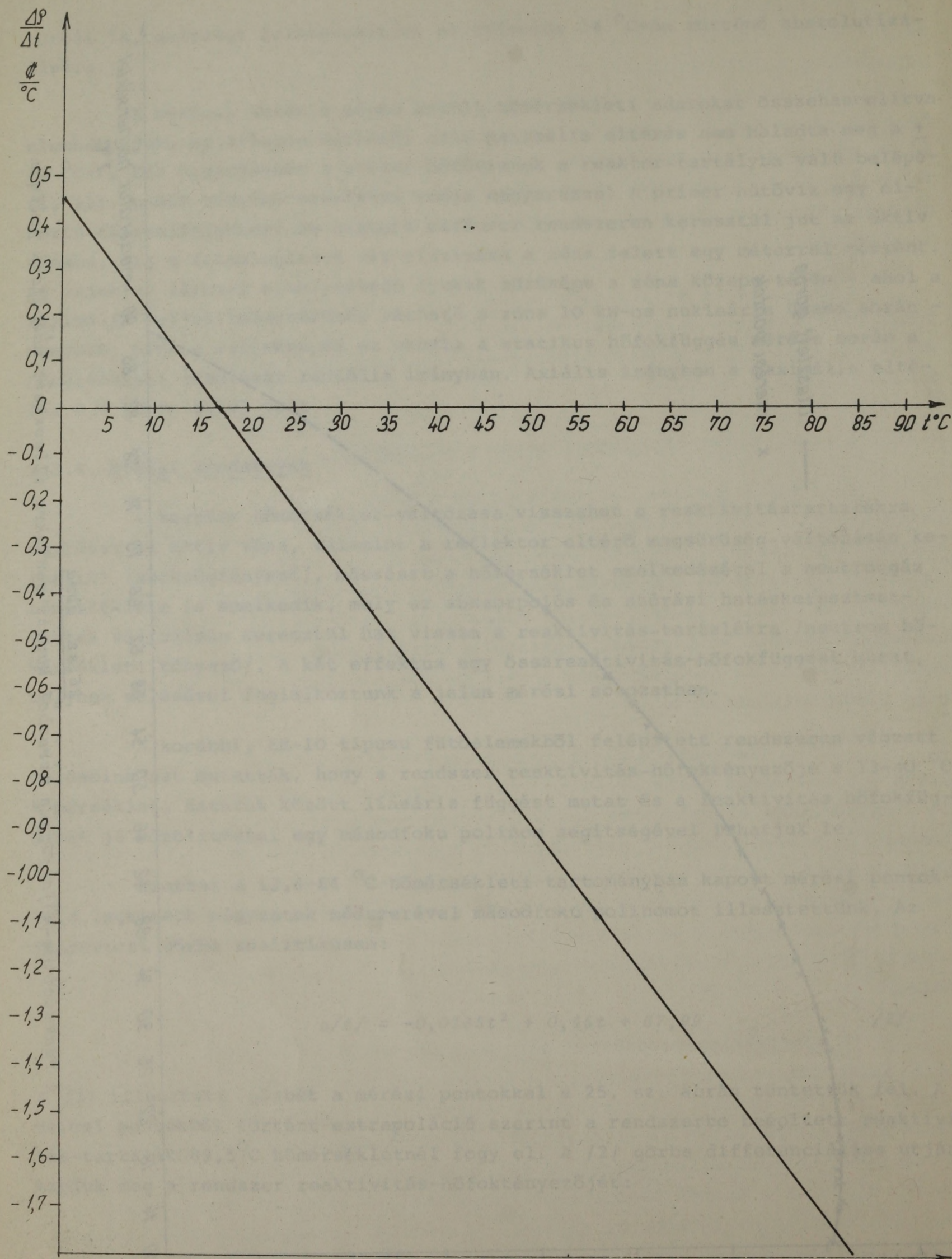
A /2/ illesztett görbét a mérési pontokkal a 25. sz. ábrán tüntettük fel. A mérési pontokból történt extrapoláció szerint a rendszerbe beépített reaktivitás-tartalék $89,5^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletnél fogy el. A /2/ görbe differenciálása útján kapjuk meg a rendszer reaktivitás-hőfoktényezőjét:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -0,027t + 0,45 \quad /3/$$



25.sz. ábra

A reaktivitás-hőfokfüggés mérésből kapott pontokra illesztett másodfoku polinom



26. sz. ábra

A reaktivitás hőfoktényezőjének hőmérsékleti függése

A 26. sz. ábrán a /3/ egyenletét ábrázoltuk grafikusán. A /3/ egyenlet alapján a rendszer hőfoktényezője $16,67^{\circ}\text{C}$ alatt válik pozitívvá, mely hőmérséklet alatt a rendszer biztonsági megfontolások miatt nem üzemeltethető.

Összevetve a kapott eredményt a ZR-1 kísérletben nyert adatokkal, megállapítható, hogy a reaktor hőfoktényezője lényegesen kisebb a 19 mm-es rácsosztású ZR-1 zónáénál.

A ZR-1 zóna és a BME reaktor zóna közötti sok szerkezeti eltérés között a hőfoktényező tekintetében kettő játszik lényeges szerepet: a/ a ZR-1 reguláris rácsot tartalmazott csupán, a BME reaktorban 18 db lesarkított /deformált rácsu/ köteg van, ez a körülmény a hőfoktényezőt növeli; b/ a ZR-1 rendszerben víz reflektort alkalmaztunk, a BME reaktorban a zóna két oldalán grafit reflektort építettünk be. Mivel a grafit térfogati hőtágulási együtthatója kisebb a vizénél, ez a különbség a hőfoktényezőt csökkenti.

A mérési eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a két konkurrens hatás mérlegében a grafit reflektor szerepe a domináns.

2.4. Sugárvédelmi mérések

A sugárvédelmi méréseket teljes egészében a helyszíni bemérések során kellett elvégeznünk. Így a mérések kiterjedtek a reaktor biológiai védelmének és más kapcsolódó létesítmények /melegkamra, csőposta/ sugárvédelmi vizsgálatára. Az alábbiakban az elvégzett vizsgálatok rövid összefoglalását adjuk, melynek célja választ adni arra a kérdésre, hogy a megépített védelmi rendszer valamennyi egysége kielégíti-e a sugárvédelmi követelményeket.

A sugárvédelmi mérések során a beépített sugárvédelmi mérőberendezéseken túlmenően az alábbi mérőeszközöket alkalmaztuk.

- a/ VAJ-15 tip. hordozható gamma-dózisintenzitás mérő
- b/ RUP-1 tip. hordozható univerzális sugárzásmérő
- c/ DNA-1 tip. hordozható neutron /Rem/ dózismérő
- d/ Alacsony háttérű számláló berendezés az aeroszol- és vizminták mérésére.

A mérések során meghatároztuk a termikus- és gyors neutronok fluxusát, a gamma-dózisintenzitásokat, valamint a teljes energiaspektrumot figyelembe vevő Rem-dózist. A mérőeszközök hitelességét Pu-Be neutronforrással, ill. Co-60 gammasugárforrással ellenőriztük. A neutron dózismérő hitelesítését a KFKI Sugárvédelmi Osztályán végezték el. Az alkalmazott mérőeszközök pontossága $\pm 20\%$, mely érték a sugárvédelmi ellenőrzés szempontjából kielégítő.

Az alábbiakban foglaljuk össze a konkrét mérési eredményeket, melyekhez a következő jelöléseket alkalmaztuk.

- D_γ - gamma-dózisintenzitás
- D_n - neutron dózisintenzitás
- n_t - termikus neutronfluxus
- n_{gy} - gyors neutronfluxus

2.4.1. Neutron- és gamma-dózisintenzitások a reaktor biológiai védelmének közvetlen környezetében

2.4.1.1. A reaktor-tető felszínén

A reaktor-tető síkját a mérések szempontjából két csoportra osztottuk fel: a reaktor-tartály feletti térségre, melyet a 27.sz. ábra szemléltet, valamint a reaktor-tető korlátig terjedő részét, melyet a 28.sz. ábrán tüntettünk fel. A mérések 10 kW reaktor hőteljesítmény és az aktív zóna feletti 450 cm-es vízmagasság mellett történtek.

A 27. sz. ábrán jelzett mérési pontokra vonatkozó mérési eredményeket a IX. sz. táblázat tartalmazza.

IX. sz. táblázat

Mérési hely	Dózisintenzitás, neutronfluxus			
	D_γ mR/ó	D_n mRem/ó	n_t n/cm ² sec	n_{gy} n/cm ² sec
Aktív zóna felett /+ jelű helyek/	1,5 ÷ 2	0,1	4 ÷ 6	1 ÷ 2
Reaktor-tartály felett +jelű helyek	0,3 ÷ 0,5	<0,1	≈ 0	≈ 0

A 28. sz. ábrán jelzett térségben - tető síkjában - mért dózisintenzitás:

$$D \approx 0,1 + 0,05 \text{ mR/ó}$$

$$D_n < 0,05 \text{ mRem/ó}$$

Ebben a térségben a termikus és gyors neutronok fluxusa az alkalmazott mérő-

eszközökkel nem mutatható ki, illetve $1 \pm 2 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ -nál kisebb.

Megjegyezzük, hogy az aktiv zónába nyuló csatornák /szabályozó rudak/ lezáró árnyékolását is ellenőriztük, rendellenességet nem észleltünk.

A reaktor-tető térségére /tető síkjában/ vonatkozóan megállapítható, hogy a mért gamma- és neutron dózisintenzitások az MMD-értékeket nem haladják meg. A reaktor-tető leggyakrabban használt területén /korlát és reaktor-tartály közötti terület/ a dózis-értékek 0,1 MMD-nél kisebbek. A gamma-dózisintenzitások minden esetben nagyobbak a neutron-dózisintenzitásoknál, tehát az összdózisban a gamma-komponens képviseli a jelentősebb részarányt. /A reaktor-tartály felett kb. 90 %./

A reaktor-tető térségét a fentiek alapján normál üzemi viszonyok esetében alacsony sugárveszélyességű területnek minősíthetjük.

2.4.1.2. A vízszintes kísérleti csatornák környezetében

A vízszintes csatornák esetében egyrészt meg kellett vizsgálnunk a teljesen lezárt /vizzár + vasdugó/ csatornák védelmének hatékonyságát, másrészt a csatornáknál végzendő kísérletek céljából ajánlást kellett tennünk a félig nyitott, ill. teljesen nyitott csatornák kiegészítő védelmének megszervezésére.

2.4.1.2.1. A vízszintes kísérleti csatornák teljesen zártak

A vizzárat feltöltötték, a vasvédelmet /dugó/ a helyére illesztették. A vasdugó külső felszínére és 10 kW reaktor hőteljesítményre vonatkozó mérési eredmények a következők:

X. sz. táblázat

Vízszintes kísérleti csatorna	1	2	3	4	5
$D_{\gamma}; \text{ mR/ó}$	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1
$D_n; \text{ mRem/ó}$	0,2	0,15	0,1	0,3	<0,05
$n_t; \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	0	0	0	0	0
$n_{gy}; \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	1÷2	1÷2	1÷2	1÷2	0

2.4.1.2.2. A vízszintes kísérleti csatornák félig nyitottak; Vizzár feltöltve, vasvédelem /dugó/ kiemelve

A mérési hely a csatornanyílás külső /betonvédelemmel párhuzamos/ síkjában volt. A vizsgálatok során a csatorna-nyílás felső harmadában keskeny sugárnyaláb jellegű kiszórást észleltünk az 1,2,3,4-es csatornáknál. 10 kW reaktor hőteljesítményre vonatkozó vizsgálati eredmények a XI. sz. táblázatban találhatók. A kiszórási jelenség érzékeltetése céljából a táblázatban a csatornanyílás alsó harmadára /a-oszlop/, valamint a kiszórási helyre /b-oszlop/ vonatkozó értékeket is közöljük. Bár az ismételt nyitás-zárás műveletek után a kiszórás mértéke változott, a kb. tízszeres sugárzási szint-emelkedés változatlan maradt. A további vizsgálatok alapján megállapították, hogy a kiszórást a csatorna-zárban maradó "légzsák" idézi elő. A BME részéről történt intézkedések alapján ezt a hibát időközben megszüntették.

XI. sz. táblázat

V.k. csatorna	1		2		3		4		5
	a	b	a	b	a	b	a	b	
D_{γ} ; mR/ó	45	720	70	360	65	720	72	1400	25
D_n ; mRem/ó	2	-	2	-	1,8	-	2,5	-	4
n_t ; n/cm ² sec	60	200	15	800	20	$7 \cdot 10^3$	30	$2 \cdot 10^4$	-
n_{gy} ; n/cm ² sec	45	$2,4 \cdot 10^3$	40	$1,6 \cdot 10^3$	34	$2 \cdot 10^3$	50	$4 \cdot 10^3$	30

Vizzárat kiemeltük, vasvédelmet /dugót/ helyére illesztettük. Ebben az esetben 10 kW reaktor hőteljesítmény mellett végzett mérések eredményei a XII. sz. táblázatban láthatók:

/Mérési hely a vasdugó külső felszínén/

XII. sz. táblázat

V.k. csatorna	1	2	3	4	5
D_{γ} ; mR/ó	90	108	36	36	70
n_{gy} ; n/cm sec	-	250	300	200	900
n_t ; n/cm sec	-	200	150	140	500

Megjegyezzük, hogy a 0,1 kW és 1 kW hőteljesítmény esetében is végeztünk el-

lenőrző méréseket. Ezek alapján megállapítható, hogy a dózisintenzitás és neutronfluxus-értékek /a mérőeszközök pontosságán belül/ a reaktor-hőteljesítménnyel arányosak.

Ebben a fejezet részben foglalkozunk azokkal a mérésekkel, amelyeket a reaktor 10 kW hőteljesítményének első alkalommal történő elérésekor a 2.sz. vízszintes kísérleti csatornára vonatkozóan végeztünk.

Az előzetes program szerint 200 W, 1 kW, 6,45 kW és 10 kW hőteljesítmény-értékeknél történtek a mérések. Ezeknél a méréseknél a csatorna vasvédelmét eltávolítottuk és a vízzárat működtettük /nyitás, zárás/. /Félig nyitott csatorna esete./

A mérési helyet a 2. sz. vízszintes kísérleti csatornanyílás külső síkjában választottuk meg. A mérési eredményeket a XIII. sz. táblázatban foglaltuk össze.

XIII. sz. táblázat

R. hőtelj.	Csat. helyzet		D_{γ}	n_t/cm^2sec	n_{gy}/cm^2sec	D_n mRem/ó
200 W	vízzár	zárt	0,85 mR/ó	0	10	0,1
		nyitott	0,80 R/ó	$6 \cdot 10^3$	4,2 · 10	-
1 kW	vízzár	zárt	5 mR/ó	10	15	1
		nyitott	4 R/ó	-	-	-
6,45 kW	vízzár	zárt	20 mR/ó	400	600	7
		nyitott	-	-	-	-
10 kW	vízzár	zárt	35 mR/ó	600	$1,5 \cdot 10^3$	12
		nyitott	40 R/ó	-	-	-

2.4.1.2.3. A vízszintes kísérleti csatornák teljesen nyitottak

Ebben az esetben a csatornák vasvédelmét eltávolítottuk, vízzárat kinyitottuk. A csatornából kilépő sugárnyaláb árnyékolására kiegészítő védelmet /paraffin, ólomtégglák, vízkád/ alkalmaztunk. Méréseket jelen esetben csak gamma-dózisintenzitás meghatározására tudtunk végezni.

Méréseink szerint az 1, 2, 3, 4 sz. csatornák esetében a csatornanyílás betonsíkjában mérhető gamma-dózisintenzitás:

$$D_{\gamma} \approx 35 \div 40 \text{ R/ó}$$

Az 5. sz. csatorna esetében: $D_{\gamma} \approx 15 \div 20 \text{ R/}\delta$

Megjegyezzük, hogy a csatornák kilépő nyílásában mérhető termikus- és gyors neutronfluxus értékek a 2.1.3. pontban levő V. sz. táblázatban szerepelnek.

2.4.1.2.4. Sugárzási szintek a teljesen nyitott, kiegészítő védelemmel ellátott csatornák esetében.

A kiegészítő védelem elrendezését a 29. sz. ábrán tüntettük fel. A sugárnyalábra merőleges irányu árnyékoló rétegek: 20 cm bóros paraffin, 10 cm ólom és vízkád.

Mérési helyek: a - az ólomvédelem felületén, b - vízkád külső felületén, c - a reaktor-csarnokban a szemközti falon.

A mérési eredményeket a XIV. sz. táblázatban foglaltuk össze.

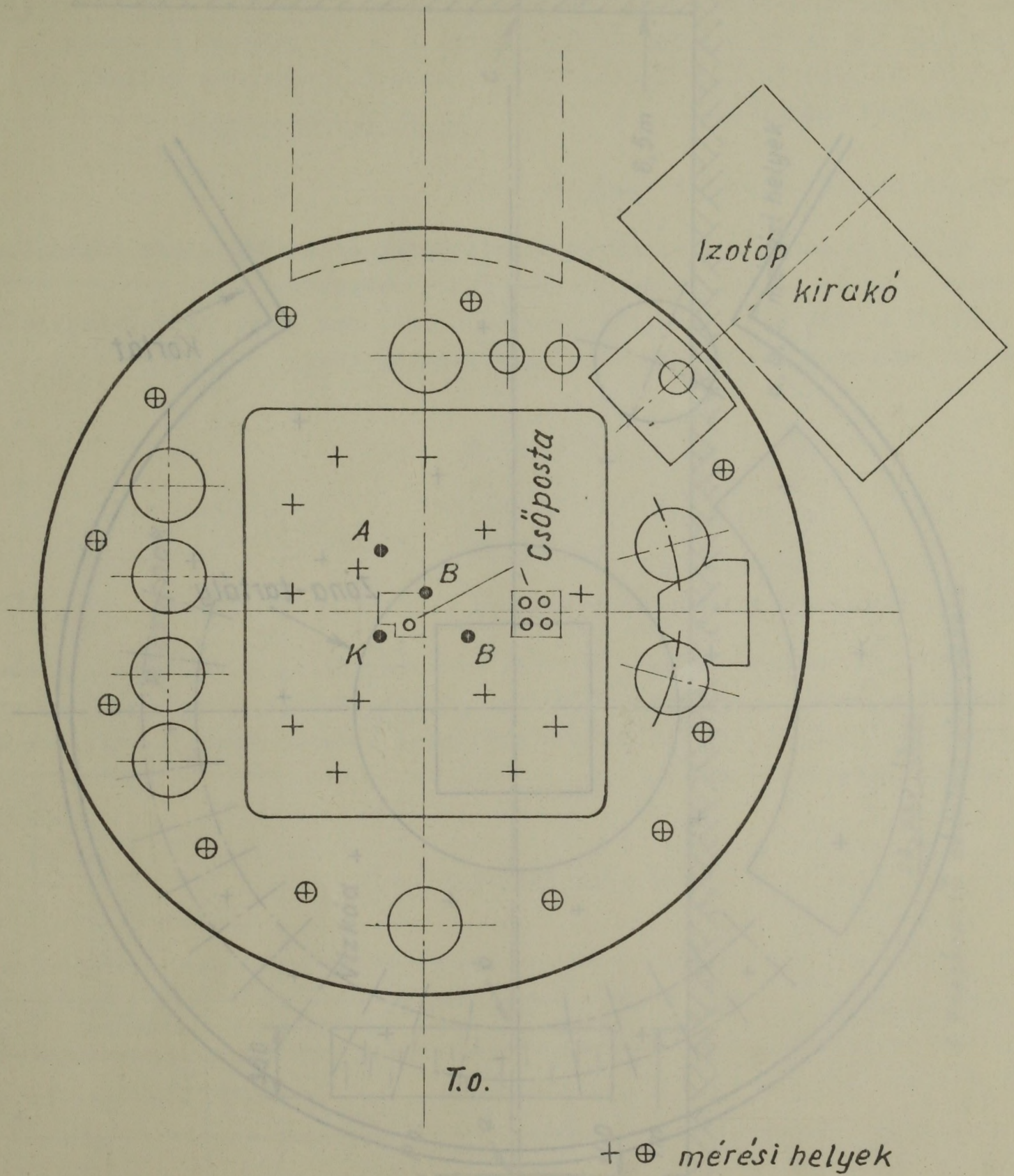
XIV. sz. táblázat

Csatorna	1			2			3			4			5		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
$D_{\gamma}; \text{ mR/}\delta$	250	36	2	220	23	2	220	52	1,6	240	40	1,9	150	10	0,7
$D_n; \text{ Rem/}\delta$	-	2,5	1,1	-	2,2	0,7	-	1,8	0,4	-	1,5	0,3	-	0,2	0,1
$n_t; \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	-	50	0	-	35	0	-	20	0	-	45	0	-	30	0
$n_{gy}; \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	$2 \cdot 10^4$	80	8	$2 \cdot 10^4$	60	15	$2 \cdot 10^4$	20	4	$2 \cdot 10^4$	35	5	$2 \cdot 10^3$	10	$1 \div 2$

A vízszintes kísérleti csatornákkal kapcsolatos vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a teljesen zárt vízszintes kísérleti csatornák esetén a védelem külső felszínén mért dózisintenzitások, 10 kW reaktor hőteljesítmény esetén, a 0,1 MMD értéket nem haladják meg. A reaktor-csarnokban a biológiai védelemben rendellenességet /kiszórást/ nem észleltünk. A vízszintes kísérleti csatornák védelme, nyitása és zárása az előirt követelményeknek megfelel. A nyitott vízszintes kísérleti csatornák esetében alkalmazott árnyékoló védelmi elrendezés, illetve az itt mért dózisintenzitások tájékoztató jellegűek. Más, a sugárvédelmi követelményeket kielégítő, a konkrét igények szerint épített elrendezés szintén alkalmazható.

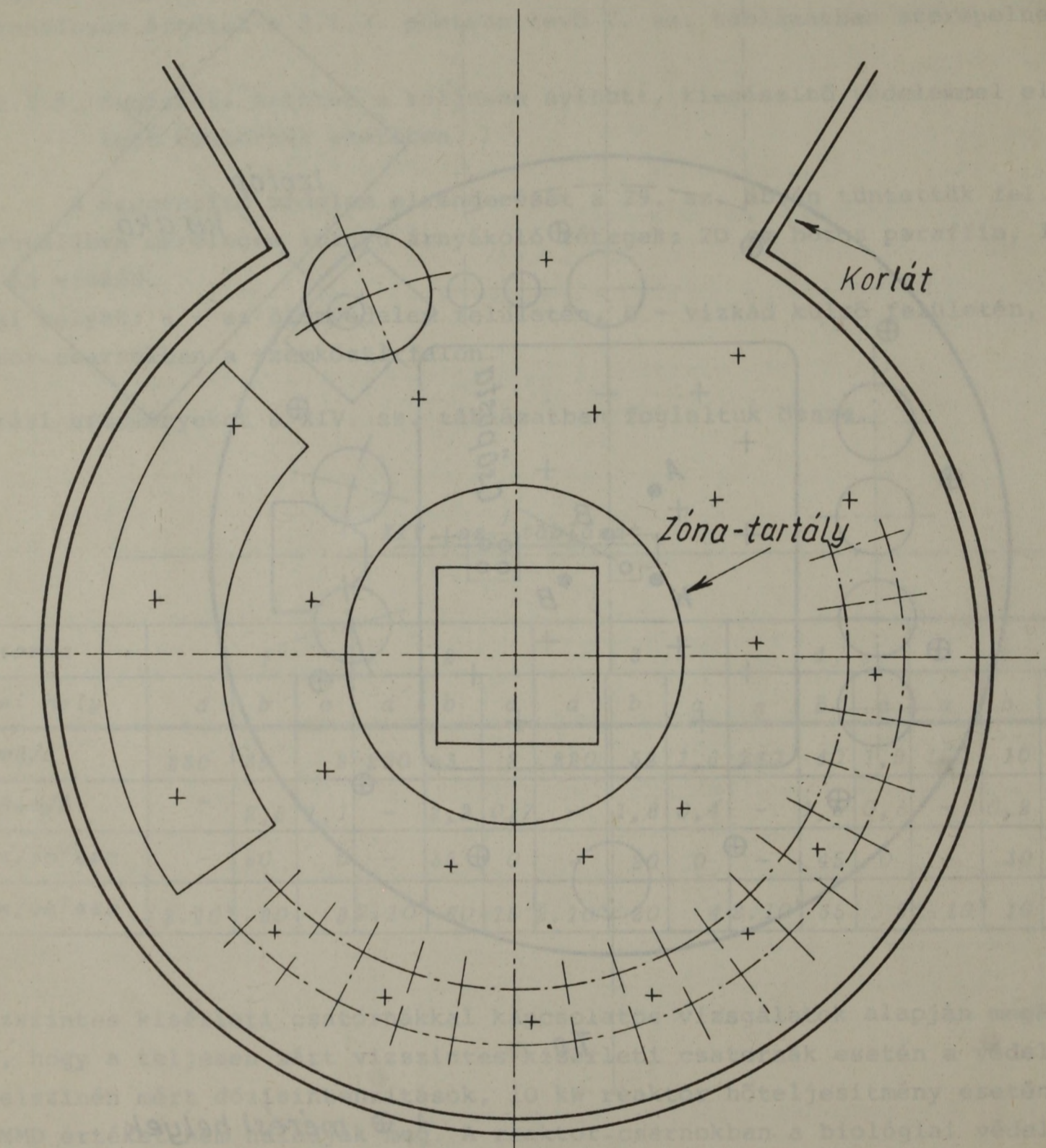
2.4.1.3. Besugárzó alagut környezetében

A besugárzó alagut a következő árnyékoló rétegeket tartalmazza /11. sz. ábra/.



27. sz. ábra

A reaktor-tető tartály feletti része

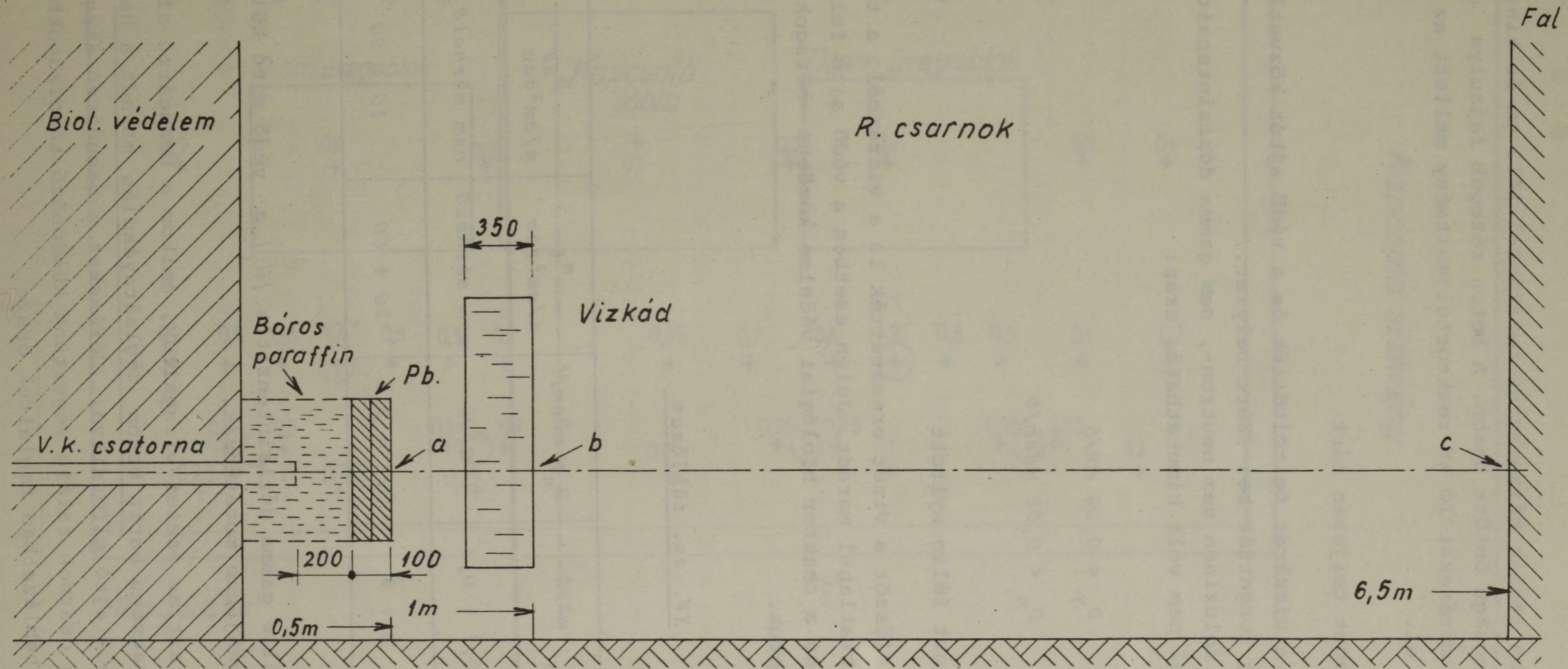


T.O.

+ mérési helyek

28. sz. ábra

Az egész reaktor-tető, a tartály feletti terület kivételével



a, b, c, mérési helyek

29.sz. ábra

A kiegészítő védelem elrendezése

A vizzár 914 mm, baritbeton téglák hézagmentes berakással 1412 mm és kinyitható védőajtó 520 mm vastagságu öntött beton. A beton rétegek fajsúlya $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$. Az ellenőrző méréseket 10 kW reaktorteljesítmény mellett az alábbi esetekben végeztük el.

2.4.1.3.1. A besugárzó alagut teljesen zárt

Ebben az esetben a vizzárat feltöltötték és a védő ajtót közvetlenül a biológiai védelem faláig forgatták be. /Zárt helyzet./ Jelen esetben a védő ajtó felszínén sem neutron-, sem gamma dózisintenzitás az alkalmazott mérőeszközökkel nem volt kimutatható, azaz:

$$D_{\gamma} < 0,05 \text{ mR/}\delta$$

$$D_n < 0,05 \text{ mRem/}\delta$$

2.4.1.3.2. A besugárzó alagut félig nyitott

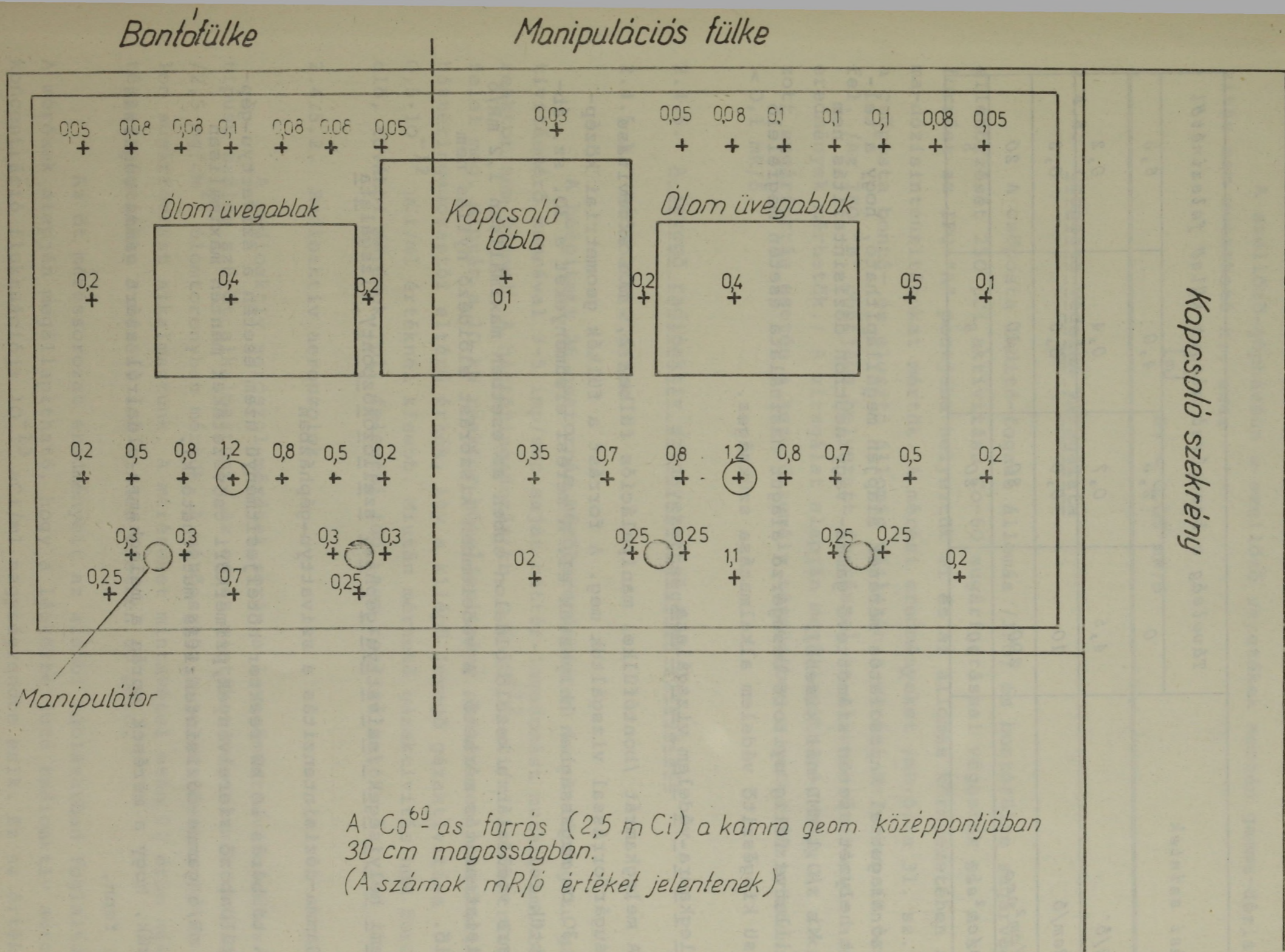
Ebben az esetben először a vizet eresztették le a vizzárból, a többi árnyékoló réteg pedig változatlanul maradt. Jelen esetben a védő ajtó felszínén, valamint a védő ajtó és a reaktor biológiai védelme közötti hézagok mentén az alábbi értékeket kaptuk.

XV. sz. táblázat

Mérés helye	$D_{\gamma}; \text{ mR/}\delta$	$D_n; \text{ mRem/}\delta$	n_t $\text{n/cm}^2\text{sec}$	n_{gy} $\text{n/cm}^2\text{sec}$
A védő ajtó felszínén	0,1 ÷ 0,3	0,05	nem mérhető	nem mérhető
Kiszórás a hézagoknál	2 ÷ 5	0,1 ÷ 1,5	20 ÷ 60	10 ÷ 60

Megjegyezzük, hogy a maximális gamma dózisintenzitás $|D_{\gamma}|$ a védő ajtó külső síkjának geometriai középpontjában mutatkozik.

A második esetben azt az esetet vizsgáltuk, amikor a besugárzó alagutban csak az 1412 mm vastagságu barit beton téglárnyékolás maradt a helyén /vizzár leeresztve, védő ajtó elfordítva/. Méréseket a besugárzó alagut geometriai középpontjától a csarnok faláig végeztünk különböző távolságokban. Az eredményeket a XVI. sz. táblázatban foglaltuk össze.



A Co^{60} -as forrás (2,5 mCi) a kamra geom. középpontjában 30 cm magasságban.
 (A számok mR/ó értéket jelentenek)

30.sz. ábra

A melegkamra dózis-térképe 2,5 mCi aktivitású Co-60 sugárforrással történő átvilágítás esetén

XVI. sz. táblázat

Sugárzási szintek	Távolság a besugárzó alagut külső felszínétől [m]			
	0	2,5	4,0	6,5
D_γ ; mR/ó'	4,5	0,7	0,4	0,2
D_n ; mRem/ó	10	0,8	0,5	0,3
n_t ; n/cm ² sec	200	80	30	20
n_{gy} ; n/cm ² sec	90	20	8	5

A besugárzó alaguttal kapcsolatos mérések alapján megállapítható, hogy a teljesen zárt helyzet esetén számottevő gamma- vagy neutron dózisintenzitás nem mutatható ki /0,1 MMD-nél kisebb/.

Nyitott, illetve félig nyitott besugárzó alagut használata esetén megfelelő elrendezésű kiegészítő védelem alkalmazása szükséges.

2.4.2. Melegkamra-védelem vizsgálata

A melegkamrát /bontófülke, manipulációs fülke/ 2,5 mCi aktivitású Co-60-as sugárforrással vizsgáltuk meg. A forrást a fülkék geometriai közép-pontjában 30 cm magasságban helyeztük el. A mérési eredményeket a 30. sz. ábrán tüntettük fel.

A melegkamra védőfalán a kezelő oldalon ebben az esetben maximálisan 1,2 mR/ó gamma-dózisintenzitás mérhető. A védelemben kiszórást előidéző nyílás nem fordult elő.

2.4.3. Üzemi helyiségek /szivattyu-gépház, szellőzőközpont/ vizsgálata

2.4.3.1. Gamma-dózisintenzitás a szivattyu-gépházban

A többórás 10 kW reaktor hőteljesítményű üzem esetén a szivattyu-gépházban a különböző szerelvények, primerköri csővezetékek mentén maximálisan 0,1 - 0,2 mR/ó gamma-dózisintenzitás mutatható ki.

Megjegyezzük, hogy a mérések során a melegkamra-oldalról szórt gamma sugárzás nem állott fenn.

2.4.3.2. Gamma-dózisintenzitás a szellőzőközpontban

A szellőző-gépházban a szellőző vezetékek mentén gamma-dózisintenzitás nem mutatható ki, azaz

$$D_{\gamma} < 0,05 \text{ mR/ó}$$

2.4.4. Csőposta-védelem vizsgálata

A csőposta indító-fogadó állomás /IFO/ és bontófülke sugárvédelmi ellenőrzését 250 μCi aktivitású Co-60 sugárforrással végeztük el. A sugárforrást az IFO "A" pontjába helyeztük el és az állomás környezetében a gamma-dózisintenzitásokat mértük. A mérési eredményeket /mR/ó/ a 31. sz. ábrán a csőposta bontó- és elosztó állomás vázlatán a mérési helyeken tüntettük fel. /Az IFO "B" pontjába helyezett forrással az ellenkező oldalon azonos eredmények mérhetők./ A vizsgálat alapján megállapítható, hogy az alkalmazott sugárforrás esetén a kezelőszemély térségében a gamma-dózisintenzitás $< 0,1 \text{ mR/ó}$.

2.4.5. A levegő radioaktív szennyezettségének vizsgálata

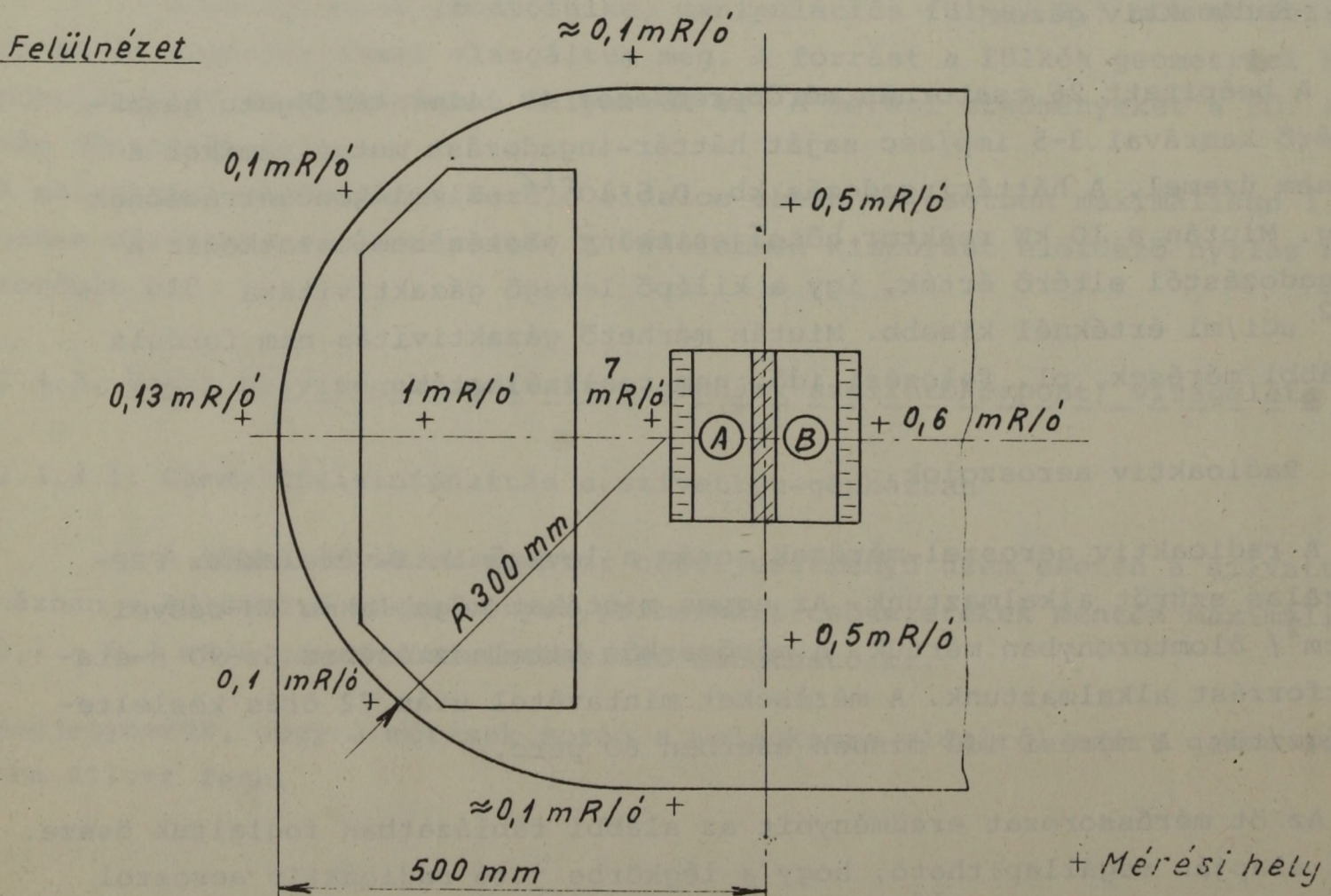
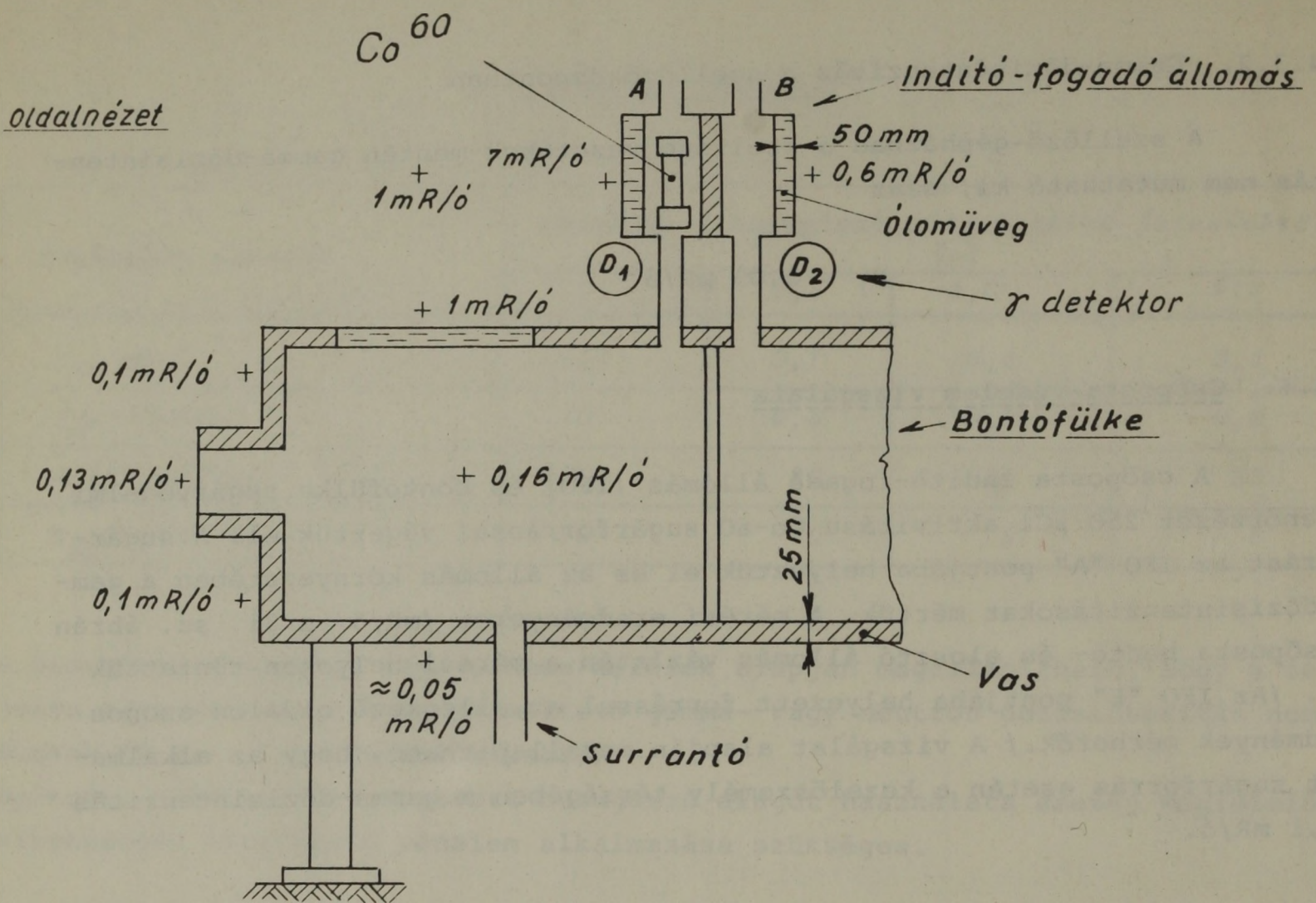
2.4.5.1. Radioaktív gázok

A beépített 26 csatornás mérőberendezés 40 liter térfogatú gázaktivitásmérő kamrával 3-5 imp/sec saját háttér-ingadozást mutat, amikor a reaktor nem üzemel. A háttér-ingadozás kb. $0,5 \cdot 10^{-12} \mu\text{Ci/ml}$ koncentrációnak felel meg. Miután a 10 kW reaktor-hőteljesítmény esetén sem mutatkozik a háttér-ingadozástól eltérő érték, így a kilépő levegő gázaktivitása $0,5 \cdot 10^{-12} \mu\text{Ci/ml}$ értéknél kisebb. Miután mérhető gázaktivitás nem fordult elő, további mérések, pl. felezési idő, nem realizálhatók.

2.4.5.2. Radioaktív aeroszolok

A radioaktív aeroszol-mérések során a levegőminta-vételekhez FPP-típusú szálás szűrőt alkalmaztunk. Az egyes mintákat végablakos GM-csővel / $2,5 \text{ mg/cm}^2$ / ólomtoronyban mértük. A mérőeszköz hitelesítéséhez Sr-90 β -etalon sugárforrást alkalmaztunk. A méréseket mintavétel után 72 órás késleltetéssel végeztük. A mérési idő minden esetben 60 perc.

Az öt méréssorozat eredményeit az alábbi táblázatban foglaltuk össze. A mérések alapján megállapítható, hogy a légkörbe jutó radioaktív aeroszol koncentráció fluktuációja $10^{-13} \mu\text{Ci/ml}$ nagyságrendbe esik. Ez az érték a szabad légköri háttérsugárzásból származó koncentrációval mérhető össze.



31. sz. ábra

A csöpposta bontó- és elosztó állomás dózis-térképe 250 μ Ci aktivitású Co-60 sugárforrással történő átvilágítás esetén

XVII. sz. táblázat

Mintavétel helye	Aktivitás		
	min.	max.	átlag
	$\cdot 10^{-13}$ $\mu\text{Ci/ml}$	$\cdot 10^{-13}$ $\mu\text{Ci/ml}$	$\cdot 10^{-13}$ $\mu\text{Ci/ml}$
Kilépő levegő	0,4	3,1	1,4
Melegkamra	0,4	2,7	1,3
Reaktorvizezter felett	0,3	3,8	2,0
Vegyifűlkék	0,3	2,1	1,3
Reaktorcsarnok	0,3	3,8	1,9

A szellőző rendszerből eltávozó radioaktív aeroszolok óránkénti mennyisége $1,4 \cdot 10^{-13}$ $\mu\text{Ci/ml}$ koncentráció és $11.500 \text{ m}^3/\text{ó}$ levegőforgalom esetén 10^{-3} μCi nagyságrendbe esik.

Megjegyezzük, hogy a vizsgálat időszakában a melegkamrában, vegyifűlkékben sugárzó anyagokkal kapcsolatos munkákat nem végeztek.

A levegő radioaktív szennyezettségének vizsgálata alapján megállapítható, hogy mind a gázaktivitás, mind az aeroszol-aktivitás, amely a reaktor 10 kW hőteljesítményű üzeme során fellép, a megengedhető maximális koncentrációkhoz /MMK/ képest gyakorlatilag elhanyagolhatók /melegkamra-üzem nélkül/. Így a reaktor összkibocsátása /gáz és aeroszol/ környezetére számottevő sugárveszélyt /normál üzemi viszonyok mellett/ nem jelent.

2.4.6. A primer hűtőköri vizminták vizsgálata

A BME reaktor primer hűtőköri vizminta-vételt a reaktor 10 kW hőteljesítményű üzeme során eszközöltük. A minta /1 liter/ vizsgálatát 1024 csatornás analizátorral, ill. 40 cm^2 Ge/Li/ detektorral végeztük. Mérés a mintavétel után 40 órával történt. A mérőberendezés érzékenysége Na-24-re $2 \cdot 10^{-3}$ $\mu\text{Ci/cm}^3$, J-131-re pedig $5 \cdot 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/cm}^3$ volt.

A reaktor-vizminta γ -spektrumában értékelhető komponens nem volt mérhető. A bepárolt vizminta β -aktivitása ezen esetben $3 \cdot 10^{-6}$ $\mu\text{Ci/ml}$ értékű volt. A megengedhető maximális koncentrációkat figyelembe véve a primer hűtőkörben a vizsgálat időszakában figyelemre méltó aktivitás, ill. komponens nem fordult elő.

2.4.7. Sugárvédelmi következtetések

A 10 kW reaktor-hőteljesítmény mellett végzett sugárvédelmi mérések alapján az alábbi következtetéseket tesszük:

- a/ A BME reaktor biológiai védelme, a megépített védelem valamennyi egysége a sugárvédelmi követelményeket kielégíti.
- b/ A reaktor szabad légtérbe történő összkibocsátása /gáz és aeroszol/ gyakorlatilag elhanyagolható, környezeti veszélyt nem jelent.
- c/ A levegő aktivitási, valamint primer hűtőköri vizminták méréseiből arra következtetünk, hogy hasadványelem-kilépés nincs, tehát a fűtőelemek burkolatai kifogástalan állapotban vannak.

A helyszíni mérések során teljes mértékben teljesítettük a mellékletben közölt mérési programban előirt feladatokat a 3.5 pont kivételével, mely elvégzése az adott időperiódusban nem volt kivitelezhető. Összevetve a kapott mérési adatokat az [1,2,3]-ban közölt előzetesen várt adatokkal, ill. a zóna-specifikációval, megállapíthatjuk, hogy a zónakonfiguráció teljes mértékben kielégíti az iránta támasztott követelményeket, egy sor paraméterben jobb a specifikációban megadott értéknél.

Végezetül köszönetünket fejezzük ki Szendy Györgynének és Frecskay Andrásnének a mérésekben nyújtott értékes közreműködésükért.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Szabó F., Frankl L., Gadó J., Turi L., Valkó J.: A Budapesti Műszaki Egyetem oktató és kutató reaktor I. Reaktorfizikai mérések és számítások; az aktív zóna kialakítása. KFKI-71-69. 1970
- [2] Csőke A., Czikó R., Elek A., Frankl L., Kertész K., Simonits A.: Tanulmányterv a BME tanreaktorához csatlakozó aktivációs analitikai laboratórium besugárzó és mintatovábbító csőpostáról. 1969
- [3] Csőke A., Bollók L., Czikó R., Frankl L., Kertész K., Simonits A., Zobor E.: A Budapesti Műszaki Egyetem oktató és kutató atomreaktorának besugárzó- és mintatovábbító csőpostái. /Megjelenés alatt, KFKI Riport./
- [4] F. Szabó, L. Frankl, J. Valkó, L. Turi: The physics of the core of the Polytechnical University's Training Reactor. Acta Physica 1972. /Megjelenés alatt/
- [5] Fährmann: Institutsbericht ZRK-RN10/1960/S19
- [6] F. Szabó, Z. Gyimesi, T. Barta, L. Turi, J. Vigassy: Investigations on the ZR-1 Critical Assembly. KFKI Riport 1961

MELLÉKLET

A BME ATOMREAKTOR HELYSZINI BEMÉRÉSNEK PROGRAMJA

1. Az aktiv zóna töltetének a reaktivitás-tartalék szerinti finom beállítása
 - 1.1 Az "Automata" és a "Kézi" rudak kalibrálása. /A kalibráció során ellenőrizni kell a rudak aktiv zónához viszonyított szimmetrikus beállítását, ha szükséges, a módosításokat elvégezni/;
 - 1.2 A reaktivitás-tartalék finom beállítása $\rho_{\max} = 0,70 \pm 5\% \text{ \$}$;
A reaktivitás-tartalék beállítása az F3 pozícióban levő köteg elemszámának változtatásával történik.
Reaktorteljesítmény: Automata minimum szint.
2. Aktivációs módszerrel történő relativ termikus neutronfluxus-mérések
 - 2.1 Relativ termikus neutronfluxus-mérések a függőleges belső, külső, termikus csőposta-csatornáknak;
Reaktorteljesítmény: kb. 100 watt.
 - 2.2 Relativ termikus neutronfluxus-mérések a vízszintes csatornák szájánál, valamint a függőleges speciális csatornáknak;
Reaktorteljesítmény: kb. 1 kW.
3. Reaktivitásértékesség-mérések ellenőrzése
 - 3.1 "Gyors csőposta" kadmium árnyékolás reaktivitásértékességének mérése;
 - 3.2 "Gyors csőposta" kiserelése /elvizesedése/ által okozott reaktivitás-változás;
 - 3.3 A besugárzó alagutnak vízzel történő feltöltése, ill. leürítése által okozott reaktivitás-változás;
 - 3.4 A vízszintes csatornák vízzárainak /feltöltés-leürítés/ reaktivitás-értékessége.

Tekintettel a nagyon részletes és alapos reaktivitás-mérésekre, amelyeket a ZR-5 rendszeren folytattunk le, itt csak a fenti kiegészítő, ill. ellenőrző méréseket végezzük el.

Reaktorteljesítmény: Automata minimum szint.

3.5 Lezárási reaktivitás mérése impulzus neutronforrás segítségével /a mérés feltétele, hogy a BME rendelkezésünkre bocsássa a szükséges impulzus neutronforrást/;

Reaktorteljesítmény: szubkritikus állapot.

4. Az automata teljesítményszint szabályozó lánc dinamikus vizsgálata a "gyors csőposta" kadmium árnyékolás által okozott reaktivitás-zavarokkal:

4.1 Különböző teljesítményszinten a reaktor teljesítményszintjének tullövése;

4.2 A teljesítményszint beállási idejének vizsgálata /ujra beállítás/;

4.3 A kompenzáló reaktivitás értéke /rud-elmozdulás/ a zavaró reaktivitás függvényében;

Reaktorteljesítmény: kb. 10 watt, 40 W, 100 W, 600 W, 2,5 kW, 5 kW, 10kW.

Azoknál a zavaró reaktivitásoknál, amelyeknél a teljesítményszint-tullövés meghaladja a 120 %-ot /tehát a BV mérőlánc védelmi szintjét/ megvizsgáljuk azt az üzemmódot, hogy a kadmium kapszula zónából való kilövése előtt a reaktort milyen mértékben tegyük szubkritikussá az automata szabályozó kézi üzemmódjában, hogy a pozitív reaktivitás-zavar még ne működtesse a BV 120 %-os szintet.

5. A 10 kW maximális reaktorteljesítmény beállítása

5.1 A maximális reaktorteljesítmény beállítását termikus neutronfluxus mérésével végezzük;

5.2 A relativ termikus neutronfluxus-eloszlások abszolútizálása.

6. Gyors neutronfluxus-mérések

6.1 Gyors neutronfluxus-mérések függőleges csatornáknál;

6.2 Gyors neutronfluxus-mérések csőpostákban;

6.3 Gyors neutronfluxus-mérések a vízszintes csatornák szájánál.
Reaktorteljesítmény: 10 kW.

7. A reaktor elektronikus műszereinek kalibrációja különböző reaktorteljesítményen

Reaktorteljesítmény: 1 watt és 10 kW között.

8. A reaktivitás statikus hőfoktényezőjének mérése

A méréseket 60 °C hőmérsékleti felső határig végezzük el /a víz elektromos melegítésével/.

9. Sugárvédelmi mérések

9.1 Neutron- és gamma dózismérések a biológiai védelem környezetében:

- 9.1.1 A reaktor fedelén;
- 9.1.2 Zárt vízszintes kísérleti csatornák környezetében;
- 9.1.3 A besugárzó alagut felületén és környezetében /vizzel feltöltött és leeresztett állapotban/;
- 9.1.4 Félig nyitott csatornáknál;
- 9.1.5 Teljesen nyitott, védelemmel ellátott csatornák környezetében.

Reaktorteljesítmény: 1 watt-tól 10 kW-ig.

A teljesítmény növelését több lépésben hajtjuk végre. Minden teljesítmény-lépcső után ellenőrző méréseket végzünk a biológiai védelem környezetében.

9.2 A levegő radioaktív gáz- és aeroszol szennyeződésének mérése:

- 9.2.1 A szellőző-kéményben; /A 10 kW teljesítményen üzemelő reaktor szellőző-kéményből vett aeroszol minta gamma-spektrometriai vizsgálatát a KFKI-ban végezzük el./
- 9.2.2 A reaktorcsarnokban;
- 9.2.3 A reaktorviktér felett;
- 9.2.4 A melegkamra légterében.

9.3 A primer- és szekunder vízkör vizaktivitásának mérése. /A 10 kW teljesítményen üzemelő reaktor primer vízminta gammaspektrometriai vizsgálatát a KFKI-ban végezzük el./

- 9.4 Melegkamra-védelem vizsgálata, gamma dózistérkép felvétele
1 mCi Co-60 forrás segítségével;
- 9.5 A csőposta indító-fogadó fülke vizsgálata 0,1 mCi Co-60 forrás
segítségével, dózistérkép felvétele.

1. A szervezet működésének célja és feladatai.

2. A szervezet felépítése és szervezeti vázlat.

3. A szervezet működésének szabályozása.

4. A szervezet működésének értékelése.

5. A szervezet működésének fejlesztése.

6. A szervezet működésének megújítása.

7. A szervezet működésének fenntartása.

8. A szervezet működésének erősítése.

9. A szervezet működésének átalakítása.

10. A szervezet működésének megújítása.

11. A szervezet működésének fenntartása.

12. A szervezet működésének erősítése.

13. A szervezet működésének átalakítása.

14. A szervezet működésének megújítása.

15. A szervezet működésének fenntartása.

16. A szervezet működésének erősítése.

17. A szervezet működésének átalakítása.

18. A szervezet működésének megújítása.

19. A szervezet működésének fenntartása.



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Szabó Ferenc, a KFKI Reaktor-
kutatói Tanácsának elnöke
Szakmai lektor: Gyimesi Zoltán
Példányszám: 130 Törzsszám: 72-7157
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Budapest, 1972. szeptember hó