

TK 26.217

1968 MAR 3 U



KFKI
19/1037

**A VVR-SZ REAKTOR REKONSTRUKCIÓJÁVAL
KAPCSOLATOS ZÉRÓ- TELJESITMÉNYŰ KISÉRLETEK
A ZR-3 KRITIKUS RENDSZEREN**

Frankl László, Gácsi Lajos, Szaklajda László

**MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZET**

BUDAPEST

2017

A VVR-SZ REAKTOR REKONSTRUKCIÓJÁVAL KAPCSOLATOS ZÉRÓ-TELJESÍTMÉNYŰ
KISÉRLETEK A ZR-3 KRITIKUS RENDSZEREN *

Frankl László, Gácsi Lajos Szaklajda László
Központi Fizikai Kutató Intézet, Budapest

A VVR-Sz reaktor rekonstrukciójának első szakasza 1967. április-október hónap között zajlik le. A rekonstrukció elsődleges célja az izotópgyártó csatornában a termikus neutronfluxus maximumok átlagának megkétszerezése. Ennek során új típusú fűtőelemekre térünk át, az u.n. VVR-SzM típusra /modifikált VVR-M típus/, mellyel a reaktor maximális hőteljesítménye 10 MW-ra is emelhető. Az új reaktor fizikai töltetének meghatározása, az optimális zónakonfiguráció kialakítása, különböző zónakonfigurációk fluxusának feltérképezése és reaktivitás mérlegének-, stb. megismerése céljából létrehoztuk a ZR-3 rendszert és ezen 1967 április 11-től 1967 június 30. között kisteljesítményű /kb. 8-10 Watt teljesítményen/ mérésorozatot végeztünk. E mérésorozat része annak a lengyel-német-csehszlovák-magyar kooperációnak, melyet a VVR-Sz reaktorok rekonstrukciójával kapcsolatos zéróteljesítményű mérések elvégzésére hoztak létre.

A zónát a volt ZR-2 reaktor 1400 mm átmérőjű tartályában helyeztük el [1]. A reaktort kiszolgáló elektronikát a ZR-4 reaktortól [2] vettük át a mérések időtartamára. A ZR-4 reaktor irányítási rendszere 4 db. abszorbens rud mozgatóját tudja biztosítani szervó-mechanizmussal, a VVR-SzM reaktornál működő 9 db. abszorbens rud közül a hiányzó 5 db-ot pedig kézi csörlő segítségével mozgattuk. Servó mechanizmussal működött 2 db biztonságvédelmi /BV/ rud, 1 db szabályozó /SzK/ és az automatikus szabályozó rud /Aut/.

A VVR-SzM reaktorban a szabályozó és biztonságvédelmi rudak vízzel teli csőben foglalnak helyet. Esetünkben a 2 db BV rud csatornája technikai okokból állandóan levegős volt, a harmadik BV rud /melyet csupán kézi csörlővel lehetett mozgatni/ egyes esetben levegős, más esetben vizes csőben mozgott. A többi rud csatornája minden esetben vizes volt. A reaktorban 8 db azonos bórkarbid rud szolgált BV és szabályozó rudként és 1 db acélrud az automata szabályozásra. Átmérőjük egyaránt 24,8 mm, hosszuk 690 mm, a vé-

* E dolgozat a VVR-Sz reaktorok teljesítménynövelésével kapcsolatban létrejött csehszlovák-lengyel-német-magyar kooperáció keretében végzett méréseket tartalmazza.

geket lezáró dugókkal együtt 800 mm, a vezető csövík külső átmérője pedig 34 mm.

A rendszert irányító és ellenőrző detektorok a Be paláston kívül, a vízben helyezkednek el. A mérések során 2 db impulzusüzemű lánc /BF₃ cső és hasadási kamra/ működött, majd azok bénítása után a reaktorirányítást az egyenáramú láncok- 2 db lineáris lánc /KHT-53/ és 2 db logaritmikus lánc /KNT-53 és KHK-56/, valamint egy, az automatikának fenntartott lánc /KHK-56/ végezte. Az elektronikai rendszer részletes leírását a [2] irodalom tartalmazza.

A régi és az új fűtőelemeket és az aktív zónát jellemző főbb paramétereiket az I.sz. Táblázatban foglaltuk össze.

I. sz. táblázat

	VVR-Sz	VVR-SzM
1. A fűtőelem típusa	EK-10	VVR-SzM
2. A fűtőelem dúsítása U ²³⁵ -ben, %	10	36
3. Egyes fűtőelem U ²³⁵ tartalma /g/	8	38,9 [±] $\frac{2,5}{3,5}$
4. A fűtőelem hossza L /mm/	500 500	600 [±] $\frac{20}{30}$
5. A fűtőelem összetétele	U O ₂ -Mg	U O ₂ -Al
6. A fűtőelem töltetvastagsága /mm/	7	0,7
7. A fűtőelem Al burkolat falvastagsága /mm/	1,5	0,9
8. Az aktív zóna U ²³⁵ koncentrációja g/lit.	52	61
9. Az egy U ²³⁵ magra eső H magok száma	371	235
10. Moderátor és hűtővíz	H ₂ O	H ₂ O
11. Oldal reflektor	H ₂ O	Be
12. Felső és alsó reflektor	H ₂ O	H ₂ O
13. BV és szabályozó rudak száma	9	9
14. Kritikus töltet /kg/	3,1	kb. 1,65 ^{x/}
15. Kiégés /átlagos/ %	23	kb. 35 /becsült érték/
16. Izotópgyártás céljára fenntartott függőleges besugárzó csatornák száma, db	18	33
17. Maximálisan elhelyezhető besugárzó tokok száma, db	66	165
18. A függőleges besugárzó csatornák max. fluxusértékeinek átlaga n.cm ⁻² .sec ⁻¹	2,25.10 ¹³	4,5. 10 ¹³ /tervezett/

x/ = 3 db száraz BV és 6 db vizes rud csatornával és a hiányzó 25 db kiszorítót Al kiszorítókkal helyettesítve.

Mint látjuk, az aktív zóna főbb paraméterei közül a következők változtak meg:

- 1./ $\rho_H / \rho_{U^{235}}$ - az egy U^{235} magra eső H atomok száma 371-ről 235-re csökkent, mely azt mutatja, hogy az új zóna alámódorált;
- 2./ A hasadóanyag dúsítása U^{235} -ben 10 %-ról 36 %-ra emelkedett;
- 3./ A reflektor anyaga víz helyett berillium lett;
- 4./ A fűtőelem hossza L/D 20 %-kal megnőtt, míg a zóna maximális átmérője D nem változott, vagyis romlott a neutron kiszökést geometriailag meghatározó L/D tényező.

A fűtőelem keresztmetszetben geometriailag megegyezik a VVR-M típusúval. 3 fő részből áll. Egy külső hatszög köpenyben 2 db koncentrikusan elhelyezett Al cső foglal helyet, melyek belsejükben tartalmazzák a hasadóanyagot [3]. A hatszögletű függőelemfej laptávolsága 35 mm, a fűtőelem törzsnél ez 32 mm. A fűtőelemek egyes és hármas kivitelben készültek. A Be kiszorítók külső méretben megegyeznek az egyes fűtőelemmel. A cellában kiszorítóként 17 % térfogatarányban víz /hűtés céljára/ és 83 %-ban Be van. A fűtőelemek és Be kiszorítók egy speciálisan kiképzett Al rácsban ülnek /felső rács nincs/ körülvéve a Be palástreflektorral. Az utóbbiban 16 db 35 mm átmérőjű és 1 db 68 mm átmérőjű furat van az izotópgyártás céljára tervezett függőleges besugárzó csatornák számára. E Be palástreflektor effektív vastagsága 4,2 mm, magassága 680 mm.

A zónára vonatkozólag pontos, számolt adatokkal nem rendelkezünk, azonban becsléseink szerint már a mérések indulása előtt várható volt, hogy egy évi üzemeltetéshez szükséges reaktivitással rendelkező aktív zóna sugara kicsi lesz s ezzel egyrészt a fűtőelemek kiegészi szintje alacsony lesz, másrészt a berillium palástreflektorban levő besugárzó csatornák távol esnek az aktív zónától. Ennek következtében termikus neutronfluxusuk nem lesz kielégítő. E függőleges besugárzó csatornák fluxusának növelése céljából két lehetőség jött számításba:

- 1./ Az u.n. "lyukas" zónakonfiguráció. Mivel a zóna alámódorált, a négy zónanegyedben fűtőelem kivételével vizlyukakat-, neutron-csapdákat hozhatunk létre, melyet az aktív zóna határán fűtőelemek behelyezésével kompenzálunk. Ezáltal zónanegyedenként 1 db magasfluxusu besugárzó csatornát kapunk. Mivel a fűtőelem értékessége az aktív zóna sugarának közepén magasabb, mint a szélén, a vizlyukkal rendelkező zóna azonos reaktivitástartalék mellett több fűtőelemet tartalmaz a tömör zónakonfigurációnál. Az aktív zóna külső sugarának növekedésével a fűtőelemtöltet közelebb kerül a palástban lévő besugárzó csatornához. A vízszintes csatornában a ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszony nem fog a kiegészéssel jelentősen vál-

tozni, mivel az aktiv zóna külső sugara megközelítőleg állandó. /A zóna kiégése folyamán a berakandó fűtőelemekkel elsősorban a belső vizlyukat szüntetjük meg./

- 2./ U.n. "tömör" zónakonfiguráció. A palástreflektor előtt lévő utolsó berillium sor helyére kis abszorpciós, de nagy szórási hatáskeresztmetszettel rendelkező csatoló anyagot /Al/ alkalmazni, mely a berilliumban már erősen csökkenő termikus neutronfluxust ki-csatolná a palástban lévő függőleges besugárzó csatornákhöz.

A mérési programunk alapját tehát két zónakonfiguráció képezte: "tömör" zóna és "lyukas" zónakonfiguráció. Ezeken belül méréseink jellegük szerint is két részre oszthatók: fluxusmérésekre és reaktivitásmérésekre. A fluxusmérések aktivációs módszerrel, 10 % Dy-ot tartalmazó 0,8 mm átmérőjű Al huzallal történtek. Radiális fluxuseloszlás méréseknél 20 mm hosszú huzaldarabkákat alkalmaztunk. Mivel a huzal homogénitását már korábban ellenőriztük, a vágás során előforduló hossz-egyenlőtlenségeket úgy küszöböltük ki, hogy mindenkor csupán a 20 mm hosszú huzaldarabka középső 4 mm-es szakaszát mértük. /A $Dy \beta$ -sugárzó tehát könnyen diafragmálható./ Axiális eloszlás méréséhez 65 cm hosszú huzalt alkalmaztunk, és egy 3 mm-es rés mögötti szcintillációs detektor előtt elhuzva mértük. Ez az automatikus huzalmérő berendezés megegyezik a [4]-ben leírttal. Minden zónakonfiguráción egy közös sugár mentén mértünk radiális termikus fluxuseloszlást, mely a különböző zónák összehasonlítását segítette elő.

A reaktivitás mérések döntő részét a szabályozórúd-értékesség és fűtőelem-értékesség mérés képezte. Az utóbbit különféle pozíciókban végeztük el azonos elemhez viszonyítva /pl. Be/ és azonos pozícióban más-más anyaghoz viszonyítva. /Al, Be, viz, levegő/. A mérések kisebb hányadát tette ki a reaktivitás-hőfokfüggés mérése, továbbá szerkezetek /pl. besugárzó tokok/ és anyagok reaktivitásra gyakorolt hatásának mérése.

Az egyes zónakonfigurációk reaktivitás viszonyainak mérését az automata rud mérésével kezdtük. A módszerünk kétszerezési idő mérése volt; egyes esetben szubkritikus rezsimben erősítési tényező mérésével is ellenőriztük az eredményeket. Általában a szuperkritikus felfutás szolgáltatatta adatokat dolgoztuk fel, ez adta a legvalószínűbb eredményeket.

Automata rud értékességét ill. jelleggörbáját az alábbi módon mértük:

- 1./ Az automata rud teljesen besülyesztett és a szervó kézi rud kihuzott helyzetében a reaktort szuperkritikussá tettük.
- 2./ Az SzK rud segítségével beállítottuk a $T_{2x} = \infty$ -t.
- 3./ A reaktort leállítottuk és kb. 10 percet pihentettük a berilliumban / r, n / reakciót kiváltó r sugárzás csökkentése céljából.

- 4./ Indítottuk a reaktort az automata rud becslés alapján megállapított szakaszának kihuzásával és mértük a reaktor kétszerezési idejét, törekedve a $T_{2x} = 50-70$ sec. betartására.
- 5./ Az SzK rud leengedésével kompenzáltuk az automata ruddal bevitt pozitív reaktivitást. $/T_{2x} = \infty /$
- 6./ A reaktort leállítottuk.

E módszer lehetővé tette az automata rud kalibrációjakor az SzK rud bizonyos szakaszának egyidejű mérését is. A detektálást két impulzusüzemi láncsal végeztük és a két lánc által időegységenként gyűjtött beütésszámokat ábrázolva a két mérés átlagát fogadtuk el.

Az SzK rudat az automata rud integrális értékének ismeretében a következőképpen kalibráltuk. A reaktort megindítva beállítottunk egy kis-szintű stacioner állapotot, majd ezt tartva az automata rudat a két végállása között mozgattuk a reaktivitás változást az SzK ruddal kompenzáltuk. A mérés annyi szakaszból állt, ahányszor értékesebb volt az SzK rud az automata rudnál.

A kézi csörlős rudak értékeségét a két szervó rud ismeretében összehasonlítással mértük, vagyis a reaktivitásra gyakorolt hatásukat az automata és az SzK ruddal ellensúlyoztuk.

A mérés pontosságát befolyásolta, hogy a mérendő ruddal szomszédos rudak milyen helyzetben voltak. /Interferencia./ Az eredmények összehasonlíthatósága érdekében igyekeztünk minden rud értékeségét úgy mérni, hogy a szomszédos rudakat a mérések során azonos helyzetben tartottuk, továbbá több esetben megmértük a rud értékét leengedett, felhuzott és közbenső helyzetben lévő szomszédos rudállás mellett is. Itt jegyezzük meg, hogy több mérés cáfolta azt a korábbi feltételezésünket, hogy a mérés céljából kihuzott szabályozó rud nem kompenzálható a vele szomszédos ruddal a fellépő értékeségcsökkentő interferencia hatás miatt. Valójában az értékcsökkenés csupán akkor mutatkozik, ha egyidejűleg mindkét rud - akár részben is - a zónában van, ami egyszerű megfontolással könnyen belátható. A rudértékesség adatokat vizsgálva kitűnt, hogy egyazon rud értékei esetenként 50 %-kal is eltérhetnek egymástól attól függően, hogy a vele szomszédos rudak a mérés folyamán leengedett, vagy felhuzott állapotban vannak. A reaktivitásmérések során a szabályozó rudakat lehetőség szerint olyan helyzetben tartottuk, amilyen helyzetben azokat kalibráltuk. E méréseket a rudak kimérése után oly módon végeztük, hogy először ún. "alapzónát" képeztünk, amely zónához viszonyítottuk a különféle manipulációkkal /fűtőelem kivétel-, betétel, anyagok bevitele, stb./ okozott reaktivitásváltozást. Az alapzónához és a módosított zónához $T_{2x} = \infty$ -höz tartozó reaktivitásra kalibrált rudállások különbsége adta a reaktivitásváltozás nagyságát.

Végül megemlítjük, hogy a $\rho = f/T_{2x}/ \$$ -ba átszámítást a Hughes-féle víz-vizes reaktorokra érvényes táblázat alapján végeztük, mivel nem állt rendelkezésünkre a vizsgált rendszereinkhez szükséges Be reflektoros reaktorra érvényes $\rho = f/T_{2x}/$ táblázat. Időközben elkészültek ugyan a Be hatást különböző mértékben figyelembe vevő táblázatok, azonban a rendelkezésünkre álló csekély idő alatt nem lehetett megnyugtatóan tisztázni, hogy a különböző vastagságu Be reflektoros zónáinkat mely táblázat írja le helyesen. Minden esetre egyértelműen látszik, hogy a berilliumot figyelmen kívül hagyva számított reaktivitás adataink a valóságnál abszolút értékben kisebbek, az eltérés a Be vastagságtól függően 25-50 % is lehet.*

I. Vizzel reflektált fizikai zóna /N_F = 85./

Néhány mérést végeztünk a vizzel reflektált, reaktivitástartalékkal nem rendelkező fizikai zónán. E mérések célja egyrészt az volt, hogy meghatározzuk a Be reflektor fűtőelem egyenértékességét, /gazdaságosság szempontjából/, másrészt, hogy bizonyos összehasonlítási alapot kapjunk a berilliummal reflektált zónákhoz viszonyítva. Az [5]-ben leírt mérések szerint a $\rho_H / \rho_{U^{235}} = 235$ zónához tartozó "tisztá"- azaz rudcsatornákkal nem perturbált, vizzel reflektált zóna kritikus tömege 3940 g. U²³⁵. Esetünkben a kritikus töltet N_F = 85 db egyes fűtőelem, M_{krit.} = 3300 g. U²³⁵ volt /l.sz. ábra/. A 9 db rudcsatornából 6 db vizes, a 3 db BV rud csatornája pedig levegős volt.

A kritikus töltet ilyen mértékű csökkenését a magasabb dúsítási fok, valamint e fűtőelem típusban a blokk-effektus csökkenése indokolja.

A fűtőelemek helyfüggő reaktivitás értékességét az l.sz. ábrán jelzett 1 - 5. fűtőelem pozíciókban mértük.

A mérést szubkritikus üzemmódban /N_F = 85-84-es zónán/, erősítési tényező mérésével végeztük el, melyet szuperkritikus felfutásokkal abszolútizáltunk. Az értékességeket a II. sz. táblázatban tüntettük fel:

II. sz. táblázat

N ₀	Fűtőelem helye	Fűtőel. értékesség: \$
1	II. (2,5) *	0,15
2	IV. (5,3)	0,20
3	III. (2,4)	0,24
4	II. (3,1)	0,44
5	II. (1,1)	0,63

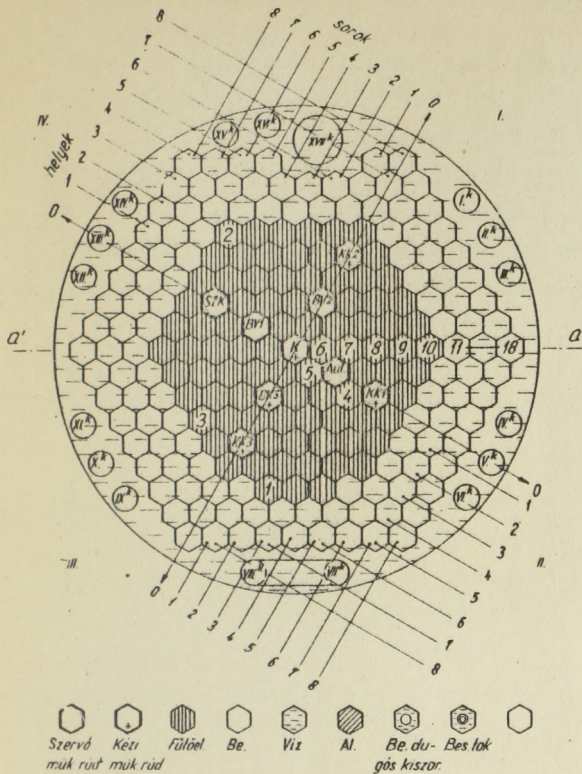
x/ = II/2,5/ jelentése:

II - negyed

2. sor

5. hely

* Gyimesi Z. mérése [8] szerint e korrekció mértéke kb. 10 % az összes általunk vizsgált berilliumos zónák esetében.



1.sz. ábra: Vizzel reflektált fizikai zóna, 3 db BV rud csatorna száraz.

$$l_{K_{1-3}} = 0, l_K = 0 \text{ mm}, l_{\text{aut}} = 333 \text{ mm}.$$

s a reflektor maximumban a fluxusérték mintegy 6 %-kal magasabb az aktív zóna sugármenti fluxusmaximumánál, mely a zóna közepén levő felhuzott központi /K/ rud helyén levő vizes rudcsatorna mellett található. Figyelemre méltó a fűtőelem-H₂O határon fekvő utolsó fűtőelem két szemközti lapja közti fluxusgradiens, melynek értéke ≈ 2 .

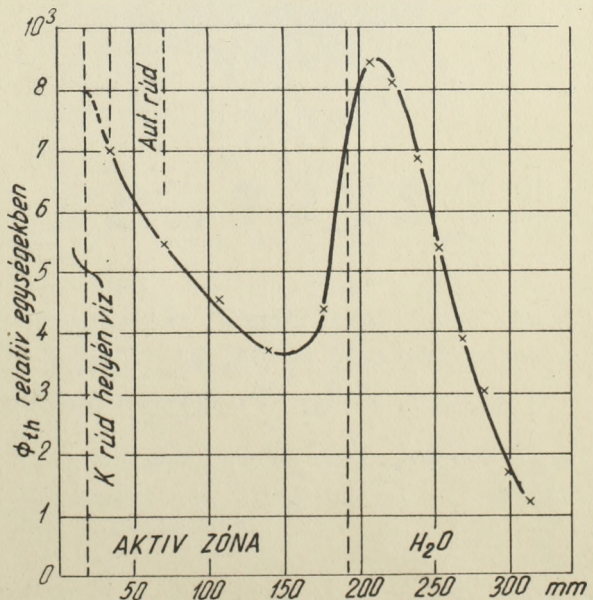
2. sz. ábra: Radiális termikus neutronfluxus eloszlás az aá tengely mentén. $N_F = 85$.

Az 1.sz. ábrán feltüntetett zóna 4., 5. pozíciójában kapott magas reaktivitás értékek magyarázata az, hogy ezeket a fűtőelemeket vizes csatornák mellől emeltük ki, ahol az alámoderáltság foka lokálisan különben is kisebb volt. Az automata rud értékeségére superkritikus üzemben, T_{2x} mérésével a lineáris szakaszra $2,5 \frac{\mu}{\text{cm}}$ értékeséget kaptunk.

Radiális neutron fluxuseloszlást mértünk az aá tengely I. negyedébe eső felén, minden fűtőelem közepén, valamint a víz-reflektorban 15 mm-ként 8 pontban /1.sz. ábra, 6-18 mérési pont/, a fűtőelem aktív hosszának középmagasságában.

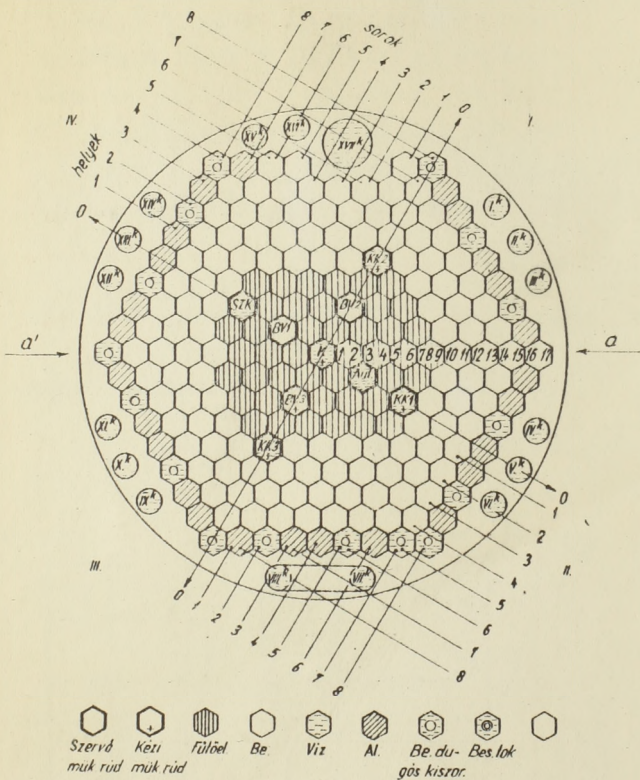
Az eloszlás az alámoderált zónákra jellemző magas reflektor maximumot mutat. A sugármenti egyenlőtlenlenségi tényező

$$\frac{\phi_{th}^{\max}}{\phi_{th}^{\min}} = 2,43$$



II. Berilliummal reflektált fizikai zóna / $N_F = 43$ /

A berilliummal reflektált fizikai zóna várható kritikus tömege 9 db vizes rudcsatorna és teljes Be reflektor /173 db Be kiszorító/ esetén 32 fűtőelem /német adat/. Esetünkben a 3 db BV rud csatornája száraz volt s csak 121 db Be kiszorítóval rendelkezünk. A palástreflektorban levő 35 mm átmérőjű besugárzó csatornák 30 mm átmérőjű és 130 mm magasságu Be dugóit Al csőbe téve még 16 db Be dugós kiszorítót készítettünk, melynek viz térfogat aránya kb 33 %. A berilliummal reflektált fizikai zóna 43 fűtőelemmel vált kritikussá. $M_{krit} = 1650 \text{ gr. U}^{235}$. A zónában a 121 Be kiszorító és 16 db Be dugós kiszorító mellett 25 db Al /ebből 17 db reaktortisztaságu/ kiszorító töltötte ki a hiányzó 162 pozíciót a 3.sz. ábrán feltüntetett elrendezésben.



3.sz. ábra: Berilliummal reflektált zónakonfiguráció $N_F=43$, $N_{Be}=121$, $N_{Be \text{ dugós}} = 16$, $N_{Al}=25$, $l_{KK_{1-3}} = 0$, $l_{aut}=285 \text{ mm}$, 3 db BV rud csatorna-száraz

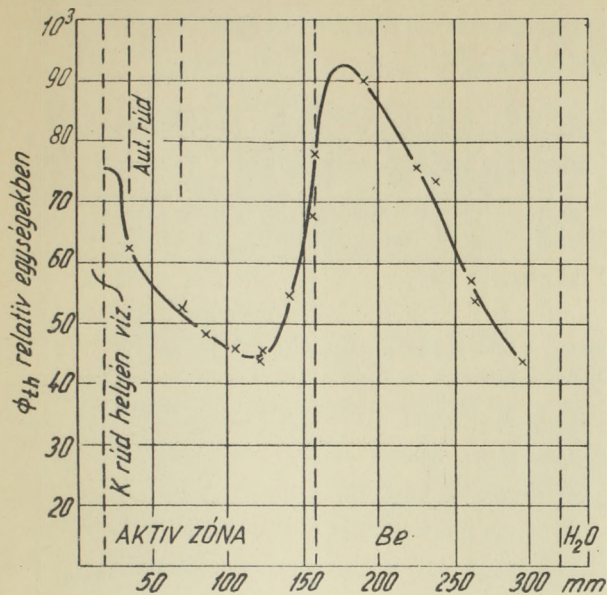
Összehasonlítva a vízzel reflektált zóna kritikus töltetével látható, hogy a víz reflektor berilliummal történt helyettesítésével a kritikus töltet a felére csökkent.

A radiális termikus neutron-fluxus eloszlást az I. negyedben az a tengely mentén az 1-17 jelzett pontokban mértük, az axiális eloszlást pedig a fűtőelem közepén a III/1,1/ és III/3,2/ pozíciókban. A 4.sz. ábrán a radiális fluxuseloszlást tüntettük fel relatív egységekben kifejezve. Ez az eloszlás nincs normálva a vizes zónában mért radiális eloszláshoz.

Mint látható, bár a berilliumos fizikai zóna fűtőelemszámában csak a fele a vízzel reflektálnak, mégis egyenletesebb a fluxuseloszlása. A sugármenti egyenlőtlenségi tényező:

$$\frac{\phi_{th}^{max}}{\phi_{th}^{min}} = 2,10$$

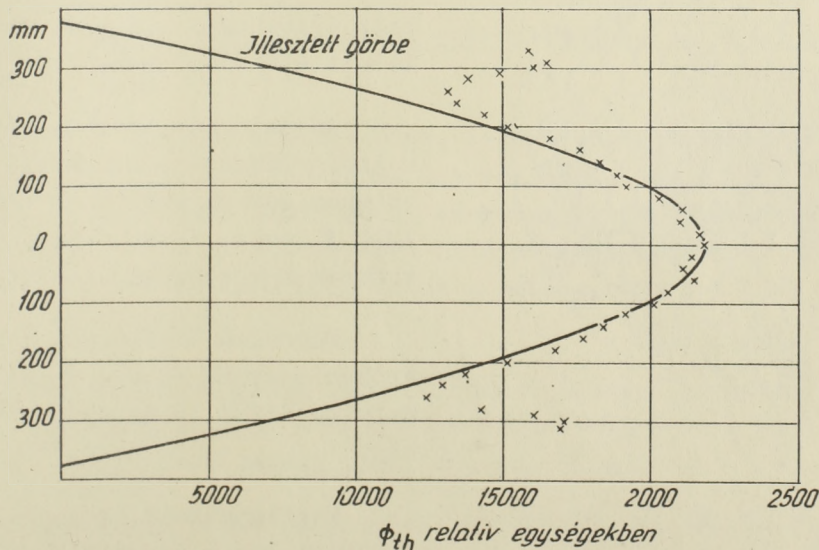
de a reflektormaximum már 24 %-kal magasabb az aktív zóna sugármenti maximumánál. Az 5. sz. ábrán a



4. sz. ábra: Radiális termikus neutronfluxus eloszlás az aá tengely mentén. $N_F = 43$.

III/3,2/ fűtőelemen mért axiális eloszlást, valamint a reflektortól távolabb pontokban mért fluxus-értékekre a legkisebb négyzetek módszerével illesztett $\cos \frac{\pi}{H + 2\delta} X$ görbét tüntettük fel.

Mint látható, a rudakkal nem perturbált fizikai zónában az axiális eloszlást a COS görbe jól írja le és a görbe maximuma a zóna geometriai középsikjába esik. $H + 2\delta$ értékére 748 mm-t kaptunk. Elfogadva a nominális aktív hossz adatot 600 mm-nek /néhány fűtőelemet megröntgenezve kitűnt, hogy a fűtőelem hármass csövében az aktív hossz nem egyenlő s a valódi aktív hossz 560-580 mm körül van/, az alsó és felső extrapolációs távolságra 148 mm-t kapunk.



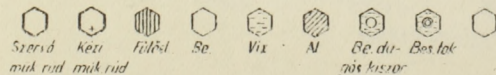
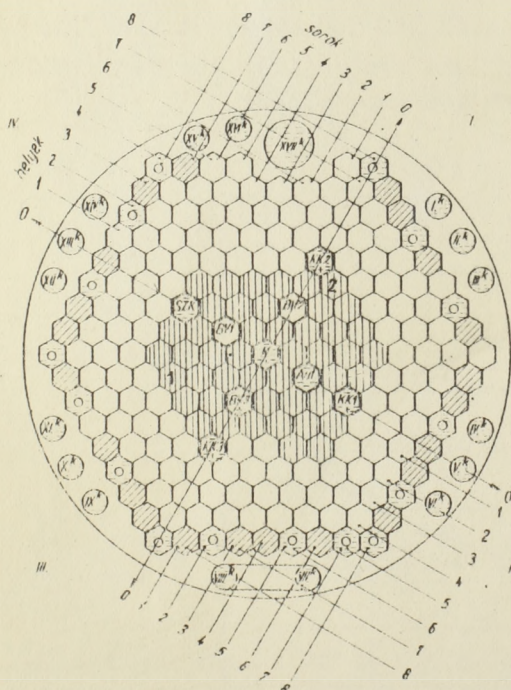
5. sz. ábra: Axiális termikus neutronfluxus eloszlás a III/3,2/ helyen lévő fűtőelemen.

Subkritikus üzemmódban mérve az automata rud értéksége 1,55 \$ volt. A III/3,3/ helyen ugyancsak subkritikus rezsimben mért fűtőelem értékségeket a III. sz. táblázatban tüntettük fel:

III. sz. táblázat

	$\Delta \rho \text{ \textcent}$
Fűtőelem - viz	90
Fűtőelem - Be	53
Fűtőelem - Al (tisztla)	85
Fűtőelem - Al (ipari)	95

Fűtőelem értékség mérése subkritikus üzemmódban a III/3,3/ helyen $N_F = 43$.



6.sz. ábra: Az automata rud kalibrációjához szükséges reaktivitás tartalékkal rendelkező zónakonfiguráció $N_F = 46$, $N_{Be} = 121$, $N_{Be \text{ dugós}} = 16$, $l_{aut} = 800 \text{ mm}$, 3 db BV rud csatorna szárász.

Ez esetben a fűtőelem értékséget már különböző anyagokhoz viszonyítottuk: vízhez, berilliumhoz, aluminiumhoz /ipari összetételű és reaktor tisztaságú/.

Mint látjuk, az aktív zóna és a Be határán a reaktor tisztaságú Al kb. 10 %-kal jobb reaktivitás szempontjából az ipari Al-nál. A subkritikus értékség mérés közelítő jellege miatt superkritikus üzemmódban is kalibrálni kívántuk az automata rud, valamint fűtőelem értékséget, ezért még annyi reaktivitást építettünk be a rendszerbe, hogy a reaktor az automata rud alsó végállásában is kritikus legyen. Ehhez 46 fűtőelem mellett 121 db Be kiszorítóból 16 Be dugós és 22 db Al kiszorítóból álló zónát kellett létrehozni a 6. sz. ábrán feltüntetett elrendezésben.

Az automata szabályozó rud integrális értéksége superkritikus rezsimben kétszerezési idő mérésével 1,62 \$ volt. /7.sz. ábra/. Lineáris szakaszának meredeksége 0,040 \$ /cm.

Fűtőelem értékséget két pozícióban mértünk /6.sz. ábra, 1,2 mérési hely /a III/3,3/ és I/1,4/ pozíciókban.

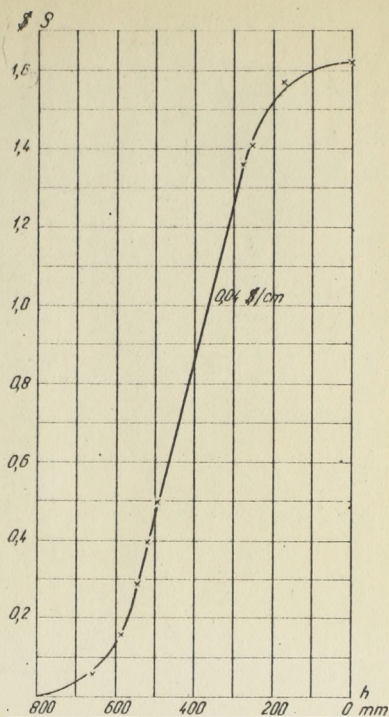
Megfigyelhető, hogy a fűtőelem moderátorhoz viszonyított értéksége az aktív zóna Be határon közel 50 %-kal magasabb, ha a fűtőelemet a KK_{-2} vizes rudcsatorna mellől távolítjuk el. Az értékségek superkritikus mérések esetében alacsonyabbnak bizonyultak a subkritikus erősítési tényező mérések-

ből kapottaknál. Az ipari tisztaságu Al kiszorító ekkor 15 %-kal több reaktivitást kötött le, mint a reaktor tisztaságu. /E mérésnek az volt a jelentősége, hogy adatot nyerjünk reaktor tisztaságu és ipari Al szerkezeti anyagoknak a rendszer reaktivitás-tartalékára gyakorolt hatásáról/.

IV. sz. táblázat

MANIPULÁCIÓ	POZÍCIÓ	III.(3,3)	I.(1,4)
Egy fűtőelem cseréje vízre		0,70 \$	1,065 \$
Egy fűtőelem cseréje Be-ra		0,38 \$	0,56 \$
Egy fűtőelem cseréje reaktor tisztaságu Al-ra		0,75 \$	1,02 \$
Egy fűtőelem cseréje ipari Al-ra		0,87 \$	—
Egy fűtőelem cseréje levegőre		0,84 \$	1,04 \$

Fűtőelem értékeség mérése szuperkritikus üzemmódban $N_F = 46$.



7. sz. ábra: Automata szabályozó rud integrális jelleggörbéje
 $N_F = 46$

III. Három bórkarbid ruddal lekötött reaktivitás tartalékkal rendelkező zóna $N_F = 66$.

Az U^{235} kiegészés, a mérgeződés, besugárzandó anyagok által lekötött negatív reaktivitások, stb. kompenzálása céljából. 10-15 \$ reaktivitás-tartalékkal rendelkező üzemi aktív zónát akartunk kialakítani, ezért részletesebben megvizsgáltuk a 66 db fűtőelemből álló zónakonfigurációt. Ezt úgy hoztuk létre, hogy annyi fűtőelemet építettünk a zónába amennyit a KK_2 , K, és KK_3 bórkarbid rudak lekötnek.

Megmértük a radiális termikus neutronfluxus eloszlást az aa tengely mentén az aktív zónában a berillium reflektorban és a Be palást után a vízben. 8. sz. ábra l-26 mérési pont. /9. sz. ábra/.

Miközben az aktív zóna töltete 43-ról 66-ra emelkedett, az aa referencia tengelyünk mentén a fűtőelemszám nem gyarapodott, /maradt 4 db fűtőelem/ ezért radiális eloszlás alig változott. /Figyelembevétel, hogy ebben az esetben a K rud alsó véghelyzetben volt./ A zóna sugármenti egyenlőtlenségi tényezője:

$$\frac{\varphi_{th}^{max}}{\varphi_{th}^{min}} = 3,00$$

V. sz. táblázat

Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben	Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben	Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben	Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben	Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben	Csa- torna	ϕ th. Rel. egy- ségekben
I. ^k	52408	IV. ^k	49284	VII. ^k	47225	IX. ^k	49516	XII. ^k	54858	XV. ^k	50968
II. ^k	53480	V. ^k	47369	VIII. ^k	48371	X. ^k	48653	XIII. ^k	55915	XVI. ^k	49008
III. ^k	53603	VI. ^k	48441	—		XI. ^k	49516	XIV. ^k	55232	XVII. ^k	58197

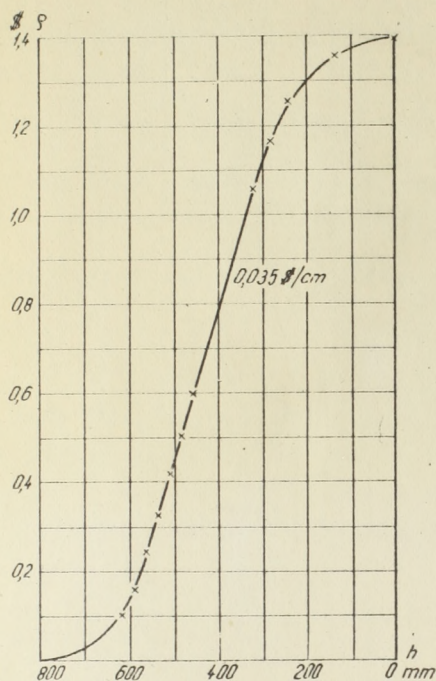
Az aktív zóna közép magasságában a külső csatornáknál mért termikus fluxus-
értékek rel.egységeiben. $N_F = 66$

görbéből kapott meredekségnél, melyet a VI.sz. táblázat tartalmaz/ és így a szubkritikus mérés kb. 12 %-kal magasabb értékeket adott a szuperkritikus mérés eredményénél. A K rud értékesége tér el a legjobban a szuperkritikus mérés eredményétől. Az erősítési tényező mérés ideje alatt azonban a neutron forrás a zóna közepén a K rud alatt helyezkedett el és ez magyarázhatja a rudra kapott magas értékeséget.

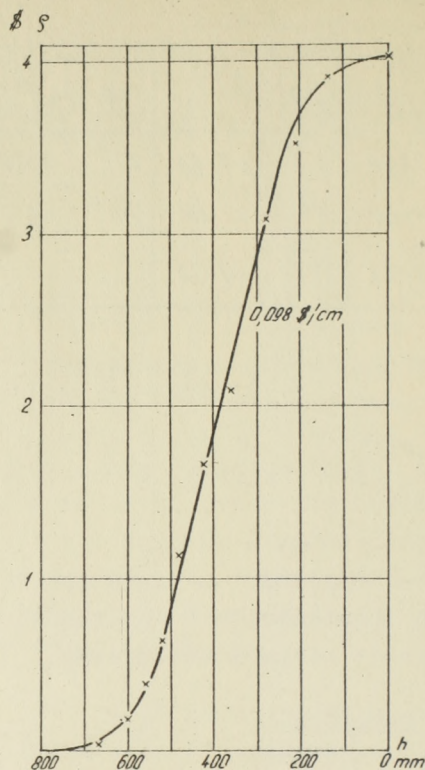
VI. sz. táblázat

A rud jele Mérési módszer	Aut		Szk		KK ₁	KK ₂	KK ₃	K	Száraz BV	Vizes BV
	\$	\$/cm	\$	\$/cm	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Szuperkritikus	1,4	0,035	4,03	0,098	3,37	4,2	3,63	5,54	4,95	5,20
Szubkritikus	1,61		4,35		4,24	4,65	3,95	7,41	3,96	

A BV rud értékeségét száraz rudcsatornában két módszerrel mértük. A szuperkritikus mérésnél mind a K, mind a KK₃ rud teljesen felhuzott állapotban volt, vagyis a BV₃ rud mérését interferenciá nem zavarta. /4,95 \$ / . A szubkritikus mérésnél mind a K, mind a KK₃ alsó végállásban volt /3,96 \$ / . Ha a szubkritikus BV₃ rudértékeséget a szuperkritikus mérés adataival kalibráljuk, úgy ez 3,52 \$, vagyis a két mellette levő bórkarbid ruddal interferálva értékesége kb. 29 %-kal csökken. Az automata szabályozó rud szuperkritikus rezsimben végzett mérésénél a K rud végig alsó végállásban volt, vagyis e két rud interferált egymással. Az automata és Szk rud integrális jelleggörbéje a 10. és 11. sz. ábrákon látható.



10. sz. ábra: Automata szabályozó-
rud integrális jelleggörbéje
 $N_F = 66$.



11. sz. ábra: Az SzK rud integrális
jelleggörbéje.

A 66 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka a besüllyesztett rudak értékségének összege alapján $13,8 \text{ \$}$, 3 db száraz rudcsatornával. A VVR-SzM zónában minden rud csatorna vizes lesz s ez megemeli a zóna reaktivitástartalékát. Ezért megmértük a BV_3 kézi csörlős rud értékségét, valamint a zóna reaktivitás tartalékának változását, amikor a vizes rudcsatornába helyezkedik el. Ekkor értéksége $0,25 \text{ \$}$ -ral nagyobb $15,2 \text{ \$}$ /. A BV rudcsatorna vizesse tétele pedig $1 \text{ \$}$ -ral növeli a zóna reaktivitástartalékát. /Vagyis megvalósítás esetén a zónakonfiguráció közel $17 \text{ \$}$ reaktivitástartalékkal rendelkezne./

A fűtőelem értékségét e zónánál csak berilliumhoz és vízhez viszonyítottuk. /VII. táblázat./

VII. sz. táblázat

MANIPULÁCIÓ \ POZÍCIÓ	I. (1,1)	III. (2,4)	I. (5,3)	I. (2,2)
Egy fűtőelem cseréje vizre	0,58 \$	0,90 \$	0,89 \$	0,22 \$
Egy fűtőelem cseréje Be-ra	0,35 \$	0,56 \$	0,56 \$	0,39 \$

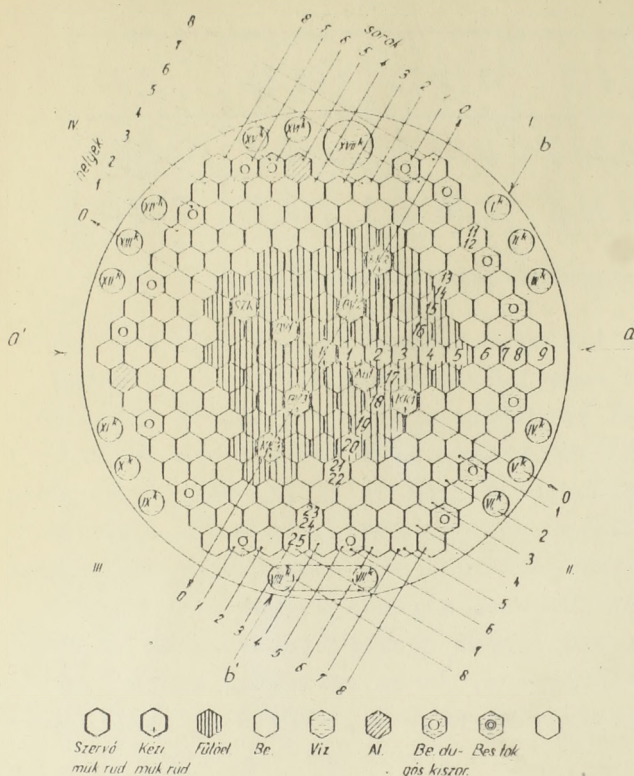
Fűtőelem értékeség mérése szuperkritikus üzemmódban. $N_F = 66$.

Mivel a zóna alámoderált, a fűtőelem helyére bevitt moderátor csökkenti a fűtőelem kiemelésével elvitt reaktivitás mértékét. Ez az effektus annál nagyobb, minél több fűtőelemmel érintkezett az eltávolított fűtőelem. A III/2,4/ és I/5,3/ pozíciókban levő fűtőelemet 3, az I/1,1/-ben levőt 4 fűtőelem és egy vizes csatorna /felhuzott K rud/ az I/2,2/-ben levőt pedig 6 fűtőelem határolja. A VII. sz. táblázat alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy /vastagabb Be reflektor esetén/ a viz /moderátor/ megjelenése az aktív zóna belsejében reguláris fűtőelem elrendezés mellett, közel kompenzálja a fűtőelem csökkenésével előidézett reaktivitástartalék csökkenését. Ha a vizlyuk reflektorként jelenik meg, /a Be reflektor előtt/ úgy a fűtőelem vízhez viszonyított értékesége magas lesz, vagyis a viz jelenléte itt már káros.

Visszatérve a V. sz. táblázatban foglalt adatokhoz, láthatjuk, hogy az I^k-III^k és XII^k-XIV^k. csatornáknál a termikus neutronfluxus kb. 10 %-kal magasabb, mint a többi besugárzó csatornában /csak azonos méretű csatornákat véve figyelembe/.

Ezeket a csatornákat nem négy réteg Be kiszorító választja el az aktív zónától, hanem csak három. Mint látható, a csatorna fluxusértéke növelhető, ha a besugárzó csatornát az aktív zónához közelítjük. Itt merült fel annak lehetősége, hogy u.n. "belső" besugárzó csatornákat létesítsünk egyes Be kiszorítók kivételekor létrejött vizlyukak helyén. A kiegészítés miatt szükséges fűtőelem pótlás esetén pedig e csatornák az aktív zónától távolabb kerülnének. E vizsgálatok elvégzéséhez egy új referencia tengelyt /bb' hur/ választottunk ki, melyben az I^k csatorna a zónától 3 réteg Be kiszorító távolságra, a VIII^k csatorna pedig 4 rétegnyire helyezkedik el /lásd 12.sz. ábra/.

A berilliumos zónák fluxusértékeit azonos teljesítményre először egy pont alapján majd az aá sugár menti fluxuseloszlásokból kívántuk normálni. Azonban az $N_F = 43$ és $N_F = 66$ -os zónákban /3. és 8. sz. ábrák/ e sugár mentén egyaránt 4-4 fűtőelem volt, így a sugármenti fluxuseloszlás nem tükrözi a zónatöltet közel 50 %-os növekedését. A körszimmetria hiánya miatt a



12. sz. ábra: Módosított zónakonfiguráció
 $N_F = 66$

értéke/ a fűtőelemszám függvénye, vagyis bármely típusú zónakonfigurációhoz tartozó fluxusérték növekszik, ha csupán a zóna töltetét csökkentjük. Ezért csak olyan zónakonfigurációkat hoztunk létre, melyeknek reaktivitástartaléka megfelelő és a későbbiekben, pl. a lyukas zónakonfigurációnál a vizlyukak kialakításakor a zóna fűtőelemszámát igyekeztünk közel konstansnak tartani.

A 12. sz. ábrán feltüntetett zónakonfiguráció abban különbözik a 8. számmal jelzett ugyancsak 66 fűtőelemes zónától, hogy két fűtőelem áthelyezésével az a tengelyen /1-9. mérési pont/ is megnőtt a zóna sugara /13. sz. ábra/.

Összehasonlítva a 9. és 13. sz. ábrákat szembetűnik, hogy az utóbbin a radiális fluxuselozlás egyenletesebb lett. $\phi_{th}^{max} / \phi_{th}^{min} = 2,5$
 A reflektor-maximum fluxus értéke nem változott, azonban az utolsó Be kisorsitón mért fluxus /ami zóna sugárban megfelel a Be palástban lévő besugárzó csatornák helyével/ 15 %-kal emelkedett, tehát ilyen Be rétegvastagság mellett a reflektor vastagságának egy kisorsítóval való csökkentése nem változtatja meg a reflektor-maximum értékét, de az aktív zóna közelítése a csator-

66 fűtőelemes zónáktól kezdve áttártunk a teljesítménynormálás következő módjára:

Minden egyes új aktív zónában új zónaelrendezés, új fűtőelemszám esetében megmértük minden fűtőelem tengelyén a közép síkban a fluxusértékeket és azokat az egész mérés

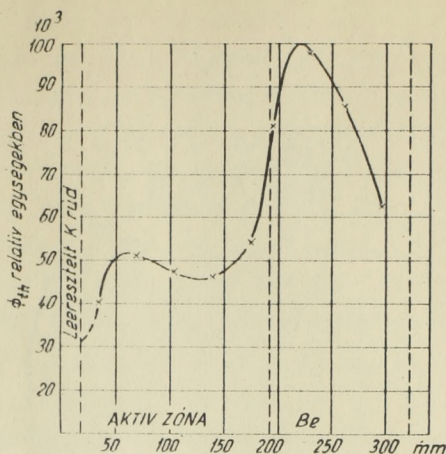
folyamán $\sum_{i=1}^{N_F} \phi_i = \text{Const}$ -ra

normáltuk. E normálásnál abból a közelítésből indultunk ki, hogy a fűtőelem közepén a vízben mért fluxus egyenlő az adott fűtőelem azonos magasságában mért átlagfluxusával. Az e fajta normálásnak az az előnye, hogy a különböző zónakonfigurációhoz tartozó relatív fluxusértékeket azonos reaktor teljesítményen hasonlíthatunk össze. Hátránya, hogy a zóna átlagfluxusa /és ezzel együtt valamennyi fluxus-

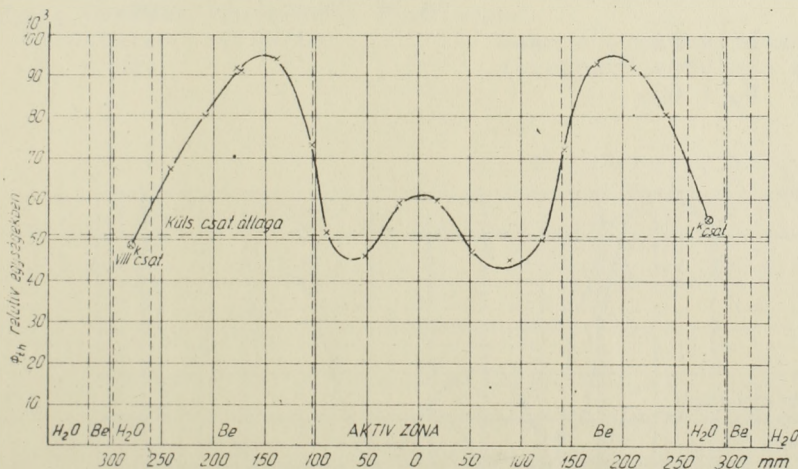
nákhöz valószínűleg emeli azok termikus neutronfluxusát. Ennek ellenőrzésére használtuk a bb' hurt.

A 14.sz. ábrán a bb' tengelymenti fluxuseloszlás látható a 12. sz. ábra 11-25 mérési pontjain. /Ez az eloszlásgörbe összehasonlítási alapként szolgál az elkövetkező mérésorozathoz./

A 0 pontban a fluxusemelkedést a KK_1 rud és automata rud helyén lévő vizlyuk okozza. Ezután azt kívántuk megvizsgálni, hogy a zónatöltet növelése nélkül melyik a helyesebb út: a fluxust csatoljuk-e ki a Be palástban levő besugárzó csatornához, vagy a besugárzó csatornát hozzuk-e közelebb az aktív zónához. A 15.sz. ábrán jelzett zónakonfiguráción a bb' tengelyen I^k csatorna előtt levő egy réteg Be kiszorítót Al kiszorítóra cseréltünk, a VIII^k csatornát pedig megszüntetve a II/3,6/ pozícióban létesítettünk csatornát.



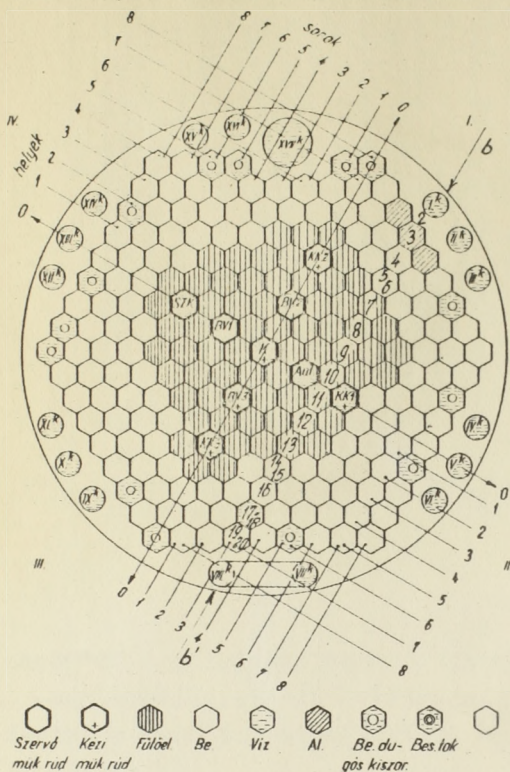
13.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás az aa tengely mentén $N_F = 66$.



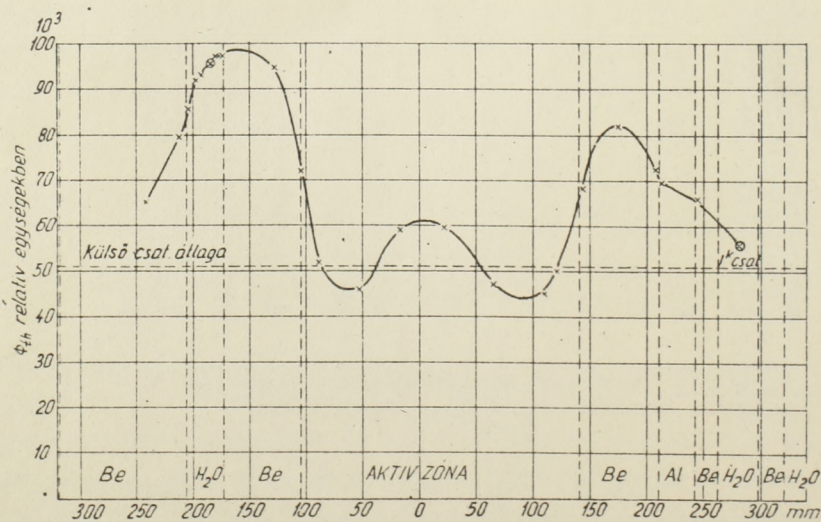
14.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén $N_F = 66$. /alap zóna/

E zónakonfigurációhoz tartozó fluxuseloszlás a bb'tengely mentén a 16.sz. ábrán látható.

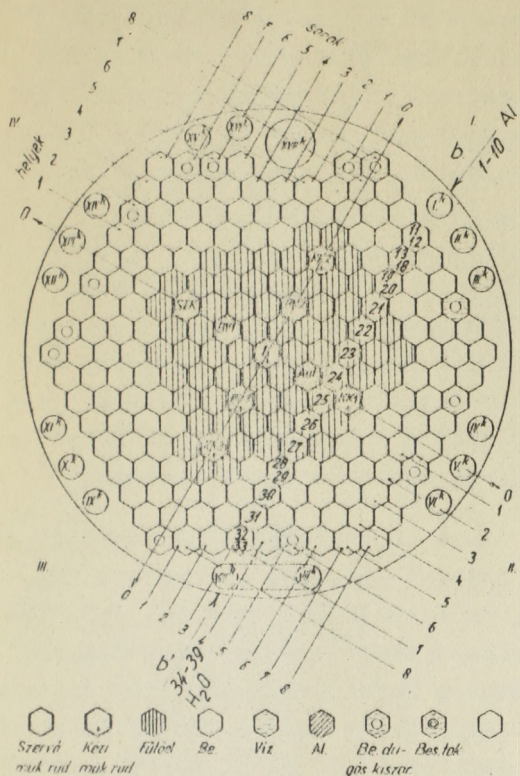
Az Al valóban jó csatoló közegként viselkedett, azonban a Be réteg csökkenése miatt a reflektor-maximum is erősen lecsökkent és az I^k besugárzó csatorna fluxusa változatlan maradt. A besugárzó csatorna "vándoroltatása" /II. negyed/ azonban jó utnak bizonyult, mert az új csatorna neutronfluxusa a VIII^k-ban mért értéknek a kétszerese. A víz, ilyen távol az aktív zónától már nem hoz létre neutron csapdát, /már túl vagyunk a Be által létrehozott reflektor-maximumon, vagyis a neutronok nagy része már termalizálódott/. A következőkben az új besugárzó csatornát további egy cellányival közelítettük az aktív zónához /17. sz. ábra/, míg a Be palást-reflektorban levő besugárzó csatornába Be dugókat tettünk.



15.sz. ábra: Zónakonfiguráció a csatorna csatolás és csatorna "vándoroltatás" méréséhez. $N_F = 66$.



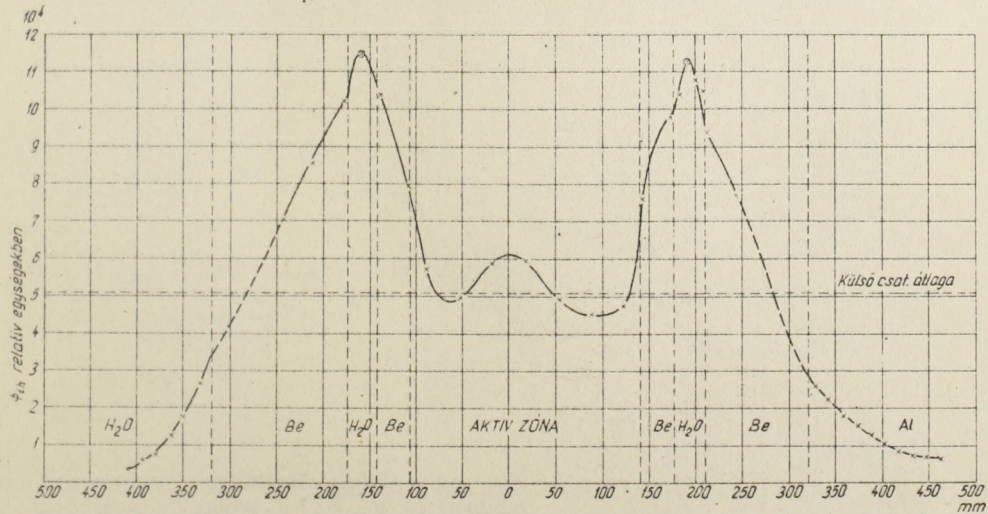
16. sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb'tengely mentén $N_F = 66$.



Mint azt láthatjuk, a csatorna helyén ez esetben már neutroncsapda jön létre. A fluxusnövekedés a külső besugárzó csatornák átlagához képest 2,25-szörös, az aktív zóna radiális átlag neutronfluxusának pedig 2,5-szöröse. A Be palástreflektoron túl megmértük a fluxust bb' hur mentén vízben és alumíniumban. Mindkét esetben az eloszlásra exponenciálisan kaptunk, vízben 25 mm, Al esetén 62,5 mm, felezőréteg vastagsággal. Nagyobb átmérőjű /100 mm-es/ besugárzó csatorna létesítése célszerűbb alumíniumban, ahol a termikus neutronfluxus a külső besugárzó csatornák maximális fluxus-átlagának 1/5 része lenne, és a fluxusgradiense is egyenletesebb.

Ha a belső besugárzó csatornát közvetlen az aktív zóna határán helyezük el, további 7 %-kal növekszik benne a neutronfluxus. /19.sz. és 20.sz.

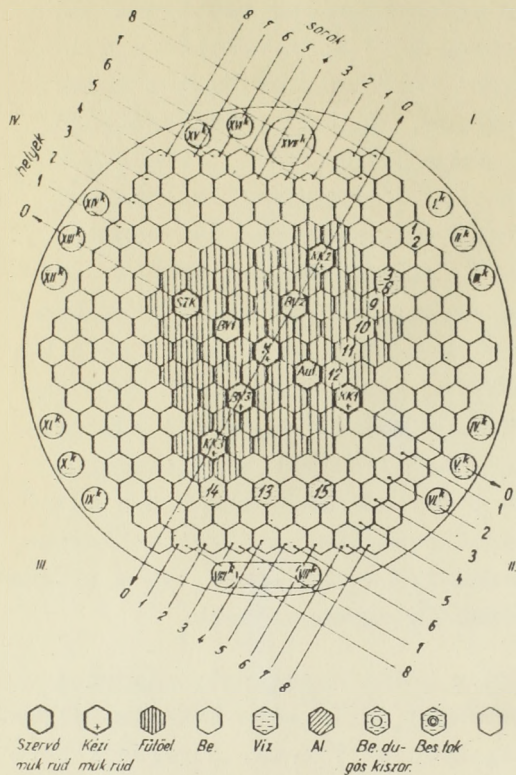
17. sz. ábra: Zónakonfiguráció a csatorna "vándoroltatás" méréséhez.
 $N_F = 66$.



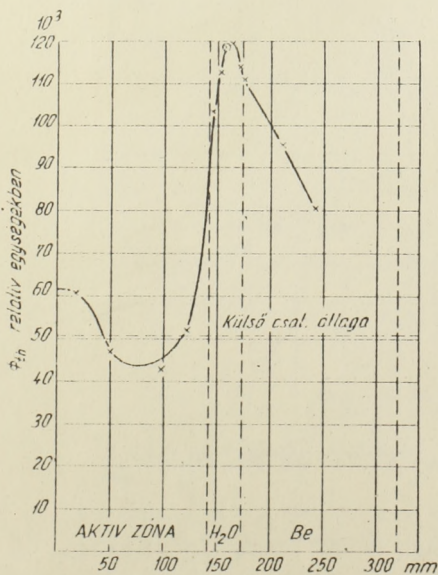
18. sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén.
 $N_F = 66$.

Belső besugárzó csatornák létesítése, mint méréseink bizonyítják jó gondolatnak bizonyult, mert azonos reaktorteljesítményhez tartozó termikus neutronfluxusok így 220-240 %-kal növelhetők. A 19.sz. ábrán jelzett 13., 14., 15. mérési pontokon azt kívántuk ellenőrizni, hogy az aktív zóna határán minden második Be kiszorító helyén besugárzó csatornát létesítve, azok nem árnyékolják-e egymást. Méréseink pozitív eredményt hoztak s így meg volt a lehetősége 18 db belső besugárzó csatorna létesítésének.

A 66 fűtőelemes zóna reaktivitás tartálékát $13,8\%$ a leengedett KK_2 , KK_3 és K rudak kötötték le. A 66 fűtőelemes tömör zónában mért SzK és Automata rudak jelleggörbéjét és értékességét felhasználva, az aktív zóna Be határán 18 db Be kiszorító kivételével létrehozott besugárzó csatorna kiváltotta a K rudat, vagyis $5,54\%$ reaktivitást vitt el. A központi K rud visszaépítéséhez további 12 db fűtőelemre volt szükség. /IV. fejezet, 21.sz. ábra/



19.sz. ábra: Zónakonfiguráció a csatorna "vándoroltatás" méréséhez. $N_F = 66$.



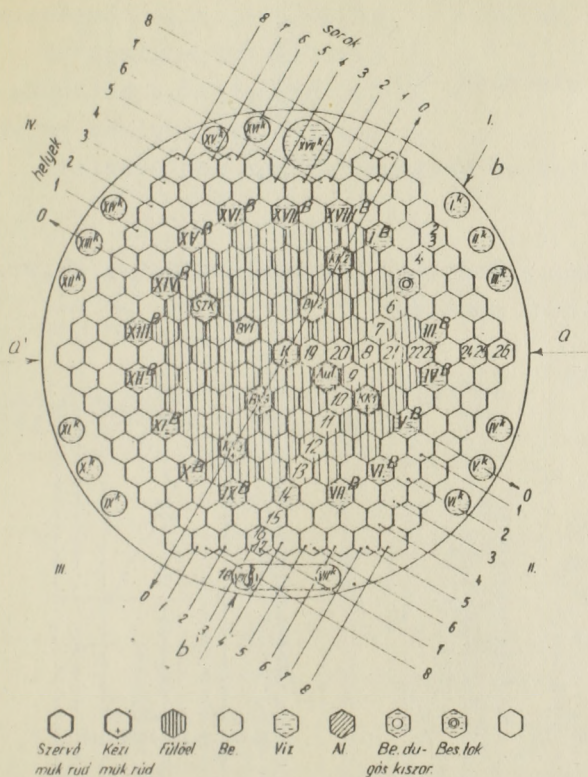
20. sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén.

$N_F = 66$.

IV. Lyukas zónakonfigurációk

18 db belső besugárzó csatornával rendelkező zóna $N_F = 78-82$.

A III. pontban foglalt mérések alapján megállapíthatjuk, hogy tömör zónakonfiguráció esetén az általunk vizsgált zónák közül várhatólag a 18 db belső besugárzó csatornával rendelkező 78 fűtőelemes zónakonfiguráció szolgáltatja az azonos reaktorteljesítményhez tartozó maximális termikus neutronfluxust a besugárzó csatornában. A bevezetőben említett "lyukas" zónakonfiguráció méréseket ezért ehhez a zónához viszonyítottuk. Először a tömör zóna fluxusviszonyát vizsgáltuk meg.

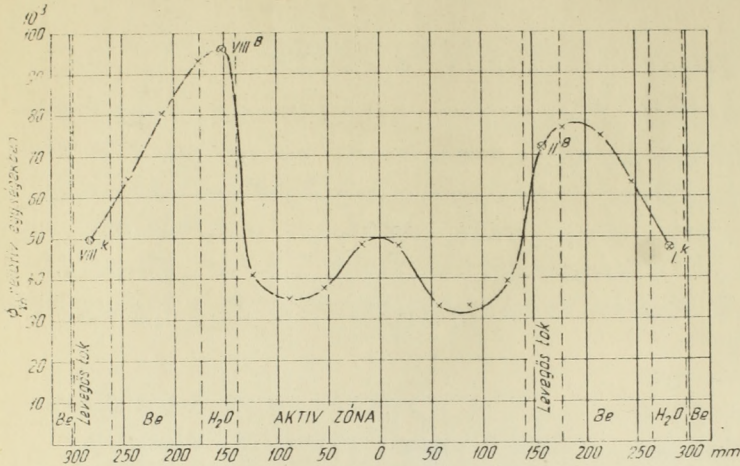


21.sz. ábra: Zónakonfiguráció a termikus neutronfluxus eloszlás méréséhez a bb' tengely mentén.

$$N_F = 78$$

A vizlyukak, mint neutroncsapdák fluxusát vízben és besugárzó tokban is mértük, tekintettel arra, hogy e neutroncsapda fluxusát tokba zárt céltárgy aktiválásával kívánjuk realizálni. A csatorna átmérője ≈ 35 mm, a besugárzó toké 30 mm, vagyis a keresztmetszet 67 %-ából a tok kiszorítja a vizet. A 73 fűtőelemes zónában végzett fluxusmérések egyrészt a célja volt felderíteni, mennyiben különböznek a termikus neutronfluxusok vízben és tokban mérve. E méréseknél visszatértünk a bb' tengelyhez, mely a további mérésekhez összehasonlítási alapként fog szolgálni. /21.sz. ábra 1-18 mérési pont./

A zóna bb' hur mentén szimmetrikus, ezért a VIII^k és II^b csatornában levegős besugárzó tokban, a velük szemben szimmetrikusan elhelyezkedő I^k és VIII^b csatornában pedig vízben mértünk. /22.sz. ábra/.



22. sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén. $N_F = 78$.

zett tok miatt 20 %-kal lecsökkent reflektor maximum itt már nem érezteti hatását.

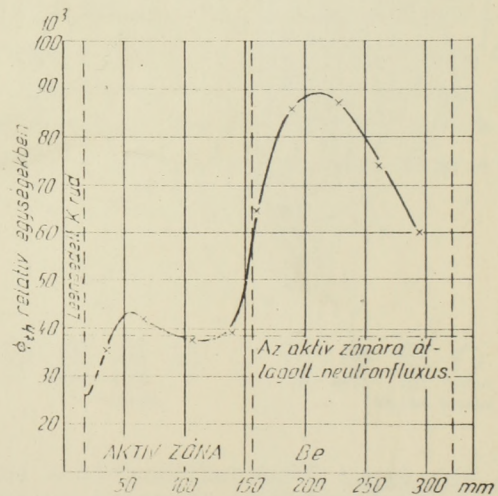
Az aa referencia tengely mentén a radiális fluxuselozlást a 23.sz. ábrán láthatjuk. /21.sz. ábra 19-26 mérési pont./

A 66 fűtőelemes zóna fluxuselozlásához - 9.sz. ábra - hasonlítva a fenti eloszlást láthatjuk, hogy a zóna átlagfluxusa és a reflektor maximum csökkenése mellett a külső két berillium kiszorító réteg fluxusa gyakorlatilag nem változott. Ebből azt következtethetjük, hogy a külső besugárzó csatornák fluxusa lényegében változatlan maradt.

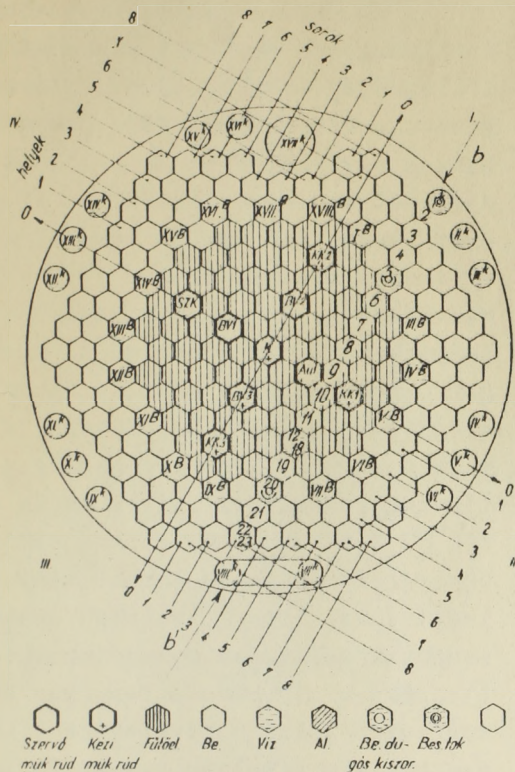
A 18 db besugárzó csatornára átlagolt termikus neutronfluxus vízben mérve 99.000 rel. egység, míg a besugárzó tokban mért átlagos fluxusérték 74.000 rel. egység. E két értéket a lyukas zónakonfiguráció méréseknél összehasonlítási alapnak fogjuk tekinteni, vagyis csak olyan belső vizlyukak jöhetnek majd számításba, melynek fluxusviszonyai jobbák a tömör zóna belső csatornáinak fluxusainál.

A továbbiakban rátértünk a bevezetőben említett u.n. "lyukas" zónakonfigurációk vizsgálatára. Csak a technikailag jól kihasználható vizlyukak,

A II^b és VIII^b szimmetrikusan elhelyezkedő belső besugárzó csatornában a fluxus tokban mérve 25 %-kal kisebb, mint vízben. Az I^k és VIII^k külső csatornában a tokban, ill. vízben mért fluxusok hibahatáron belül megegyeznek. /Neutroncsapda csak a belső besugárzó csatornák helyén jön létre./ A külső csatornák távolsága a reflektor maximumtól 110 mm, ezért a belső besugárzó csatornába helye-



23.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás az aa tengely mentén. Tömör zónakonfiguráció $N_F = 78$.

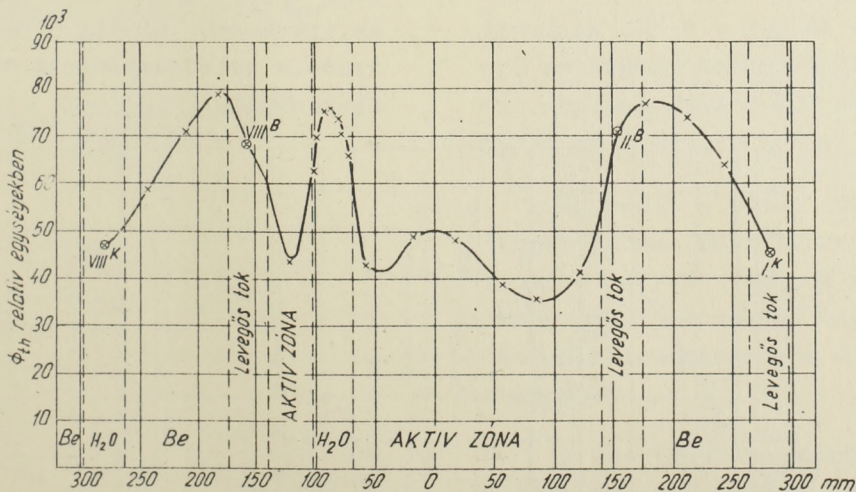


24. sz. ábra: Zónakonfiguráció az egyes vizlyuk vizsgálathoz.
 $N_F = 78-1 = 77$.

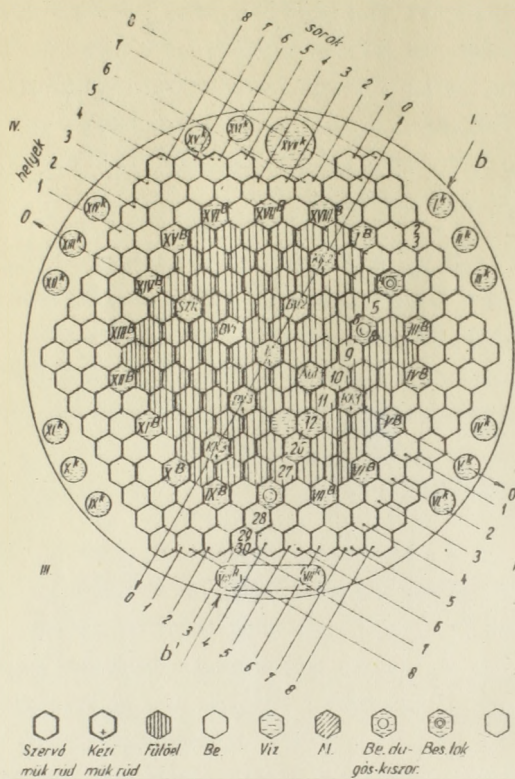
mint az 1,3,4 cellányi területük jöttek számításba. A vizlyukakat mindenkor az aktív zónanegyed közepe táján, a szabályozó rudaktól távol alakítottuk ki. Az egyes vizlyukat a II/3,3/ pozícióban hoztuk létre. /24.sz. ábra./

Mint a 25.sz. ábra tanuskodik, a bb' tengelyen egy fűtőelem kivételével létrehozott vizlyuk termikus neutronfluxusa megegyezik a berillium reflektorban létrejött fluxus-maximummal és a lokális neutronfluxust 2,1-szeresére emeli.

A következő zónakonfiguráció az $N_F = 82$ -es alapzónából alakult ki. Ezt az alapzónát úgy hoztuk létre, hogy az aktív zóna négy sarkába egy-egy fűtőelemet tettünk s így kiegészült a teljes hatszög zónakonfiguráció. /Az $N_F = 82$ -es zóna részletes leírása az V. fejezetben./

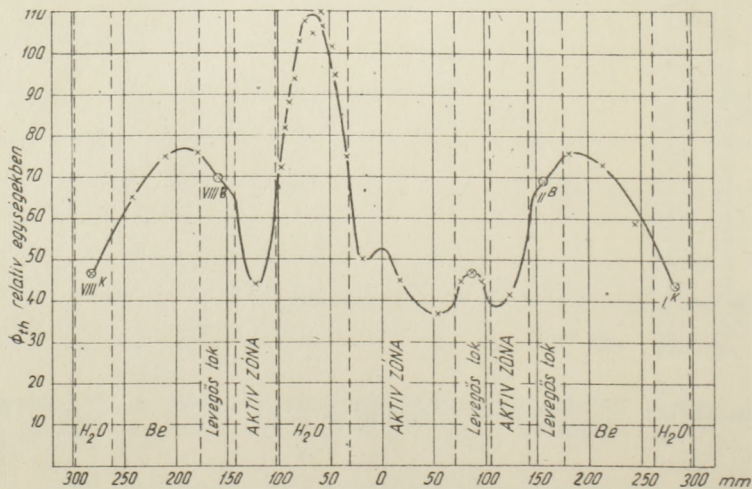


25.sz. ábra: Termikus neutronfluxuseloszlás a bb' tengely mentén. $N_F = 78-1 = 77$.



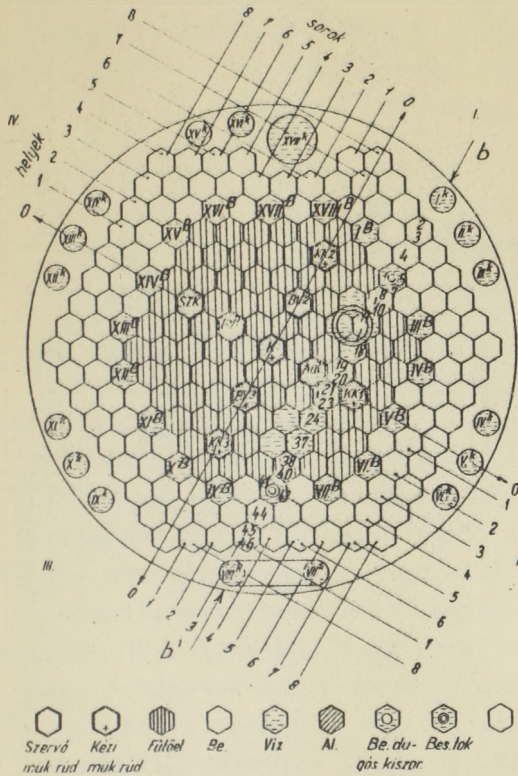
26.sz. ábra: Zónakonfiguráció az egyes és hármas vízlyuk vizsgálatához.
 $N_F = 82 - /1x3+1/ = 78$

A 26. sz. ábrán jelzett zónakonfiguráción egyrészt a hármas fűtőelemköteg eltávolításával létrehozott neutroncsapda /II. negyed, hármas vízlyuk/ fluxuseloszlását, másrészt az egyes vízlyukban /I. negyed/ besugárzó tokban lévő fluxusértékeket mértük. Mint a 27. sz. ábrán látható, az egyes vízlyukban elhelyezkedő 30 mm átmérőjű Al besugárzó tok esetén a lokális fluxusnövekedés 1,28-szoros, szemben a vízben mért 2,1-szeres lokális fluxusnövekedéssel. Mivel ez az érték 37 %-kal kisebb, mint a belső besugárzó csatornák tokban mért átlagfluxusa, ilyen kisméretű neutroncsapda alkalmazása nem célszerű. A hármas vízlyukban a termikus neutronfluxus lokális növekedése 3,04-szeres, míg a belehelyezett 20 mm sugarú száraz csőben /mely ilyen átmérőjű besugárzó tokot immitált/ a lokális fluxusnövekedés 1,80-szoros, vagyis 70004 rel. egység. /Ez az érték még mindig 5 %-kal alacsonyabb a belső csatornák tokban mért fluxusánál./



27.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén. $N_F = 82 - /1x3+1/ = 78$.

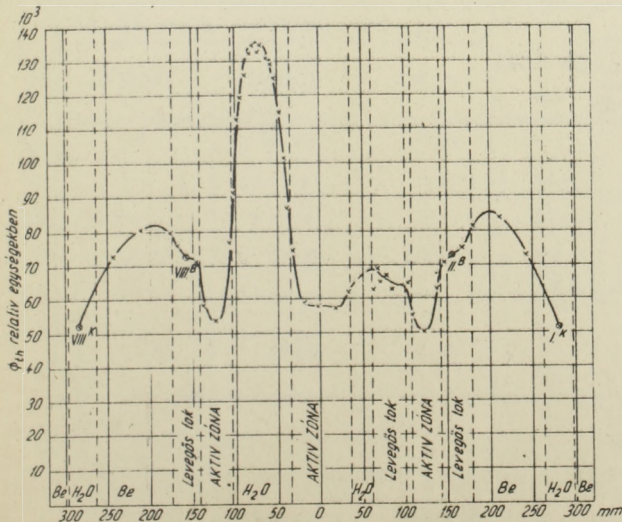
Ezután két db négyes vizlyukat alakítottunk ki az I- és II. térnegyedben $N_F = 82 - 2 \times 4 = 74.$, ahol a bb' tengely mentén megmértük a fluxuselozslást vizlyukban és csatornába helyezett 25 mm sugaru tokban. 28. és 29. sz. ábrák./



28.sz. ábra: Zónakonfiguráció a négyes vizlyuk vizsgálatához.
 $N_F = 82 - 2 \times 4 = 74.$

A hármas és négyes vizlyukban, mivel ezek nem követik a körszimmetriát, a cellát körülvevő lapokat és csúcsokat összekötő egyenesek mentén is végeztünk méréseket. Ezek általában megegyeztek a bb' tengely mentén /a beirható kör hurja/ mért eloszlással és annak fluxusértékével. Kivételt képez a négyes vizlyuk, ahol a vizlyuk közepén a fluxusérték mintegy 12 %-kal magasabb a bb' hur mentén mért értéknél.

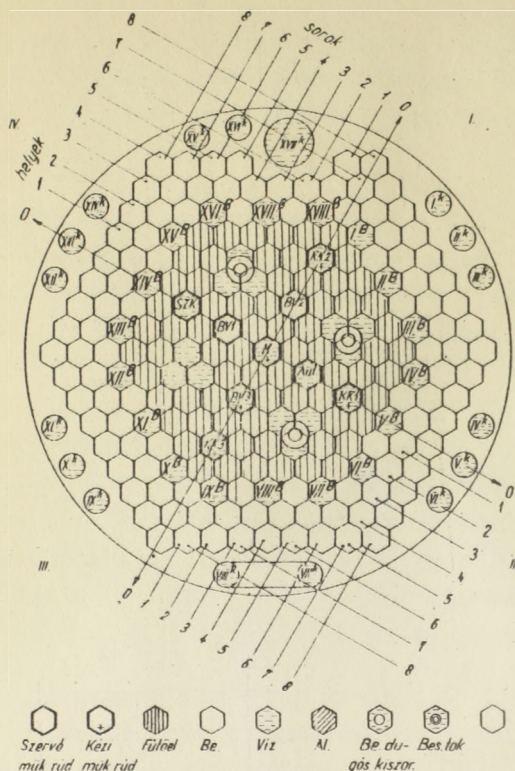
A 3,68 cm effektív sugaru négyes vizlyuk közepén mért fluxus 151500 rel. egység, ami 3,73-szoros lokális fluxusnövekedésnek felel meg. Ez már 53 %-kal magasabb érték a tömör zóna belső csatornák vizben mért átlagfluxusánál. Ebbe a vizlyukba kétféle méretű besugárzó tokot helyeztünk el: $r = 2,5$ és $2,0$ cm. A 2,5 cm sugaru tokban a fluxus 67150 rel. egység, míg a 2,0 cm-es tokban 80130 rel. egység volt.



Ha tehát a tömör zóna belső csatornák tokban mért fluxusánál magasabb fluxusu helyet kívánunk kialakítani, ehhez legalább négyes vizlyukat kell létrehozni maximálisan 2,0 cm-es tok-sugárral.

A következő zónakonfiguráción minden zóna-negyedben 1-1 hármas vizlyukat hoztunk létre.

29.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás a bb' tengely mentén.
 $N_F = 82 - 2 \times 4 = 74.$



A hármas vizlyukban a 3,0 cm átmérőjű besugárzó tokban a lokális neutronfluxus növekedése 2,30-szoros és megegyezik e zónakonfigurációhoz tartozó belső besugárzó csatornák vizben mért átlag-fluxusával /94000 rel. egység/. A külső csatornák átlag-fluxusa pedig 50184 rel. egység /16 db csatornára átlagolva/.

A különböző belső lyukas zónakonfigurációkon mért relatív fluxusértékeket a VIII. sz. táblázatban foglaltuk össze.

A különféle zónákat azonos reaktorteljesítményre normálva azt várnánk, hogy az azonos külső sugaru, de különböző fűtőelem számú zónák esetén a kevesebb fűtőelemet tartalmazó zónák belső és külső besugárzó csatornáiban a neutronfluxusok értékei magasabbak. Összehasonlítva az $N_F = 78$ és $N_F = 82 - /4 \times 3/ = 70$ -es zónákhoz tartozó belső besugárzó csatornák átlagos fluxusértékeit, azt

30.sz. ábra: Zónakonfiguráció a hármas vizlyukak vizsgálatához.
 $N_F = 82 - /4 \times 3/ = 70$.

tapasztaljuk, hogy a lyukas zónában /bár ez kb. 10 %-kal kevesebb fűtőelemet tartalmaz/ a belső csatornák fluxusa a belső vizlyukak "leszívó" hatása miatt csökkent.

VIII.sz. táblázat

ZÓNA KONFIGURÁCIÓ N_F	VIZLYUK effektív sugara r_{eff} cm	ϕ_{th}					ϕ_{th} BELSŐ CSATORNA		ϕ_{th} KÜLSŐ CSAT.
		VÍZBEN		TOKBAN		TOK SUGÁR cm	VÍZBEN	TOKBAN	VÍZBEN
		relatív egységekben	Relatív lokális növekedés	relatív egységekben	Relatív lokális növekedés				
78=78	—	32577	—	—	—	—	99000	74200	—
78-1=77	1,33	75653	2,10	47085	1,28	1,5	—	—	—
82-(1x3)=79	3,20	110119	3,04	70004	1,81	2,0	—	—	—
82-(4x3)=70	3,20	—	—	93400	2,30	1,5	94000	71100	50184
82-(2x4)=74	3,68	151500	3,73	67150 80103	1,65 1,97	2,5 2,0	—	—	—
82-(4x3)=80	3,20	—	—	78584	2,07	1,5	84450	64532	50540
82-(4x3)=80	3,20	—	—	58025	1,79	2,0			

hány ellenőrző mérést végeztünk. A fenti tömör és lyukas zóna mérési eredményei elsősorban a központi és a 3-as biztonságvédelmi rudnál különböztek, értékük a lyukas zónában közel 20 %-kal csökkent. A részleges ellenőrző méréseink szerint a vizlyukak mérete és elhelyezése jelentős hatással volt a legtöbb szabályozó rudra. Pl. az I. és II. térnegyedben létesített 1 - 1 négyes vizlyuk hatására a központi rud értéksége a Sz.K. rud értéke alá csökkent.

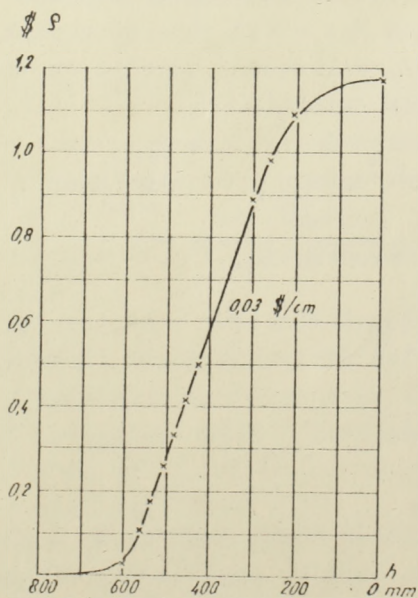
Az $N_F = 92 - /4x3/ = 80$ -as zónakonfigurációhoz tartozó rudak értékségét a IX. táblázatban foglaltuk össze, az $N_F = 82$ zóna adatait pedig az V. fejezetben tárgyaljuk.

IX. sz. táblázat

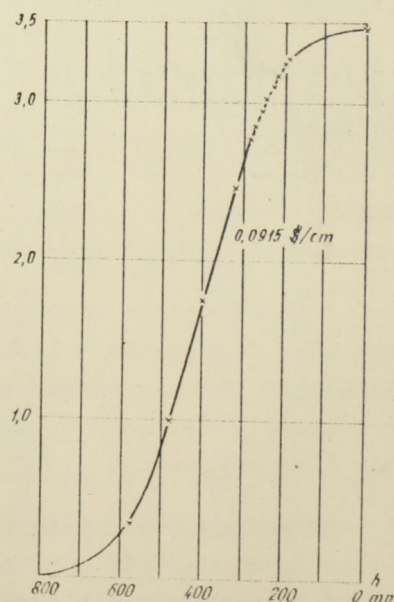
A rud jele	Aut.		SzK		KK-1	KK-2	KK-3	K	BV
Mérési módszer	\$	\$/cm	\$	\$/cm	\$	\$	\$	\$	\$
Szuperkrit.	1,17	0,030	3,46	0,0915	3,12	2,71	3,78	4,9	4,11

Az automata rud mérésénél a KK_1 rud kihuzott és a K rud besülyesztett állapotban a BV_3 rud mérésénél pedig a K rud kihuzott és a KK_3 besülyesztett állapotban volt. E zónakonfigurációhoz tartozó rudértékségek alapján e zóna reaktivitás tartaléka 12,10 \$.

Mivel a fenti zónán a KK_3 rud szempontjából az aktiv zóna nem szimmetrikus /vastagabb fűtőelem réteggel van körülveve/ értéksége is magasabb a többi szélső rud értékségénél. Az automata és SzK rudak integrális jelleggörbéjét a 32. és 33. sz. ábrákon közöljük.



32.sz. ábra: Az automata rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 92 - /4x3/ = 80$



33.sz. ábra: Az SzK rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 92 - /4x3/ = 80$

A különböző lyukas zónakonfigurációk fűtőelem-vizlyuk reaktivitás értékségeit, valamint a beépített reaktivitás tartalékok jellemző adatait a X. sz. táblázatban foglaltuk össze.

E táblázat utolsó 3 sorának adatai részben közelítésen alapulnak. Az $N_F = 92$ -es zóna beépített reaktivitását $/18,6 \text{ \$} /$ azon az alapon határozzuk meg, hogy az $N_F = 84$ -es zónát tovább építve a 10 db fűtőelem kompenzálásához a KK-3 rudat gyakorlatilag be kellett engedni. A reaktivitás tartalék növekedése $/3,3 \text{ \$} /$ jól egybeesik az $N_F = 82$ -es zóna határán mért fűtőelem értékség tizszeresével. Az $N_F = 92 - /4 \times 3 / = 80$ -as zóna beépített reaktivitása $/12,1 \text{ \$} /$ mérési adat, a különbséget tehát nyilván a lyukak képzése hozta létre. Az $N_F = 92 - 4 \times 4 = 76$ -os zóna beépített reaktivitását az $N_F = 92 - 4 \times 3 = 80$ -elemes zóna rudkarakterisztikáiból számítottuk, értéke a négyes vizlyukak hatását jellemzi. E méréseket csupán előzetes információszerzésnek tekintettük és úgy terveztük, hogy amennyiben valamelyik lyukas zónát választjuk induló üzemi zónakonfigurációnak, úgy annak részletes kimérésére visszatérünk.

Külön figyelmet érdemel az, hogy egy fűtőelem értéksége vízhez képest /egy-egy vizlyuk létesítése/ csupán $0,1 \text{ \$}$, levegőhöz képest /a vizlyukban levegős besugárzó tokok/ $0,6 \text{ \$}$. Tehát egy fűtőelem eltávolítása és helyébe besugárzó tokok bevitele, az aktív zóna periferiáján kb. 2 db fűtőelemmel kompenzálható.

Nagyobb vizlyukak esetén a tokok által kiszorított víz kis reaktivitás változást jelent, azonban az egy fűtőelem által elvitt fajlagos fűtőelem reaktivitás értékség emelkedik. Hármás vizlyuk esetén átlag $0,45 \text{ \$} /$ fűtőelem, négyes vizlyuknál ez $0,56 \text{ \$} /$ fűtőelem az $N_F = 82$ -es alapzónából képzett zónák esetében.

A fluxusmérések alapján megállapítható, hogy ahhoz, hogy a belső besugárzó csatornák fluxusánál magasabb fluxusu vizlyukat alakítsunk ki, legalább négy fűtőelemcella méretű vizlyukat kell képezni. /20 mm-nél nem nagyobb sugaru besugárzó tok esetén./ Ha az $N_F = 82$ -es zóna reaktivitás tartalékát konstansnak akarjuk tartani, úgy 1 db négyes vizlyuk esetén az aktív zóna periferiáján kb. 7 db, négy négyes vizlyuk esetén pedig kb. 20-25 db fűtőelemet kell a zónába bevinni, vagyis kb. $N_F = \frac{112}{117} - /4 \times 4 / - \frac{96}{101}$ -es zónát kell kialakítani. Ilyen nagy külső sugaru zónák esetében a belső besugárzó csatornák fluxusértékei már egyeznek a külső csatornákéval, miközben a külső csatornák fluxusa is csökken azonos reaktorteljesítmény mellett.

X. sz. táblázat

Zónakonfiguráció fűtőelemszáma db	Pozíció	Vizlyuk	A zóna reaktivi-	A vizlyukba helye-		1 db fűtőelem Be-hoz viszó- nyított érté- kessége az ak- tív zóna-Be határon. \$
		reaktivi- tás hatá- sa \$	tás tartaléka a kalibrált sza- bályozó rudak alapján \$	zett besugárzó tok átmérője cm	reaktivi- tás hatá- sa \$	
82 = 82	-	-	15,3	-	-	0,31
82-/ $1 \times 3 + 1$ /=78	I II	<i>13,3/</i> <i>13,2/ 13,3/ 12,2/</i>	-0,10 -1,30	-	3,0 4,0	- -0,03
82-/ 2×3 /=76	I II	<i>13,2/ 13,3/ 12,2/</i>	-2,69	-	-	-
82-/ 1×4 /=78	II	<i>12,2/ 12,3/ 13,3/ 13,2/</i>	-2,2	-	5,0	-0,15
82-/ 2×4 /=74	I II	<i>12,2/ 12,3/ 13,3/ 13,2/</i>	-4,5	-	-	-
92 = 92	-	-	18,6	-	-	-
92-/ 4×3 /=80	I II III IV	<i>12,2/ 13,3/ 13,2/</i>	-6,5	12,1	-	-
92-/ 4×4 /=76	I II III IV	<i>12,2/ 12,3/ 13,3/ 13,2/</i>	-10,10	8,50	-	0,39

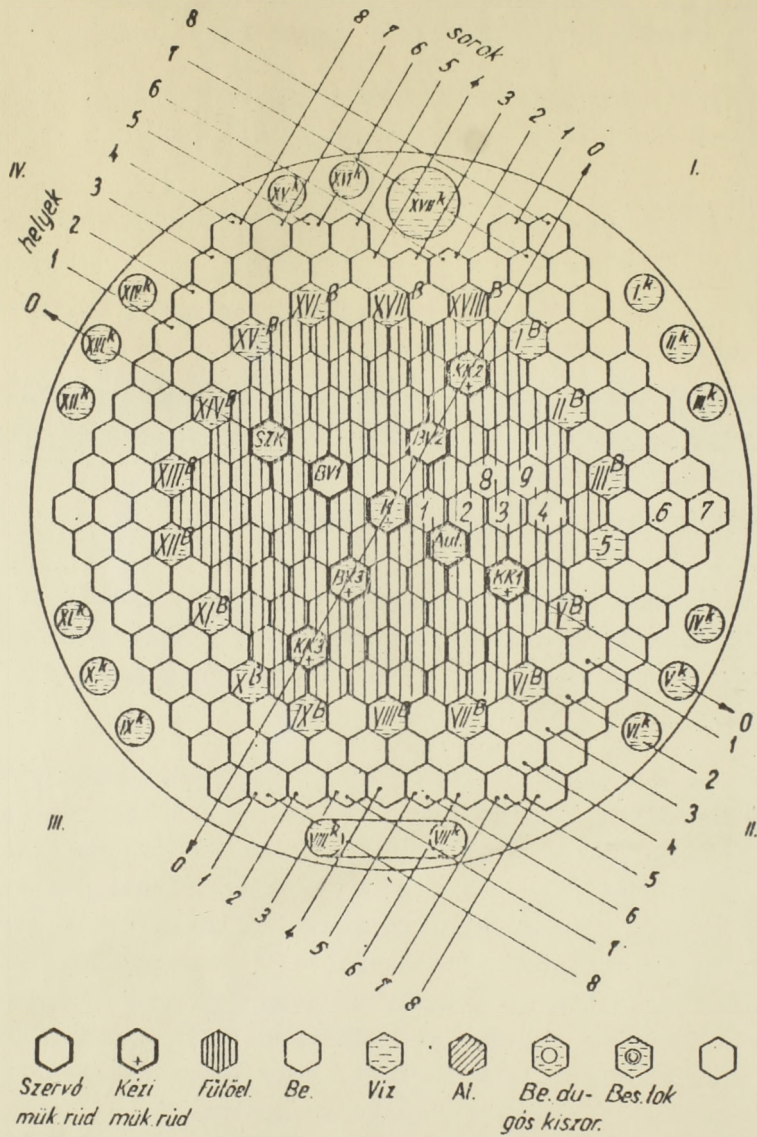
V. "Induló" üzemi zónakonfiguráció vizsgálata $N_F = 82$

Az eddig elvégzett mérések eredményeinek birtokában javaslatot kellett tennünk az "induló", üzemi reaktivitás tartalékkal rendelkező zónakonfigurációra. Ehhez a következő szempontokat vettük figyelembe:

- a./ minimális hőteljesítmény mellett kétszerezük meg az izotópgyártás céljaira fenntartott függőleges besugárzó csatornák fluxusmaximumának átlagát;
- b./ a belépitett reaktivitástartalék egy évi/10 hónapon át, havi 300 üzemóra/üzemeltetést biztosítson;
- c./ a fűtőelemek hőterhelése s ezzel egyidejűleg a kiégése a lehetőség szerint minél egyenletesebb legyen;
- d./ az aktív zóna közelítése a külső csatornák felé /azok termikus neutronfluxusainak növelése céljából/ lehetőség szerint ne csupán abszorbens rudak segítségével történjék;
- e./ a BV rudak értékesége minél magasabb legyen.

Mindezen szempontok alapján esett választásunk a 82 fűtőelemből álló 18 db belső és 17 db külső besugárzó csatornával rendelkező tömör zónakonfigurációra. /34.sz. ábra./ E szempontok részletesebb tárgyalására a VI. pont végén térünk vissza.

Javaslatot kellett tenni a reaktornál folyó aktivációs analízis kutatások céljaira formált spektrumu besugárzó helyek kialakítására, melyek közül 1 db csőpostával ellátott gyors és 2 db ugyancsak csőpostával működő termikus besugárzó csatornát képezne. A gyors besugárzó csatorna makettjét úgy képeztük ki, hogy az a zóna középsíkja alatt 10 cm-ig vizes legyen, e fölött pedig száraz. A középsíkban a csatornát 100 mm magasságu és 1,0 mm vastagságu Cd lemezzel béleltük ki a termikus neutronfluxus abszorpciója céljából. A csatorna területe egy cella területével volt egyenlő. A helyének kijelölésénél szem előtt kellett tartani, hogy lehetőség szerint magas gyors neutronfluxus mellett, alacsony legyen a csatorna által lekötött reaktivitás. E célból megmértük a tervezett csatorna makettjének helyfüggő reaktivitás értékeségét a 34. sz. ábrán 1 - 9 jelzett pontokban. /XI. sz. táblázat./



34.sz. ábra: Zónakonfiguráció a gyors besugárzó csatorna makett helyfüggő reaktivitásértékek méréséhez.

$$N_F = 82.$$

XI. sz. táblázat

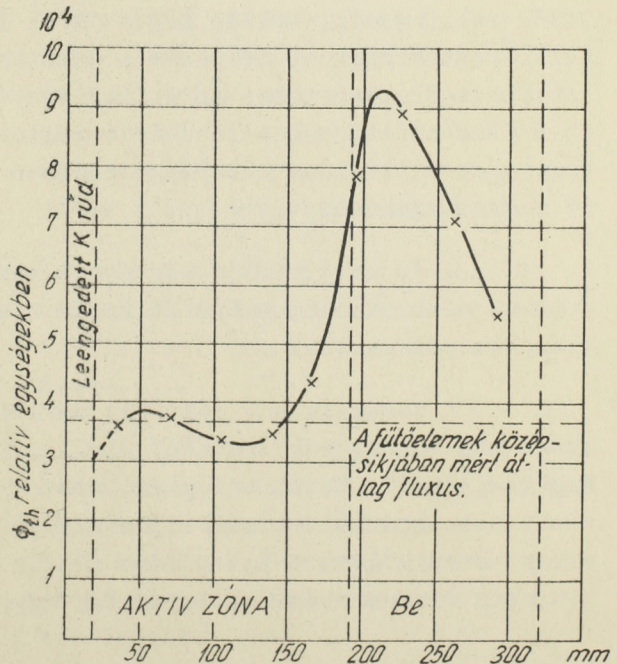
MÉRÉSI PONT	\$	MÉRÉSI PONT	\$
1.	1,30	6.	0,28
2.	1,38	7.	0,14
3.	1,19	8.	1,15
4.	1,07	9.	1,03
5.	0,40	—	—

Meg kell jegyezni, hogy az 1, 2, 3, 4, 8, 9. pontok értékei egy fűtőelem eltávolításának és a makett bevitelének együttes hatását adják, továbbá, hogy az 1. mérési pont kisebb értéke a közelben lévő K rud hatását jelzi. A reaktivitás-hatás szempontjából a csatornának egy belső besugárzó csatorna helyén történő kialakítása az előnyösebb, különösen ha viszonylag magas gyorsfluxusu helyet kívánunk létesíteni. Az alacsony reaktorteljesítmény miatt gyors neutronfluxust nem tud-

tunk mérni, ezért a belső csatornák közötti választásnál csak azt vettük figyelembe, hogy lehetőleg eleve kis termikus fluxusu csatornát vegyünk igénybe és az ide helyezett kadmios csatorna ne árnyékoljon magasfluxusu besugárzó csatornát. Mindezek figyelembevételével előzetes fluxusméréseink alapján a IV. negyed /3,5/-ös csatornája /XVII^B/ tesz leginkább eleget, ahol a makett mindössze 0,08 \$ -ral több reaktivitást köt le, mint a XI. sz. táblázat 5. pontjában szereplő I/6,3/ helyen.

A két termikus spektrum csőpostacsa csatornát az I/8,3/ /8,4/ /7,5/-ös pozíciókban helyeztük el. /A középső cella a csőpostát ellátó levegő szállítására szolgál./

A korábban már megadott aá referencia tengelyen mért radiális termikus neutronfluxus eloszlásgörbén /35.sz. ábra/ látható, hogy a fluxusértékek az aktív zónában a 82 fűtőelemen mért átlagértéktől alig különböznek. Kivételt képez az utolsó fűtőelem külső falán a reflektor hatására jelentkező magas fluxusérték. A reflektor-maximum értéke a fűtőelemekben mért átlagfluxus 2,5-szöröse. A belső és külső csatornák fluxusának összehasonlítása céljából megmértük a csatornák fluxusértékeit közép magasságban



35. sz. ábra: Radiális termikus neutronfluxus eloszlás az aá tengely mentén. $N_F = 82$.

vizben és besugárzó tokban. / $r=1,5$ cm./ A kapott értékeket a XII. sz. táblázatban foglaltuk össze.

XII. sz. táblázat

CSAT.	Φ_{th} VIZBEN rel. egységek	Φ_{th} TOKBAN rel. egységek	CSAT.	Φ_{th} rel. egységek	CSAT.	Φ_{th} VIZBEN rel. egységek	Φ_{th} TOKBAN rel. egységek	CSAT.	Φ_{th} rel. egységek
I. ^B	91496	69718	I. ^K	51855	X. ^B	94626	71800	X. ^K	52400
II. ^B	106054	75500	II. ^K	53000	XI. ^B	108743	76609	XI. ^K	53563
III. ^B	102157	74903	III. ^K	52401	XII. ^B	97454	73917	XII. ^K	51083
IV. ^B	93871	72611	IV. ^K	53725	XIII. ^B	98664	73600	XIII. ^K	52003
V. ^B	93042	71003	V. ^K	52001	XIV. ^B	93748	71201	XIV. ^K	52500
VI. ^B	93803	72509	VI. ^K	53604	XV. ^B	92819	69503	XV. ^K	52458
VII. ^B	102226	76608	VII. ^K	55264	XVI. ^B	86605	65399	XVI. ^K	45246
VIII. ^B	106743	77521	VIII. ^K	55222	XVII. ^B	Cd-os csatorna		XVII. ^K	56345
IX. ^B	96503	71619	IX. ^K	52507	XVIII. ^B	80004	58021		—

A belső besugárzó csatornákra két értéket adunk, a vízben és tokban mért fluxusértékeket, míg a külső csatornában csak egyet, mert a kettő gyakorlatilag azonos. A 17 db belső besugárzó csatorna átlagfluxusa vízben 96382 rel. egység, tokban mérve 71885 rel. egység. Eltekintve a XVI.^B és XVIII.^B csatornáktól, melyeket a kadmios csatorna árnyékol le, a belső csatornák fluxusértékei az átlagértéktől nem térnek el 6 %-nál jobban. A 16 db azonos méretű külső besugárzó csatorna átlagfluxusa 52439 rel. egység, vagyis az aktív zóna középmezőnyében a belső csatornák fluxusa átlagban 37 %-kal magasabb.

A 30 mm átmérőjű besugárzó tokban, átlag 25 %-kal kisebb a fluxusértéke, mint vízben, ezért célszerű a besugárzó tokok méretét a lehetőség szerint csökkenteni.

A besugárzandó céltárgy mérete általában kicsi /súlya néhány mg./, ezért kis tokba, vagy kettős, kívül perforált tokba csomagolható az anyag. Megvizsgáltuk a belső besugárzó csatornában a termikus neutronfluxus változását a besugárzó tok átmérőjének függvényében. Mint a 36. sz. ábrán látható, mérési hibahatáron belül a mért pontok egy egyenes mentén fekszenek. /A vízben mért fluxusértékeket normáltuk egyre./

XIII. sz. táblázat

Csat	Pozic.	ϕ_{th} rel. egység	ϕ_{th} egyre norm.	Csat	Pozic.	ϕ_{th} rel. egység.	ϕ_{th} egyre norm.	Csat	Pozic.	ϕ_{th} rel. egység.	ϕ_{th} egyre norm.	Csat	Pozic.	ϕ_{th} rel. egység.	ϕ_{th} egyre norm.
I ^K	1	21550	0,416	VI ^K	1	21000	0,391	XI ^K	1	22109	0,413	XVI ^K	1	20158	0,446
	2	39660	0,764		2	39498	0,736		2	39215	0,732		2	35049	0,775
	3	51855	1,000		3	53604	1		3	53563	1		3	45246	1
	4	53880	1,040		4	52510	0,979		4	54006	1,008		4	45446	1,004
	5	30750	0,592		5	29817	0,556		5	29493	0,551		5	27874	0,616
II ^K	1	22005	0,415	VII ^K	1	23119	0,418	XII ^K	1	22503	0,441				
	2	37779	0,712		2	38900	0,703		2	39277	0,769				
	3	53000	1,000		3	55264	1		3	51083	1				
	4	52598	0,992		4	53892	0,975		4	49670	0,972				
	5	29980	0,565		5	30703	0,555		5	28906	0,566				
III ^K	1	22038	0,420	VIII ^K	1	22407	0,405	XIII ^K	1	22013	0,425				
	2	37700	0,719		2	38300	0,693		2	39111	0,752				
	3	52401	1,000		3	55222	1		3	52003	1				
	4	52900	1,009		4	54201	0,981		4	49990	0,961				
	5	28800	0,549		5	31040	0,562		5	30388	0,564				
IV ^K	1	21732	0,409	IX ^K	1	21608	0,412	XIV ^K	1	22013	0,419				
	2	36800	0,694		2	38439	0,732		2	37475	0,714				
	3	53011	1,00		3	52507	1		3	52500	1				
	4	50727	0,956		4	50141	0,955		4	49608	0,945				
	5	29504	0,556		5	27069	0,515		5	31247	0,595				
V ^K	1	21499	0,413	X ^K	1	22399	0,427	XV ^K	1	21150	0,403				
	2	37813	0,727		2	39622	0,756		2	35024	0,668				
	3	52001	1		3	52400	1		3	52458	1				
	4	51529	0,990		4	51125	0,976		4	49458	0,943				
	5	30537	0,585		5	29198	0,557		5	26649	0,508				

I/ 0,417 II/ 0,728 III/ 1,000 IV/ 0,980 V/ 0,563
 /21867 rel.egys./ /38176 r.e./ /52439 r.e./ /51390 r.e./ /29523 r.e./

Ezen értékektől való eltérés a XVI^K csatornában a legjelentősebb, /Cd-os csatorna hatása/, kisebb mértékű a szabályozó rudaknál fekvő csatornában.

A belső csatornában a besugárzó tokok az alsó A1 rácson ültek s így minden tokpozíció a külső csatornában mérthez képest 3 cm-rel alacsonyabba került. A XIV.sz. táblázat tartalmazza a 17 db belső besugárzó csatorna 85 tokpozíciójára kapott fluxusértékeket.

A belső csatornák fluxusai, mivel közelebb fekszenek a szabályozó rudakhoz, érzékenyebben függenek a rudak állásától, mint a távolabb fekvő külső csatornák. A 17 db csatorna közül a leggyengébb a XVIII^b jelű, melyet nemcsak a KK₂ rud árnyékol le, hanem a Cd-os csatorna is. /Megjegyzendő, hogy még így is jobb bármely külső csatornánál./

XIV. sz. táblázat

Csat	Pozíció	Φ_{1h} TOKBAN rel. egységek	Φ_{1h} TOKBAN egyre norm.	Csat	Pozíció	Φ_{1h} TOKBAN rel. egységek	Φ_{1h} TOKBAN egyre norm.	Csat	Pozíció	Φ_{1h} TOKBAN rel. egységek	Φ_{1h} TOKBAN egyre norm.	Csat	Pozíció	Φ_{1h} TOKBAN rel. egységek	Φ_{1h} TOKBAN egyre norm.
I. B	1.	29839	0,428	VI. B	1.	30889	0,426	XI. B	1.	34780	0,454	XVII. B	1.	31588	0,433
	2.	51451	0,738		2.	54309	0,749		2.	57840	0,755		2.	50880	0,778
	3.	69718	1		3.	72509	1,000		3.	76609	1,000		3.	65399	1,000
	4.	71879	1,031		4.	72001	0,993		4.	75383	0,984		4.	66445	1,016
	5.	47060	0,675		5.	45391	0,626		5.	49030	0,640		5.	44667	0,683
II. B	1.	33296	0,441	VII. B	1.	33095	0,432	XII. B	1.	32228	0,436	XVIII. B	1.		
	2.	57229	0,758		2.	56766	0,741		2.	57729	0,781		2.		
	3.	75500	1		3.	76608	1,000		3.	73917	1,000		3.	Cd-os csatorna	
	4.	72631	0,962		4.	78370	1,023		4.	70369	0,952		4.		
	5.	47490	0,629		5.	48110	0,628		5.	45311	0,613		5.		
III. B	1.	32508	0,434	VIII. B	1.	35272	0,455	XIII. B	1.	34666	0,471	XIX. B	1.	25413	0,438
	2.	57001	0,761		2.	59071	0,762		2.	57408	0,780		2.	45024	0,776
	3.	74903	1		3.	77521	1,000		3.	73600	1,000		3.	58021	1,000
	4.	72056	0,962		4.	79692	1,028		4.	73379	0,997		4.	63823	1,100
	5.	51234	0,684		5.	51164	0,660		5.	48061	0,653		5.	41833	0,721
IV. B	1.	32094	0,442	IX. B	1.	30008	0,419	XIV. B	1.	32966	0,463				
	2.	55329	0,762		2.	54144	0,756		2.	54753	0,769				
	3.	72611	1,000		3.	71619	1,000		3.	71201	1,000				
	4.	71594	0,980		4.	73553	1,027		4.	70845	0,995				
	5.	46761	0,644		5.	48701	0,680		5.	49698	0,698				
V. B	1.	29040	0,409	X. B	1.	30012	0,418	XV. B	1.	30442	0,438				
	2.	52329	0,737		2.	53132	0,740		2.	54907	0,790				
	3.	71003	1,000		3.	71800	1,000		3.	69503	1,000				
	4.	74127	1,044		4.	73954	1,030		4.	69433	0,999				
	5.	48992	0,690		5.	46814	0,652		5.	46428	0,658				

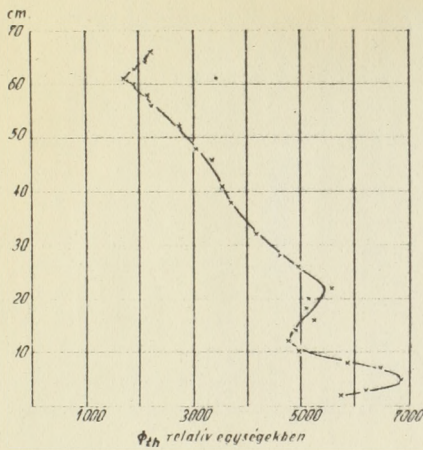
Hasonlóan a külső csatornához, a belső csatornák átlag fluxusértékei az öt tokpozícióra a következők:

I/ 0,440 II/ 0,760 III/ 1,000 IV/ 1,007 V/ 0,661
 31629 rel.egys./ 54633 r.e. 72885 r.e. 72338 r.e. 47516 r.e.

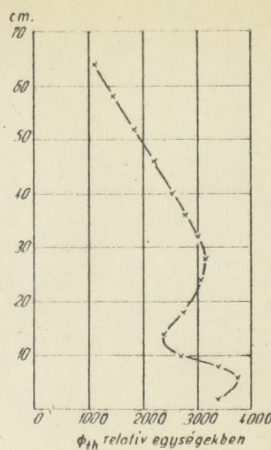
Az axiális eloszlásokból kifolyólag a külső csatornák 80 db tokpozíciójának átlagfluxusa a maximális fluxusértékeknek csak 0,738-szorosa, vagyis 38700 rel.egység. A 17 db belső besugárzó csatorna 85 tokpozíciójának átlagfluxusa pedig a 71885 rel. egység, a maximális fluxusértéknek 0,774-szerese, vagyis 55639 rel. egység. Mint láthatjuk, a belső besugárzó csatornában az öt tokra számított átlagfluxus 43,5 %-kal magasabb, mint ugyanaz a külső csatornában. Mivel jelenleg nincs nagyobb igény, mint 80 besugárzó tokhely, ezért célszerű az axiális eloszlásból eredő veszteséget csökkenteni azáltal, hogy az öt tokpozíciót úgy választjuk meg, hogy ez a belső besugárzó csatornák 2., 3. és 4. pozíciója, továbbá a külső csatornák 3. 4. pozíciója legyen. Ezáltal az öt tokra átlagolt fluxusérték 60540 rel.egységre emelhető, ami a külső csatornák 80 tokpozíciójához tartozó 38700 rel.egységhez képest 56. %-os fluxusnövekedést eredményez és egész zónára vonatkozóan.

A két termikus csőposta csatorna makettjét úgy alakítottuk ki, hogy a két szélső cella alsó fele vizes, felette száraz volt, míg a középső /a két csőposta kiszolgálását szolgáló levegő elvezetésére fenntartott/ cella 1/3 része teljes magasságban plexivel volt kitöltve, az elhelyezendő két levegős cső közötti viz modellezésére. A két csőposta fluxusa /a középsikban/ 63502 rel.egység volt.

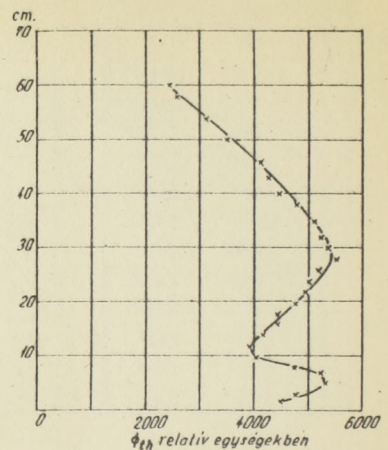
A továbbiakban szükségünk lesz a fűtőelemekben mért axiális fluxus-eloszlásokra. Ezért az aktív zóna néhány pontjában megmértük azt és illusztrációként közlünk három eloszlásgörbét, az I/0,1/, III/3,3/ és III/3,4/ fűtőelem pozíciókra vonatkozólag. /38., 39. és 40.sz. ábrák./



38.sz. ábra



39.sz. ábra



40.sz. ábra

axiális termikus neutronfluxus eloszlás az I/0,1/ helyen lévő fűtőelemben. $N_F = 82$.

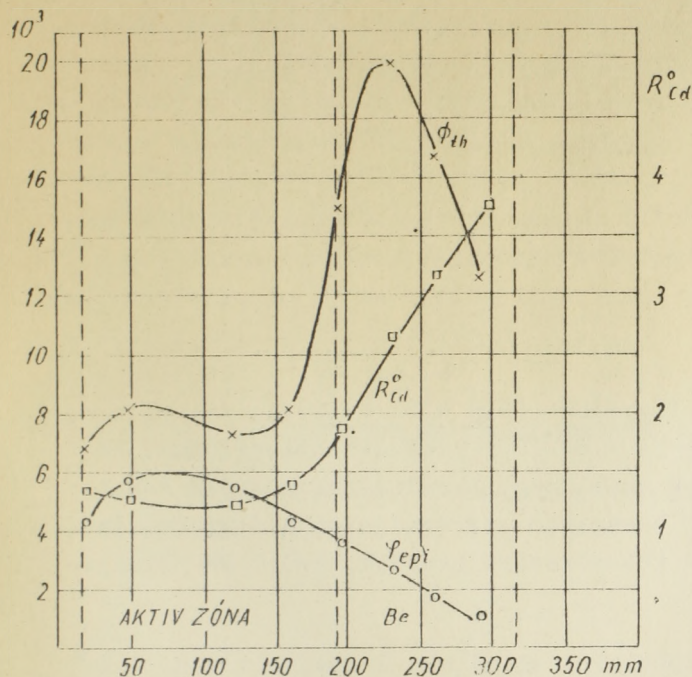
a III/3,3/ helyen lévő fűtőelemben $N_F = 82$.

a III/3,4/ helyen lévő fűtőelemben. $N_F = 82$.

/A fenti görbék értékei nincsenek egymáshoz normálva./ A magasságot az alsó Al rácstól számítottuk. Megfigyelhető, hogyan csökken az alsó reflektor maximum az axiális eloszlásgörbe maximumához viszonyítva az aktív zóna közepétől a perifériájáig haladva. Ez az érték a leengedett K rud és a BV rud vizes csatornája közötti fűtőelemen I/0,1/ még 1,29, az aktív zóna perifériáján pedig már csak 0,97,

Mivel a VVR-SzM reaktorban termikus neutronfluxust Au fóliapárral /csupasz és kadmium borítású/ mérünk, annak ellenőrzésére, hogy a Dy és Au aktivációs hatáskeresztmetszet eloszlás különbsége okoz-e valami eltérést, megmértük az aá tengelyen az epitermikus neutronfluxus eloszlást a zóna középsikjában Au fóliapárral is a fűtőelem, valamint a Be kiszorítók falain. A mérésekhez 100 mg/cm² vastagságu 99,99 % tisztaságu Au fóliákat és az epitermikus hányad szétválasztására 0,5 mm vastagságu Cd borítást alkalmaztunk. A relativ termikus, az egységnyi lnE intervallumhoz tartozó epitermikus ne-

utronfluxus. valamint a nulla vastagságu Au fóliára korrigált kadmium viszony R_{Cd}^0 eloszlásgörbékét a 41. sz. ábrán tüntettük fel.



41.sz. ábra: ϕ_{th} , $\frac{1}{\phi_{epi}}$, valamint R_{Cd}^0 eloszlás az aá tengely mentén. $N_F = 82$.

relativ egységekben adtuk meg. Próbáljuk megbecsülni ezek abszolút értékeit, ill. az induláshoz szükséges reaktorteljesítményt. A VVR-Sz reaktorban a 18 besugárzó csatorna maximális fluxusu helyeinek átlagfluxusa $2,25 \cdot 10^{13}$ n/cm². sec.volt. A 18 besugárzó csatornába 66 db besugárzó tokot lehetett elhelyezni $1,79 \cdot 10^{13}$ n/cm² sec tok átlagfluxussal.

A reaktorteljesítmény a termikus neutronfluxussal a következő összefüggésben áll:

$$P \text{ watt} = \frac{\sigma_f N V \bar{\phi}}{3,1 \cdot 10^{10}} = \frac{582 \cdot 10^{-24} \cdot 6,023 \cdot 3180}{235,3 \cdot 1 \cdot 10^{10}} \bar{\phi}$$

- ahol P - reaktorteljesítmény wattban
 σ_f - mikroszkópikus fissziós hatáskeresztmetszet barnban
 N - A U^{235} magok száma cm³-ként
 V - az U^{235} töltet térfogata cm³
 $\bar{\phi}$ - az aktív zónára átlagolt termikus neutronfluxus.

Összehasonlítva a 37.sz. ábrán közölt Au fóliapárral mért ϕ_{th} eloszlásgörbét a 35.sz. ábrával /ugyanaz az eloszlás Dy-mal mérve/, jó egyezést kaptunk. A III^B, VI^B és VII^B csatornában történt mérések alapján megállapíthatjuk, hogy a zérus arany fóliavastagságra extrapolált kadmium viszony a felső tokban 1,8-ról az alsó tokig 3,0-ra változik. /Összehasonlítva a VVR-Sz reaktor besugárzó csatornáiban mért kadmium viszonytal, az új zónában mért értékek mintegy 25 %-kal alacsonyabbak. Az új aktív zóna spektruma keményebb és a belső csatornák közel vannak az aktív zónához./

Az eddigiek során minden fluxusértéket azonosan normált

Az átlagfluxus tehát:

$$\bar{\phi} = \frac{P}{1,5349 \cdot 10^{-7}} = n/cm^2 \cdot sec$$

1 MW reaktorteljesítményhez tartozó átlagfluxus 82 fűtőelem esetén:

$$\bar{\phi} = 0,65 \cdot 10^{13} n/cm^2 \cdot sec.$$

Feltéve, hogy a $\bar{\phi}_{csatorna} / \bar{\phi}_{zóna}$ viszony a reaktorteljesítménytől független, belátható, hogy ha az új aktív zónában a 17 db belső csatorna maximális fluxusátlaga $4,5 \cdot 10^{13} n/cm^2 \cdot sec$ lesz /tervezett érték/ ami a mi egységeinkben 71885 rel.egység, úgy 1 rel.egység = $6,26 \cdot 10^8 n/cm^2 \cdot sec$. A fűtőelem közép-síkjában az átlagos termikus neutronfluxus 36791 rel.egység. A fűtőelemekben mért axiális fluxuseloszlásokat is figyelembevéve a 82 fűtőelem átlagfluxusa $36791 \cdot 0,900 \div 33112$ rel.egység, vagyis $2,07 \cdot 10^{13} n/cm^2 \cdot sec$ átlagfluxus. Ez $2,07/0,67 = 3,2$ MW hőteljesítménynek felel meg. Becsléseink alapján tehát ahhoz, hogy az induló zóna 17 belső besugárzó csatornájában a fluxusmaximumok átlagát a régihez viszonyítva a kétszeresére emeljük, 3-3,5 MW hőteljesítmény szükséges.*

Ha a csatornánkénti öt tokpozíciót az általunk javasolt módon választjuk meg /3+2/, úgy mint irtuk a tokonkénti fluxusátlag 60540 rel.egység, vagyis $3,80 \cdot 10^{13} n/cm^2 \cdot sec \cdot tok$. Ez a régi tokátlagnak 2,12 -szerese.

A 82 fűtőelemes zóna reaktivitás adatainak megismerése céljából az Aut. és SzK rud kalibrációján keresztül megmértük az összes rud értékességét:

XV. táblázat

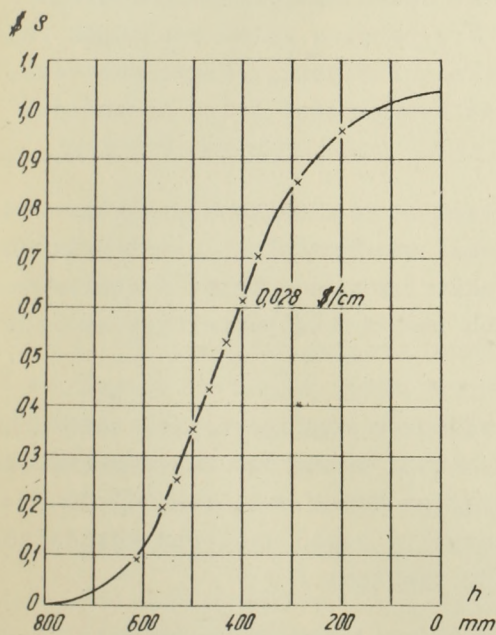
A rúd jele	Aut.		SzK		KK-1	KK-2	KK-3	K	BV-3
	\$	\$/cm	\$	\$/cm	\$	\$	\$	\$	\$
Szuperkrit.	1,034	0,028	3,84	0,096	3,92	3,72	3,79	5,9	5,77
	<u>1KK-1/</u>							<u>/BV-3/</u>	<u>/K+KK-3/</u>
									5,2
									<u>/K+KK-3/</u>
	1,2							4,65	3,81
	<u>1KK-1/</u>							<u>/BV-3/</u>	<u>/K+KK-3/</u>

* Megjegyezzük, hogy a VVR-SzK reaktor a valóságban 3,2 MW hőteljesítmény mellett érte el a tervezett fluxusértéket.

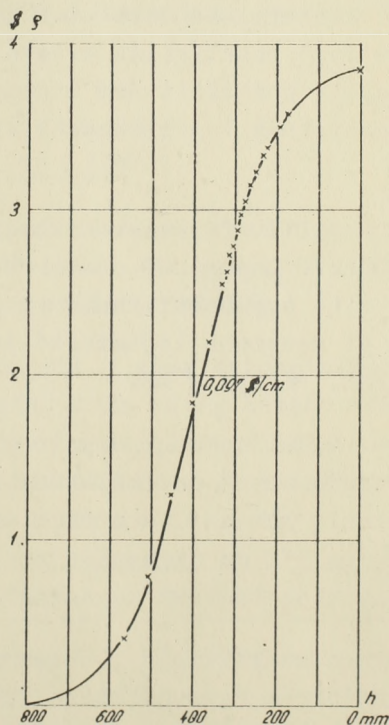
E zónakonfiguráción az Aut., K és BV-3 rudak esetében interferencia mérést is végeztünk. Az Aut. rud értékségét a mellette elhelyezkedő KK-1 rud leengedett és felhuzott állapotánál is megmértük. /A K rud azonban ekkor végig alsó végállásban volt./ Ez esetben a rudinterferencia 16 %-kal csökkenti az Aut. rud értékségét. A központi K rud értékét már 31 %-kal csökkentheti a mellette elhelyezkedő BV-3 rud. A biztonságvédelmi rud értékségét három rudkonfigurációnál mértük: 1./ a K és KK₃ rudak fent, 2./ K fent és KK₃ lent, 3./ K és KK₃ lent. Mint látható, a BV₃ rud értéke 10 %-kal csökken a KK ruddal interferálva, a K és KK₃ rud leengedett állapotnál pedig a rud értékségének csökkenése közel 32 %.

A zóna szélén szimmetrikusan elhelyezkedő KK₁₋₃ és SzK rudak értéksége a hibahatáron belül azonosak. A kalibrált rudak értéke alapján a 82 fűtőelem zóna beépített reaktivitás tartaléka 2 db száraz BV rudcsatornával 15,3 \$. /A zónában nem volt kadmiumos csatorna./

Az automata és SzK rudak integrális jelleggörbéjét a 42. sz. és 43. sz. ábrán tüntettük fel.



42.sz. ábra: Az automata rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 82$



43.sz. ábra: Az SzK rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 82$

A 18 db belső besugárzó csatornával rendelkező 82 fűtőelemes indu-
ló zónával kapcsolatban felvetődött az üzem közbeni tokmanipulációkkal járó
reaktivitás változások problémája. Ebből a szempontból elsősorban a belső
csatornák jönnek számításba /a fluxusmérés szerint is csak a belső csator-
nában különböznek az értékek tokban, vagy vízben mérve/, ezért megmértük az
ide helyezett /ólommal nehezített/ levegős tokok által okozott reaktivitás
változást. A hatszög alakú zóna minden éle mentén egy-egy csatornát töltöttünk
meg 5-5 db levegős tokkal, ez $+ 0,72 \text{ \$}$ reaktivitásváltozással járt, vagyis
csatornánként $+ 0,12 \text{ \$}$. Tehát ha minden belső csatornába 5 db besugárzó tok
kerülne, ez $\approx 2 \text{ \$}$ -ral növelné a zóna reaktivitás-tartalékát. A víz kiszori-
tásának reaktivitást növelő hatását az magyarázza, hogy a besugárzó tokok ki-
szorítják a berilliumhoz képest nagy abszorpciós hatáskeresztmetszettel ren-
delkező vizet a fűtőelemek és a Be reflektor határán és így a Be reflektor
zónához való csatolása javul. Mivel a besugárzó tokok legnagyobb része nagyon
kis mennyiségű abszorbenst /néhány mg./ tartalmaz, ezért közel 2 dollár
reaktivitás növeli a zóna reaktivitástartalékát. Egy tok kivétele maximálisan
 $\approx 0,04 \text{ \$}$ reaktivitásváltozást okoz, melyet az automata rud jól tud követni.
Mivel a belső besugárzó csatornába csak 3 db tokot kívánunk elhelyezni, cél-
szerű az alsó tokhelyre Be dugót helyezni. Ez 17 csatornára vonatkoztatva
 $+ 0,5 \text{ \$}$ reaktivitás többletet jelent. A 16 db külső csatornába helyezett
80 db Be dugó reaktivitás értékesége $0,34 \text{ \$}$, tehát a külső csatornák fel-
nem használt pozícióit nem érdemes Be dugókkal kitölteni. /Figyelembevétel,
hogy a csatornák legértékesebb két pozícióját besugárzási célra használjuk
fel./

A III. fejezetben közölt mérések szerint a közvetlen az aktív zóna
határán fekvő besugárzó csatorna csupán 7 %-kal ad magasabb fluxust /vízben
mérve/, mint egy berilliumsorral távolabb fekvő csatorna. Tehát a csatorna
egy sorral messzebb léptethető és akkor újabb reaktivitástartalékot szabadít-
hatunk fel, $\approx 2,5 \text{ \$}$ -t.

Mivel tokmanipuláció üzem közben mágneses megfogó fejjel történik,
/mely rozsdamentes acélból készül/ szükséges tudni a megfogó fej reaktivitás-
ra gyakorolt hatását. A mérést az eredeti megfogó fejet helyettesítő 30 mm
átmérőjű és 270 mm magasságú acélruddal végeztük a belső csatorna különböző
tokpozíciókhoz tartozó magasságban. /XVI .sz. táblázat./

A reaktivitás többlet növelésének további módja lehet belső besu-
gárzó csatornák megszüntetése fűtőelem behelyezése által. A XVI^B - XVIII^B
csatornák viszonylag alacsony fluxusu helyek, ezek megszüntetése jön először
számításba. Itt egy fűtőelem $0,61 \text{ \$}$ értékességű, Be-hoz viszonyítva $0,30 \text{ \$}$
A külső Be rétegben, három cella helyén kialakított termikus besugárzó hely
/csőposta modell/ reaktivitás értékesége $0,22 \text{ \$}$.

XVI. sz. táblázat

Helyzete	A m e g f o g ó f e j	
	aljának a fenéktől mért távolsága mm.	reaktivitás hatása
A besugárzó csatorna fenékén	0	-0,27
A megfogó fej alatt egy Be dugó	130	-0,46
A megfogó fej alatt egy Be dugó + egy tok	255	-0,42
A megfogó fej alatt egy Be dugó + két tok	380	-0,22
A megfogó fej alatt egy Be dugó + három tok	505	-0,07

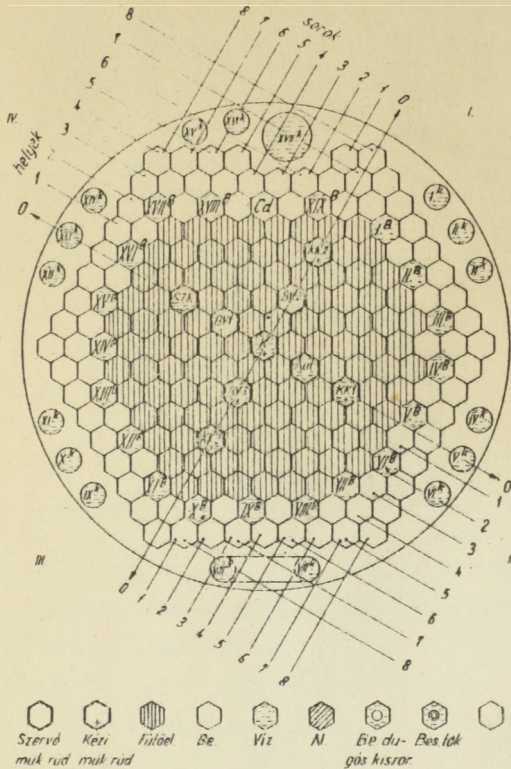
A reaktivitás-méréseket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a tárgyalta $N_F = 82$ -es zóna megfelel a fejezet elején ismertetett kívánalmaknak és a fluxusadatait is figyelembevéve a leginkább alkalmasnak mutatkozik üzemszerű megvalósításra. Kellő reaktivitás többlettel rendelkezik, amely szükség esetén növelhető nagyobb átrendezés és besugárzási kapacitás csökkenése nélkül.

VI. Reaktivitástartalékkal rendelkező zóna $N_F = 107$

Becslést kellett végeznünk arra vonatkozóan, hogy az egy éves üzemsíklyus után, ha 107 fűtelemre emeljük a zónatöltetet /44.sz. ábra/ hogyan alakulnak a fluxusviszonyok, ill. a zóna reaktivitástartaléka.

E zónakonfiguráció esetén már megbomlott a zóna szimmetriája. A belső besugárzó csatornák száma eggyel gyarapodott. A Be réteg tovább csökkent /effektív vastagsága már csak 8,8 cm./, ami ilyen vastagság mellett már a fluxusviszonyok romlásához vezet. A belső csatornák kezdenek elértéktelenedni és fluxusértékei közelednek a külső csatornák értékeihez:

	v i z b e n	t o k b a n
$\bar{\phi}_{th}$ 19 db belső csatorna	75040 rel.egység	53492 rel.egység
$\bar{\phi}_{th}$ 16 db külső csatorna	49960 rel.egység	46790 rel.egység

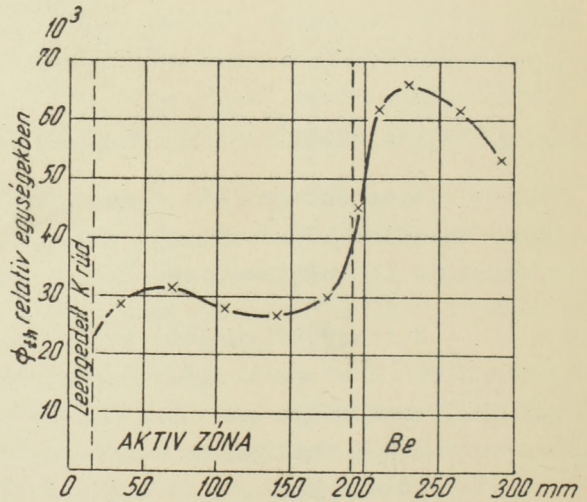


44.sz. ábra: Zónakonfiguráció $N_F=107$.
 KK_{1-3} , $K = BV_3 = \text{lent}$.
 $SzK = 485 \text{ mm}$, $Aut. = 399 \text{ mm}$.

A vízszintes kísérleti csatornák számára igen fontos $\phi_{th} - \phi_{gyors}$ viszony romlása várható e zónakonfigurációnál. Ennek oka, hogy a béryllium effektív vastagsága csökkent /itt már csak 8,8 cm/ a jelenségre pedig az alábbi tapasztalatokból lehet következtetni. A 82 fűtőelemes zónában a fluxus és reaktivitásértékek szempontjából indifferens volt, hogy a külső besugárzó csatornában tokok vannak-e, vagy azokat víz tölti ki. Ez arra enged következtetni, hogy a víz ilyen vastag Be réteggel távol az aktív zónától kb. megfelelő mértékben moderátora és abszorbensé a neutronoknak. Az $N_F=107$ -

Mint láthatjuk, e zónakonfiguráció esetén már a külső csatornában is magasabb a fluxus értéke vízben, mint tokban mérve. A belső besugárzó csatornában a fluxuscsökkenés tokban erőteljesebb /29 %/, mint a 82 fűtőelemes zónában, a külső csatornában csak 6 %. Az V. fejezetben használt becslés szerint számítva, a kétszeres csatorna maximum átlagfluxus $/4,5 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}/$ eléréséhez kb. 4,8 - 5,0 MW hőteljesítmény szükséges.

Az a tengely mentén mért fluxuseloszlás a 45. ábrán látható. Az eloszlásgörbe egyenletesebbé vált, de a reflektor maximum és az aktív zóna átlagfluxusának viszonya romlott, 2,1-szeres.



45.sz. ábra: Termikus neutronfluxus eloszlás az a tengely mentén.
 $N_F = 107$.

es zóna külső csatornáiban, a vízben mért neutronfluxus már valamelyest nagyobb a tokban mérténél, vagyis itt a víz kezd "értékes" lenni, tehát ϕ_{th}/ϕ_{gy} érték feltétlenül kisebb, mint az $N_F = 82$ -es zónánál.^{x/}

A 107 fűtőelemes zóna reaktivitástartalékát a teljes $KK_{1-3}-K$, BV_3 , valamint az SzK és Aut. rudaknak valamivel több, mint a fele kötötte le. Hogy a kalibrálandó rudat teljesen ki tudjuk húzni, 2 db pót-bórkarbid ruda használtunk a kalibrációkor, melyeket a III^k és $VIII^k$ külső besugárzó csatornában helyeztünk el. Ezért a rud interferencia hatása e zóna esetében a legjelentősebb. /Ez esetben nem tudtunk becslést végezni ennek mértékéről./ A rudak kalibrációjából kapott értékeket a XVI. táblázatban foglaltuk össze.

XVI. sz. táblázat

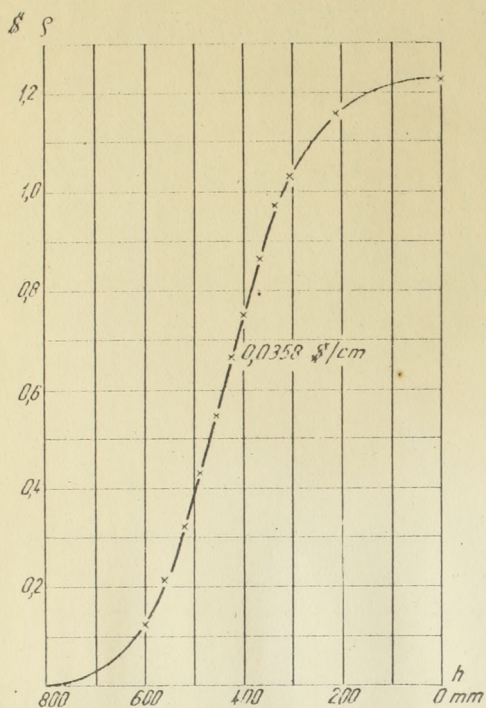
A rúd jele A mérés tipusa	Aut.		Szk		KK_1	KK_2	KK_3	K	BV_3
	\$	\$/cm	\$	\$/cm	\$	\$	\$	\$	\$
Szuperkrit.	1,23	0,036	5,6	0,125	5,2	4,55	3,64	5,56	4,52

A rudinterferencia hatással magyarázható, hogy az azonos sugaron fekvő rudak között jelentős eltérés mutatkozik. Például a $KK-3$ rud értéke azért tér el annyira a vele szimmetrikusan fekvő rudak értékétől, mert a $BV-3$ rud besüllyesztett állapotban volt.

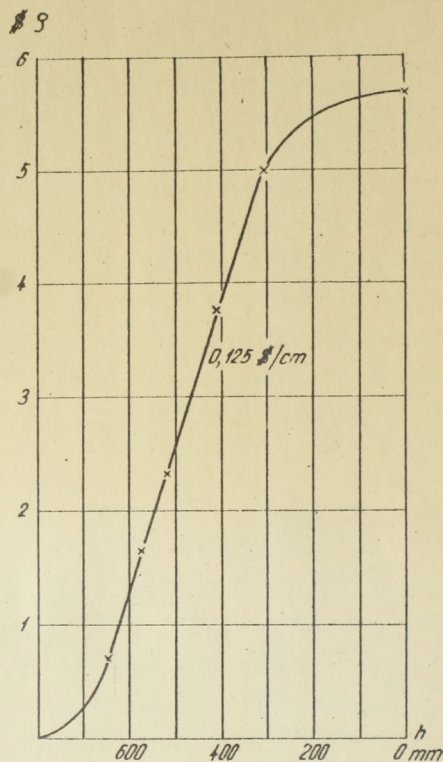
A másik szembevetendő jelenség, hogy a rudak értékessége általában magasabb, mint az előző zónakonfiguráció esetében.

Az automata és SzK rudak integrális jelleggörbéjét a 46.sz. és a 47.sz. ábrákon tüntettük fel.

^{x/} A vízszintes csatornák ϕ_{th}/ϕ_{gyors} viszony javításának módozatát keresve, kísérleteket végeztünk tangenciális csatornák létesítésére berillium és grafit alsó reflektor mellett. [6]. E mérések azt mutatták, hogy a 82 fűtőelem típusu zónák ϕ_{th}/ϕ_{gyors} viszonya kb. ötször magasabb, mint a 107 fűtőelem típusu zónánál.



46.sz. ábra: Az automata rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 107$.



47.sz. ábra: Az SzK rud integrális jelleggörbéje. $N_F = 107$.

A kalibrált rudak alapján meghatározva a beépített reaktivitás $27 \text{ \$}$. Ha figyelembe vesszük, hogy a 82 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka /egyaránt 2 db száraz rudcsatornával és a kadmium csatornával/ $14,8 \text{ \$}$, ez azt jelenti, hogy a bevitt 25 db fűtőelem $12,2 \text{ \$}$ -ral emelte a zóna reaktivitástartalékát. Ez fűtőelemenként $0,488 \text{ \$}$ reaktivitás értékességet jelent. Ez nagyon eltér előző méréseinktől, ahol a 66 fűtőelemes zónában egy fűtőelem berilliumhoz viszonyított értékessége $0,56 \text{ \$}$, a 82 fűtőelemes zónában ugyanez $0,30 \text{ \$}$. A 107 fűtőelemes zónában fűtőelem értékességet nem mérünk, de a Be rétegvastagság további csökkenése miatt $0,20 - 0,25 \text{ \$}$ -t tételezne fel fűtőelemenként, a zóna reaktivitástartaléka csak kb. $19-21 \text{ \$}$.

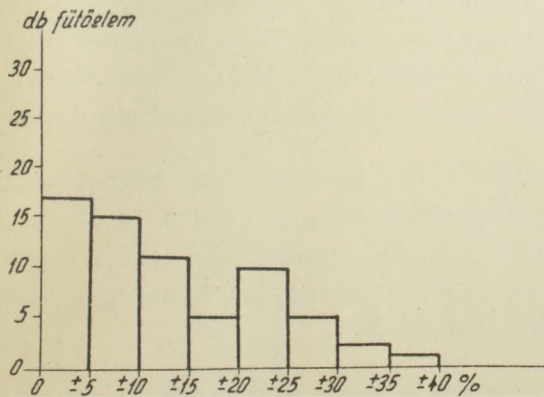
E nagy anomáliát két ok magyarázhatja: egyrészt a rudinterferencia, másrészt az, hogy a különböző vastagságú Be reflektorral rendelkező zónák esetében különböző hibát viszünk be azáltal, hogy mindvégig a vizes zónáknál használatos $\rho = f/T_{2x}$ táblázatot használtunk. /A különböző rétegvastagsághoz tartozó Be korrekció vizsgálatát célszerű további vizsgálat tárgyává tenni./

Most térjünk vissza arra, hogy az V. pont bevezetőjében említett induló üzemi zónakonfiguráció kiválasztását meghatározó szempontoknak hogyan

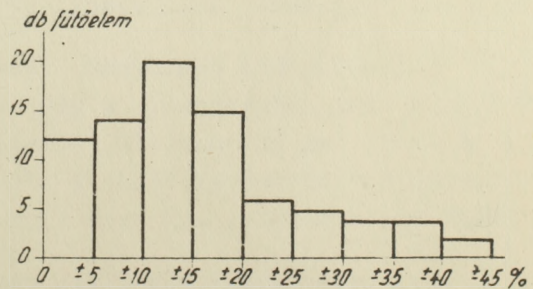
tesz eleget az $N_F = 82$ zónakonfiguráció. Az eddig ismerttetett mérésekből látható, hogy a zóna 82 fűtőelemen tuli növelésekor a belső besugárzó csatornák kezdenek elértéktelenedni s a kívánt termikus neutronfluxus szint csak a reaktor teljesítmény növelésével érhető el. A 18 db belső csatorna alkalmazása /16 db külső csatorna mellett/ lehetővé tette, hogy a csatornákat a reflektor maximumban helyezzük el, valamint a csatornánkénti axiális fluxuseloszlás rossz kihasználhatóságából eredő veszteséget csökkentjük a belső és külső csatornák maximális helyeinek kihasználásával. Mint láttuk, az $N_F = 66$ és $N_F = 107$ típusu zónákhoz viszonyítva a 82 fűtőelemes zónakonfiguráció esetén 57 %-kal kisebb reaktorteljesítmény mellett tudjuk biztosítani a kívánt termikus neutronfluxus-értékét.

A 82 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka /kadmiumos csatornával és 2 db száraz rudcsatornával /14,8 \$^x/. Ha számításba vesszük a 2 db rudcsatorna vízzé tételét, úgy a reaktivitástartalékunk kb. 16 - 16,5 \$. Ha pesszimális becslésünk alapján 3,5 MW reaktorteljesítménynél a stationer mérgeződésre 4 \$ -t számítunk, úgy a zóna reaktivitástartaléka egy éves üzemtet tud biztosítani.

Az aktív zóna geometriailag teljesen szimmetrikus, hatszög alakú, tömör zóna. Ez sokkal egyenletesebb kiégést biztosít, mint az általunk vizsgált többi, üzemi reaktivitástartalékkal rendelkező zónakonfigurációk. Elfogadva azt a közelítést, hogy a fűtőelem középpontjában mért fluxusérték azonos a fűtőelem cella átlagfluxusával, megvizsgáltuk a fűtőelem terhelésének eloszlását a különböző zónakonfiguráción. A fűtőelemek középpontjában mért fluxusértékekből átlagot képeztünk, és a fűtőelem darabszámot ez átlagtól való eltérés függvényében ábrázoltuk diagrammok formájában sorra az $N_F = 66$, $N_F = 92-4 \times 3 = 80$, $N_F = 82$, $N_F = 107$ -es zónák esetére. /48.sz.-51.sz. ábrák./

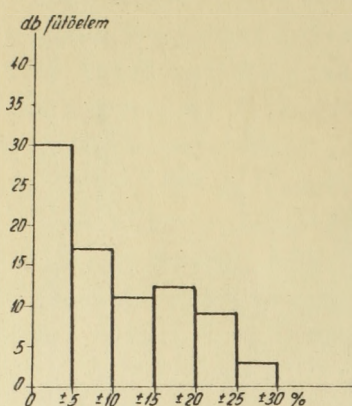


48.sz. ábra: Fűtőelem mennyiség ábrázolása az átlagfluxustól való eltérés függvényében. $N_F = 66$.

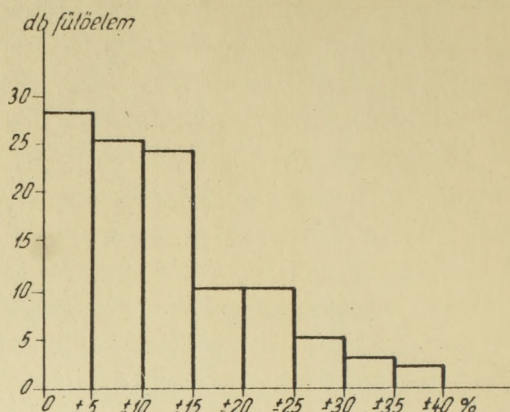


49.sz. ábra: Fűtőelem mennyiség ábrázolása az átlagtól való eltérés függvényében. $N_F = 92-4 \times 3 = 80$.

X Itt nem vettük figyelembe sem a besugárzó tokok, sem a Be dugók által bevitt pozitív reaktivitást.



50.sz. ábra: Fűtőelem mennyiség ábrázolása az átlagfluxustól való eltérés függvényében. $N_F = 82$.



51.sz. ábra: Fűtőelem mennyiség ábrázolása az átlagtól való eltérés függvényében. $N_F = 107$.

Mint látható, az $N_F = 82$ -es tömör zónakonfigurációhoz tartozik a legegyszerűsebb fűtőelem terhelés. A fűtőelemek 57 %-ában a fluxus az átlagértéktől ± 10 %-nál kevesebbet tér el és a maximális szórás sem több ± 30 %-nál. Az $N_F = 66$ -os zóna fluxusa azért egyenlőtlenebb, mert geometriailag nem szabályos zónakonfiguráció, az $N_F = 92-4 \times 3 = 80$ -as zónát pedig a vizlyukak teszik egyenlőtlenné. Az $N_F = 107$ -es zóna közel azonos a 82 fűtőelemes zónával /terhelés szempontjából/ a nagyobb szórást az magyarázza, hogy a nagy reaktivitástartalék lekötéséhez több abszorbens rudra van szükségünk. /Meggjegyezzük, hogy ha egy évi üzemciklus után hozzuk létre a 107 fűtőelemes zónát, úgy a kiegészítés és mérgeződés miatt akkor már a szokásos rudmennyiség is le tudja kötni a reaktivitástartalékot; tehát az egyenlőtlenség kisebb lesz./ Ezek a diagrammok természetesen nem veszik figyelembe a nagy termikus neutronfluxus gradiensű helyeken fekvő fűtőelemek lokális terhelését, pl. a fűtőelem Be, vagy belső vizlyuk- fűtőelem határon. A fűtőelem- Be határan fekvő fűtőelemek külső és belső lapjain mért termikus neutronfluxus viszonya 1,8-2 értékű. A fűtőelem gazdálkodás során az egyenlőtlenebb kiegészítés biztosítása érdekében ezt figyelembe kell venni. /Pl. a fűtőelemek időnkénti forgatásával./

A besugárzó csatornák létesítésekor 1 db Be kiszorító kivételével $\approx 0,30$ \$-ral csökkentette a zóna reaktivitástartalékát, vagyis a 18 db 5,4 \$-ral, ami kb. megfelel a legértékesebb rud /K/ értékességének. A belső csatornák létesítésével tehát a zónasugár növekedett s ezáltal közelebb került a külső csatornához, így azok fluxusértékei javultak.

A belső vizlyukas zónák esetében problémát okoz a vizlyuk helyének kiválasztása. Ha azt a szabályozó rudhoz közel helyezük el, csökkenti annak értékességét, ha az aktív zóna perifériáján, úgy megszívja a belső besugárzó csatornák fluxusait.

Köszönetünket fejezzük ki Szabó Ferenc, Várkonyi Lajos, Turi László, Gyimesi Zoltán, Pálfalvi Lajos elvtársaknak a mérések során nyújtott elvi és gyakorlati segítségükért. Köszönet illeti a mérések lebonyolításában közreműködő kollégákat: Szép L., Vizdos G., Goda L., Szalánczy N., Halmos L.-né elvtársakat. A mérő berendezések üzembehelyezésénél, üzemeltetésénél kifejtett tevékenységéért Bollók Lajost és munkatársait illeti köszönet. A mérések kiértékelésében a rajzok készítésében Valko J., Vuics L.-né, Scholtz K. Dávid F.-né volt segítségünkre, akiknek ezuton köszönjük meg fáradozásukat.

Végezetül mindazon fel nem sorolt munkatársaknak, akik a munkánkban segítségünkre voltak ezuton tolmácsoljuk köszönetünket.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Wassermoderiertes kritisches System Typ ZR-1, 1961.
Z. Gyimesi, F. Szabó, E. Zobor, E. Fóti, L. Turi und L. Muzsnai
- [2] Instrumentierung und Steuersystem des Atomreaktors ZR-4.
L. Bollók, F. Lévai, F. Szabó, P. Pellionis, F. Szigeti, F. Szlávik,
E. Zobor
Atompraxis megjelenés alatt.
- [3] Исследовательские тепловые реакторы. Л.И. Рисунев и др. II. между-
народная конференция по миру использованию атомной энергии. Доклад
советских ученых. 2. том. 1959.
- [4] Нейтронные потоки, рассчитанные по методу Весткота в активной зоне
реактора ВВР-С Л. Франкл.
Budapesti Reaktorkonferencia 1965.
- [5] Исследование решетки критической системы на обобщенном уране,
замедлитель-обычная вода. Ф. Сабо. III. Международная конференция
по миру использованию атомной энергии.
- [6] Frankl L., Szabó F., Várkonyi L.: Zóna felemelésével képzett tan-
genciális csatorna vizsgálata.
/Publikáció alatt/.
- [7] Критические опыты на стенде ВВР-М. Коноплев и др. Ленинград 1961.
- [8] Gyimesi Z.: Rossi- α Measurements on the ZR-3 Critical Assembly
Nukleonika. /Publikáció alatt./

Kiadja a KFKI Könyvtár- és Kiadói Osztály

o.v.: dr. Farkas Istvánné

Lektor: Gyimesi Zoltán

Példányszám: 110

Munkaszám: KFKI 3227 Budapest, 1967. nov. 15.

Készült a KFKI házi sokszorosítójában

F.v.: Gyenes Imre

G1.769

