

27002

F51  
E 20

TK 64572

KFKI-1978-72

GADÓ J.

A VVER-440 TÍPUSÚ ATOMERŐMŰVI REAKTOROK  
SZÁMÍTÁSÁRA KÉSZÜLT BIPR PROGRAM  
ISMERTETÉSE

*Hungarian Academy of Sciences*

CENTRAL  
RESEARCH  
INSTITUTE FOR  
PHYSICS

1979 MAR 23



BUDAPEST

2017

ABSTRACT

The computer program BIPR was developed in the Kurchatov Institute for Atomic Energy, Moscow, in order to perform physical calculations of the VVER-440 type power station blocks. The program has been adapted for the R-40 computer of KFKI, Budapest, and it will be widely used for the calculation of the Laks Atomic Power Plant blocks. On the basis of the earlier published Soviet reports this report has been prepared in Hungarian to help the forthcoming users of the BIPR program.

## A VVER-440 TÍPUSÚ ATOMERŐMŰVI REAKTOROK SZÁMÍTÁSÁRA KÉSZÜLT BIPR PROGRAM ISMERTETÉSE

Gadó János

Központi Fizikai Kutató Intézet  
H-1525. Budapest, pf. 49.

ABSTRACT

The computer program BIPR was developed in the Kurchatov Institute for Atomic Energy, Moscow, in order to perform physical calculations of the VVER-440 type power station blocks. The program has been adapted for the R-40 computer of KFKI, Budapest, and it will be widely used for the calculation of the Laks Atomic Power Plant blocks. On the basis of the earlier published Soviet reports this report has been prepared in Hungarian to help the forthcoming users of the BIPR program.

KIVONAT

A BIPR számítógépes programot a Kurchatov Atomenergia Intézetében készítették a VVER-440 típusú blokkok fizikai számítására. A programot, amelyet adaptáltak a KFKI R-40 számítógépre, széles körben fogják használni a Laks Atomerőművi blokkok számítására. Az eddig megjelent orosz jelentések alapján elkészítettük ezt a jelentést magyar nyelvre fordítva, hogy elősegítsük a BIPR program használatát.

HU ISSN 0368 5330  
ISBN 963 371 459 1

## ABSTRACT

The computer programme BIPR was elaborated in the Kurchatov Institute for Atomic Energy, Moscow, in order to perform physical calculations of the VVER-440 type power station blocks. The programme has been adapted for the R-40 computer of KFKI, Budapest, and it will be widely used for the calculation of the Paks Atomic Power Plant blocks. On the basis of the earlier published Soviet reports this report has been prepared in Hungarian to help the forthcoming users of the BIPR programme.

## АННОТАЦИЯ

Программа БИПР была разработана в ИАЭ, Москва, для проведения физических расчетов блоков АЭС типа ВВЭР-440. Программа была адаптирована на ЭВМ типа Р-40 в ЦИФИ, Будапешт, и она будет использоваться в широком диапазоне при расчетах блоков АЭС Пакш. На основе ранее опубликованных советских отчетов настоящий отчет был подготовлен на венгерском языке, помогая работу будущих пользователей программы БИПР.

## KIVONAT

A BIPR számítógépi program a moszkvai Kurcsatov Atomenergia Intézetben készült a VVER-440 típusu atomerőművi blokkok fizikai számítására. A programot, amelyet adaptáltunk a KFKI R-40 számítógépére, széleskörűen fel fogják használni a Paksi Atomerőmű blokkjaival kapcsolatos számítások során. A korábban publikált szovjet reportok alapján elkészítettük a jelen magyar nyelvű reportot, hogy elősegítsük a BIPR program leendő felhasználóinak munkáját.

## 1. BEVEZETÉS

A BIPR program a VVER-440 típusu atomerőművek fizikai számítására készült a moszkvai Kurcsatov Atomenergia Intézetben. Ezt a programot sikeresen alkalmazzák az összes működő VVER-440 atomerőműnél és ez fogja alapját képezni a Paksi Atomerőmű első négy blokkjával kapcsolatos fizikai számításoknak. A programot a Kurcsatov Intézet szakemberei 1977. végén átadták, majd rövidesen működésbe hoztuk a KFKI R-40 számítógépén. Jóllehet a program használatához, illetve teljesítőképességének megítéléséhez az eredeti szovjet anyagok [1, 2, 3] elegendőnek tűnnek, a program várható több évtizedes felhasználása miatt célszerűnek látszott egy magyar nyelvű programleírás és felhasználói összefoglaló elkészítése. Jelen munka 2. fejezetében a BIPR program fizikai közelítéseit és megoldási módszereit ismertetjük, a 3. fejezetben a program jelenlegi változatában bennefoglalt, a különböző reaktivitás-tényezők kiszámítására szolgáló KR szubrutin-csoportot tárgyaljuk, végül a 4. fejezetben bizonyos, a felhasználók számára nélkülözhetetlen ismereteket közlünk. Noha az egyes fejezetek a megfelelő szovjet anyagokra épülnek, részben azokon túlmenő megjegyzéseket tartalmaznak, részben néhol csak utalnak az eredeti anyagokra, ezért az eredeti anyagok megismerése a program felhasználói számára nélkülözhetetlen. A jövőben részben a felhalmozódó felhasználói tapasztalat, részben a program szovjet részről való várható módosításai miatt jelen anyag valószínűleg kiegészítésekre és módosításokra szorul.

## 2. A BIPR PROGRAM FELADATA, KÖZELÍTÉSRENDSZERE ÉS AZ ÁLTALA KAPHATÓ EREDMÉNYEK

A VVER típusu termikus atomerőmű a szovjet tudomány és technika jól bevált, széleskörűen használt terméke. Mivel az atomerőmű tervezői nagy biztonságra és viszonylag egyszerű zónafelépítésre törekedtek, az erőmű reaktorának fizikai számítása egy aránylag könnyen kezelhető számítógépi programmal megoldható. Arról van szó ugyanis, hogy egyfelől az erőmű adott teljesítményszintje mellett általában elég távol vagyunk a biztonsági határoktól, így a számításokban elkövetett /a közelítésekből, egyszerűsítő feltevésekből származó/ hiba nem idézhet elő biztonsági szempontból nem kívánatos jelenségeket, másfelől a zóna reaktorfizikai szempontból viszonylag egyszerű felépítése miatt eléggé durvának tűnő közelítések és egyszerűsítések is jól teljesülnek. Természetesen a vi-

szonylagos egyszerűség a jelenlegi modern atomerőműtipusokhoz /pl. a VVER-1000 tipushoz/ képest értendő, de nem jelenti azt, hogy a számítási eljárás megértése és használata ne kívánna jelentős szellemi erőfeszítést.

Mint ismeretes, a VVER-440 reaktor zónája fűtőanyagrudakból álló kazettákat és szabályozókazettákat tartalmaz. Az ezekre vonatkozó neutronfizikai jellemzők /különböző paraméterek függvényében/ egyszerismindenkorra meggyárthatók /szovjet vagy magyar programok segítségével/ és ezek a BIPR program mindenkor bemenő adatainak egy részét jelentik. Az a tény, hogy itt mindössze mintegy 80 adatról van szó, a következőkkel magyarázható:

- a zónában lévő elemi cellák /fűtőanyagrud + burkolat + moderátor/ a kialakuló neutronspektrum szempontjából eléggé egyformák, így az azonos kezdeti dúsítású elemi cellákra azonos adatokat lehet használni;
- a VVER-440 reaktor üzemvitele és számítása során eleve lemondunk a kazetták belüli teljesítményeloszlás részletes kiszámításáról, mert az előzetesen elvégzett segédszámítások szerint a kazetták belüli teljesítmény-egyenlőtlenység maximális értéke mellett sem lépnek fel nemkívánatos jelenségek, ha a BIPR programban bizonyos biztonsági határokat elegendően szigorúan állapítunk meg;
- a szabályozó elemekben hasadás nincs és befolyásuk a reaktor kritikusságára és a teljesítményeloszlásra extrapolációs távolságokkal figyelembe vehető.

A három-dimenziós reaktorra az egycsoport diffúziós egyenletet oldjuk meg:

$$\Delta \phi(\underline{r}) + \kappa^2(\underline{r}, k_{\text{eff}})\phi(\underline{r}) = 0, \quad /1/$$

ahol  $\phi(\underline{r})$  a lassulási sűrűség, amely a neutronfluxussal egyszerű kapcsolatban áll, és amelyre az aktív zóna határain és a szabályozó elemek határain határfelületeket írunk elő.

Az aktív zónát egy térbeli ponthálóval fedjük le, amely horizontálisan kazettánként egy pontot, vertikálisan pedig 10 pontot tartalmaz. A diffúziós egyenlet megoldását a pontháló pontjaiban keressük.

Kísérleti tény /VVER-440 reaktor esetén/, hogy a fűtőanyagrudakat tartalmazó elemi cellákban kialakuló neutronspektrum jól közelíthető a cellára vonatkozó aszimptotikus spektrummal /amit úgy kapunk, hogy a cella határain reflektív határfeltételt írunk elő/, függetlenül attól, hogy a cella a zóna, illetve a kazetta melyik pozíciójában helyezkedik el. Ez igen lényeges egy-

szerűsítést jelent a program anyagi bemenő adatait jelentő  $\kappa^2$  értékek kiszámításakor. Ha a  $B_0^2$  geometriai buckling<sup>\*/</sup> mellett kiszámított aszimptotikus spektrumot  $f(E, B_0^2)$  -tel jelöljük, akkor az adott dusitású kazettát jellemző egycsoport-paraméterek:

$$k_0 = \frac{\int_0^\infty v \Sigma_f(E) f(E, B_0^2) dE}{\int_0^\infty \Sigma_a(E) f(E, B_0^2) dE} \quad /2/$$

és

$$M_0^2 = \frac{\int_0^\infty D(E) f(E, B_0^2) dE}{\int_0^\infty \Sigma_a(E) f(E, B_0^2) dE}, \quad /3/$$

ahol  $\Sigma_f$  és  $\Sigma_a$  a hasadási, illetve abszorpciós makroszkópikus hatáske-  
resztmetszet,  $v$  az egy hasadásban keletkező neutronok átlagos száma és  
 $D$  a diffúziós együttható. Mivel a VVER-440 reaktor elemi cellái a mode-  
rálás szempontjából lényegében egyformák,  $M_0^2$  helyett a reaktorra átlagolt  
 $M_\phi^2$  értéket használjuk<sup>\*\*/</sup> és a kazettákat a

$$k_\phi = 1 + \kappa_0^2 M_\phi^2 \quad /4/$$

mennyiséggel jellemezhetjük, ahol

$$\kappa_0^2 = \frac{\lambda k_\phi - 1}{M_\phi^2} \cdot 1 \quad /5/$$

Az /1/ egyenletben szereplő  $\kappa^2(\underline{r}, k_{eff})$  mennyiséget úgy határozzuk meg,  
mint az  $\underline{r}$  ponttal jellemzett kazetta-darabra vonatkozó  $\kappa_0^2$  értéket, mi-  
közben  $\lambda = 1/k_{eff}$ .

Végülis a kazetták minden reaktorfizikai tulajdonságát a  $k_\phi$  mennyiségben  
tömörítjük, amely a kezdeti dusitáson kívül számos paraméter függvénye,  
mint azt látni fogjuk. E paramétereiktől való függés tartalmazza  $\phi$  értékét  
is, így az /1/ egyenlet ténylegesen nem lineáris  $\phi$ -ben.  $k_{eff}$  az egyenlet

\*  $B_0^2 = \left( \frac{\pi}{H + \lambda_H} \right)^2 + \left( \frac{2.405}{R + \lambda_R} \right)^2$ , ahol  $H$  és  $R$  a zóna magassága, ill. su-  
gara,  $\lambda_H$  és  $\lambda_R$  pedig az extrapolációs  
távolságok.

\*\*  $M_\phi^2$  átlagos migrációs területnek a szovjet számításokban a 3.6 % du-  
sitású kazettákra vonatkozó  $M_0^2$  értéket tekintik.

sajátértéke, amelyet iterációval határozhatunk meg. A teljesítményeloszlást a

$$\psi(\underline{r}) = \frac{k_{\phi}(\underline{r})\phi(\underline{r})}{v(\underline{r})} \quad /6/$$

összefüggésből kapjuk.

A kampány számítása során az /1/ sajátértékegyenletet ismételten meg kell oldani minden időlépésben. A számításokban az idő helyett ténylegesen a kiégés, illetve a vele egyenesen arányos\* /hasadási termék- /salak-/ össztömeg a paraméter. A  $k_{\phi}$  mennyiségben is a  $\rho_s$ -sel jelölt salak-össztömeg az egyik paraméter, amelynek  $T_1$  és  $T_2$  időpontok közti megváltozása:

$$\Delta\rho_s(\underline{r}) = K_s \int_{T_1}^{T_2} \psi(\underline{r}) dT, \quad /7/$$

ahol  $K_s$  egy arányossági tényező.

Az időlépésenként adódó  $k_{\text{eff}}$  értékek természetesen eltérnek egytől. A szabályozórendszer /szabályozóelemek és bórsav/ működtetésének szimulálásával megkereshető az a bórsavkoncentráció, illetve szabályozóelem-helyzet, amely a kritikus állapotot biztosítja az adott időpontban. A szabályozórendszer működtetésének szimulálására később visszatérünk.

Mielőtt rátérnénk az /1/ egyenlet megoldásának ismertetésére, röviden összegezzük a  $k_{\phi}$  mennyiséggel kapcsolatos tudnivalókat.

$k_{\phi}$  aktuális értéke általában kazettánként és vertikális szakaszonként más és más. A reaktor indításakor zérus teljesítményen  $k_{\phi}$  értéke csak az adott kazetta fűtőanyagrudjainak dúsításától /E/ és a bórsav koncentrációjától / $C_B$ / függ. A teljesítményen üzemelő reaktorban  $k_{\phi}$  még a következő paraméterek aktuális értékétől is függ:

- $\rho_s$  salakkoncentráció, amit a kiégés mértékeként használunk;
- $\psi(\underline{r})/\bar{\psi}$  az adott térrész-beli és az átlagos energiakiválás hányadosa, ahol az átlagos energiakiválás

$$\bar{\psi} = \frac{\int \psi(\underline{r}) dV}{V} \quad /8/$$

\* Ezt az arányosságot saját számításaink is alátámasztják.



és V az aktív zóna térfogata;

- $\rho_{xe}$  a  $^{135}\text{Xe}$  koncentrációja, amely általában a telítési értékek felel meg, kivéve az u.n. átmeneti folyamatokat /indítás, leállítás, teljesítmény-változtatás stb./;
- $\rho_{sm}$  a  $^{149}\text{Sm}$  koncentrációja, amely a  $^{135}\text{Xe}$ -éhoz hasonlóan viselkedik;
- $\Delta t$  a hőmérséklet-növekmény a kazettában, amelyet a következőképpen számítunk ki: az  $\ell, n$ -ik térrészre / $\ell$  a vertikális,  $n$  a horizontális indexe a térrésznek/

$$\Delta t(h) = \Delta t_{\ell, n} = \frac{\Delta t}{H} \int_0^h \frac{\psi(z) dz}{g_n} =$$

/9/

$$= \frac{\Delta t}{H} \left( \frac{\sum_{m=1}^{\ell} \frac{\psi_{m,n}}{\bar{\psi}}}{10 g_n} - \frac{1}{2} \right)$$

ahol  $H$  a reaktor aktív zónájának magassága,

$h$  az  $\ell, n$ -ik térrész középpontjának magassága,

$\frac{\Delta t}{2}$  a belépési hőmérséklet /a zóna átlagos hőmérsékletét 0-nak véve/ és

$g_n$  az  $n$ -ik kazetta vízhozama / $\bar{g}=1$ /.

E paraméter-választásnak megfelelően az  $m, n$ -ik térrészre

$$k_{\phi_{m,n}} = k_{\phi_{m,n}}(E, \rho_s, \rho_{xe}, \rho_{sm}, \psi/\bar{\psi}, c_B, \Delta t), \quad /10/$$

ahol a paramétereknek az  $m, n$ -ik térrészre vonatkozó értéke veendő.

$k_{\phi_{m,n}}$  függését az egyes paraméterektől eléggé bonyolult kiszámítani [4], de ezek a számítások egyszersmindenkorra, a BIPR programtól függetlenül elvégezhetőek. A BIPR program a következő előállítást használja  $\phi_{m,n}$ -re:

$$k_{\phi_{m,n}} = \left\{ \left[ 1 + b_{OE} \sum_{j=1}^8 a_{jE} \rho_{sm,n}^j + \ell_{smE} \rho_{sm,n} \right] \eta^* + \sum_{j=1}^2 b_{jE} \frac{N}{V} \left( \frac{\psi_{m,n}}{\bar{\psi}} \right)^j \right\} *$$

$$* [1 + \ell_{xeE} \rho_{xe, in, n}] * [1 + c_{1E} c_B \gamma + c_{2E} (c_{P\gamma})^2] * [1 + d_{1E} \Delta t_{m,n} + d_{2E} (\Delta t_{m,n})^2], \quad /11/$$

ahol  $\eta^* = [1 + c_{1E} c_B (1 + c_{3E} \sqrt{\rho_s})] / (1 + c_{1E} c_B),$

N a nominális reaktor-teljesítmény, V az aktív zóna térfogata és  $\gamma$  a vizsűrűség, amelyet

$$\gamma = (1 + \theta_1 \Delta t + \theta_2 (\Delta t)^2) \bar{\gamma} \quad /12/$$

alakban állítunk elő. Minden E dusitásra a BIPR program számára meg kell adni  $b_{OE}, b_{1E}, a_{jE} /j=1, 2, \dots, 8/, \lambda_{smE}, \lambda_{xeE}, C_{1E}, C_{2E}, C_{3E},$

$d_{1E}$  és  $d_{2E}$  értékét, továbbá /dusitástól természetesen függetlenül/  $\theta_1$  és  $\theta_2$  értékét.  $\psi_{m,n}$  kiszámításához /6/ szerint szükség van  $v_{m,n}$  értékére is, amelyet

$$v_{m,n} = H_{vE} (1 + h_{vE} \rho_{s_{m,n}}) \quad /13/$$

alakban állítunk elő és  $H_{vE}$  és  $h_{vE}$  értékét a programmal közölni kell.

A /11/ előállítás első pillantásra meglehetősen légből kapottnak tűnik. Nehéz megindokolni, hogy miért ezt az összeg-szorzat keveréket választották, miért közelítették az egyes tagokat éppen az adott fokszámú polinomokkal és milyen alapon lehet eltekinteni az egyes együtthatók  $b_i, a_i, c_i, d_i, \lambda_{xe}, \lambda_{sm}, h_v$  kiégéstől való függésétől, hiszen az  $a_i$  együtthatók kivételével valamennyi együtthatónak az induló összetételre vonatkozó értékét használják a BIPR alkalmazása során. Saját számításaink szerint [4] a /11/ előállítás alakja és az induló összetételre vonatkozó együttható-értékek használata összesen mintegy 1 %-os /külön-külön kb. 0,5 %-os/ hibára vezet  $k_\phi$  értékének meghatározásakor, ami az adott közelítés-rendszeren belül és az adott pontossági előírások mellett megengedhetőnek tűnik. Természetesen az együtthatók kiszámításakor használt magfizikai adatok és algoritmusok pontossága is hasonló nagyságrendű lehet /0,5 - 1,5 %/, de nincs okunk azt feltételezni, hogy e mindenképpen meglévő pontatlansághoz a /11/ formula egyszerűségét biztosító, 1 %-os pontatlanságot okozó közelítés nem adódik hozzá. Ezért a BIPR programból kapható  $k_{eff}$  értékek, illetve a belőlük számolt kritikus bórsavkoncentrációk, illetve szabályozó-elem helyzetek lényegében csak tájékoztató jellegűek lehetnének. Javitja a helyzetet, hogy pl. a  $C_1, C_2$  és  $C_3$  bórsav-együtthatók értékét az indítási kísérletek és a tapasztalt kampányhosszak alapján valószínűleg illesztették. Ezzel magyarázható, hogy a kritikus bórsavkoncentrációkra és szabályozóelem helyzetekre, illetve a kampányhosszakra kapott értékek a tapasztalatokkal elég jól egyeznek.

Megjegyezzük még, hogy

- $\psi_{m,n}$  értékének kiszámításához /6/ szerint szükség van  $k_{\phi_{m,n}}$  értékére, amely viszont /11/ szerint függ  $\psi_{m,n}$ -től. Ezért a BIPR programban iterációval kell meghatározni  $\psi_{m,n}$  értékét;

- a teljesítményeffektust leíró  $b_{OE}^*$ ,  $b_{1E}$  és  $b_{2E}$  együtthatókat a

$$\Delta K_{\psi_{m,n}} = b_{OE}^* + b_{1E} \frac{N}{V} \frac{\psi_{m,n}}{\bar{\psi}} + b_{2E} \frac{N}{V} \left( \frac{\psi_{m,n}}{\bar{\psi}} \right)^2 \quad /14/$$

képlet alapján a nominális teljesítmény közelében végzett előzetes számítások eredményeire való illesztésből határozták meg és  $b_{OE}$ -vel a

$$b_{OE} = k_{OE} + b_{OE}^* \quad /15/$$

mennyiséget jelölik, ahol  $k_{OE}$  az induló töltet E dúsítású kazettájára vonatkozó  $k_O$  érték /2/ szerint;

- mivel  $\kappa^2$  ( $\underline{r}$ ,  $K_{eff}$ ), vagyis  $\kappa_{m,n}^2(k_{eff})$   $k_{\phi_{m,n}}$ -ből  $M_{\phi}^2$  felhasználásával származtatható /5/ szerint,  $M_{\phi}^2$  értékét a BIPR programmal közölni kell;
- mivel az együtthatókat bizonyos értelmes paraméter-értékhalmozra számították ki, a BIPR program futása során figyelemmel kell kísérni, vajon a paraméter-halmaz tartalmazza-e a tényleges paraméterértékeket. Nevezetesen a következő feltételeknek kell teljesülnie:

$$a/ \quad 0 \leq \rho_{s_{m,n}} \leq \rho_{s_{max}} = 60$$

$$b/ \quad 0 \leq \frac{N}{V} \frac{\psi_{m,n}}{\bar{\psi}} \leq W_{max} = 1000$$

$$c/ \quad 0 \leq C_B \leq C_{B \max} = 3$$

$$d/ \quad |\Delta t(h)| \leq \Delta t_{max} = 200.$$

Ha e feltételek bármelyike valamely időlépésben nem teljesül, úgy a program hiba-üzenet kinyomtatása után megszakítja a számítást. Kivétel ez alól, ha  $\psi_{m,n}$  értéke negatívnak adódik, amikor is a program a megfelelő hibaüzenet kinyomtatása után a /későbbiekben ismertetendő/ /18/ képletben szereplő  $\alpha$  értékét 0.9-re változtatja.

Ezzel az aktív zóna fűtőanyag-kazettáira vonatkozó adatok ismertetését befejeztük. Most rátérünk a zónát körülvevő viz-reflektor és a szabályozóelemek adatainak leírására.

Amint említettük, a reaktor ezen alkotórészeit határfeltételek segítségével kirekesztjük a számításokból, vagyis az /1/ egyenletet csak a fűtőanyagot tartalmazó térrészekre oldjuk meg a megfelelő határfeltételek mellett. A zóna alatt és felett elhelyezkedő vizreflektor és a szabályozóelemek határain az

$$\frac{1}{\phi} \frac{d\phi}{dh} = - \frac{1}{d_l} \quad /16/$$

logaritmikusan határfeltételt alkalmazzuk. A radiálisan elhelyezkedő vízreflektorra a

$$d_l = d_{R_l}(C_B) = d_{R_l}(0) + P_1 C_B + P_2 C_B^2 \quad /17/$$

paraméterrel jellemzett, /16/ típusu határfeltételt írjuk elő, ahol  $P_1$  és  $P_2$  értékét a programmal közölni kell,  $d_{R_l}(0)$ , valamint a vertikális reflektorokra és a szabályozó-elemekre vonatkozó  $d_l$  értékekkel együtt.  $d_{R_l}(C_B)$  értékét kismértékben módosítani lehet aszerint, hogy az adott határfelület hol helyezkedik el /ld. [1],  $K_1$  paraméterek a /8a/ formulában/.

Az /1/ egyenlet megoldását adott időpontban iterációs módszerrel végezzük el. Az iteráció gyorsítása céljából az egyenletet célszerű

$$\Delta\phi^i - \frac{1-\alpha}{M_\phi^2} \phi^{(i)} + \frac{k_\phi^{(i-1)}}{M_\phi^2} \phi^{(i-1)} - \alpha = 0 \quad /18/$$

alakban írni, ahol az (i) index az u.n. külső iteráció lépésszáma. Az  $\alpha$  paramétert, amelynek értéke 0 és 1 között lehet, az iteráció konvergenciájának gyorsítására vezetjük be.\*/ Adott  $k_{eff}$  érték mellett a /18/ egyenlet megoldását szintén iterációval kapjuk meg /ezt belső iterációnak nevezzük/. A véges differencia séma az adott térrészbe eső pontot, a hat horizontálisan szomszédos térrészbe eső pontokat és a két vertikálisan szomszédos térrészbe eső pontokat tartalmazó 9-pont séma. Az iterációs módszer és a megoldás menete [1]-ben található. A belső iterációt konvergensenek tekintjük, ha

$$\max_{(n)} \frac{\sum_{m=1}^{10} |\phi_{m,n}^{(q+1)} - \phi_{m,n}^{(q)}|}{\sum_{m=1}^{10} |\phi_{m,n}^{(q+1)}|} < \epsilon_\phi, \quad /19/$$

a külső iteráció pedig akkor tekinthető konvergensenek, ha

$$\left| \max_{m,n} \frac{\psi_{m,n}^{(i+1)}}{\psi_{m,n}^{(i)}} - \min_{m,n} \frac{\psi_{m,n}^{(i+1)}}{\psi_{m,n}^{(i)}} \right| < \epsilon_\psi \quad \text{és} \quad /20/$$

$$\left| k_{eff}^{(i+1)} - k_{eff}^{(i)} \right| < \epsilon_{k_{eff}}$$

ahol  $\epsilon_\phi$ ,  $\epsilon_\psi$  és  $\epsilon_{k_{eff}}$  a felhasználó által megadott számok.

\*/ =  $\alpha$  kezdőértéke 1, de negatív  $\phi$  értékek megjelenése esetén értéke 0,9-re változik.

Ha elértük a konvergenciát, a program kinyomtatja az adott időlépéshez tartozó  $k_{\text{eff}}$  értéket, valamint az energiefelszabadulás térfogatelemekre, ill. kazettákra vonatkozó egyenlőtlenségi tényezőit:

$$K_v = \frac{(\psi_{m,n})_{\text{max}}}{\bar{\psi}} \quad /21/$$

$$K_q = \frac{\max_{m=1}^{10} (\sum \psi_{m,n})}{10\bar{\psi}} \quad , \quad /22/$$

és annak a térrésznek, illetve kazettának az indexeit, amelyekben az energiefelszabadulás, illetve a hőfelszabadulás maximális.

Egy időlépésben adott bórsavkoncentráció és szabályozó-elem helyzet mellett az így kapott  $k_{\text{eff}}$  általában eltér egytől. Ekkor a szabályozásnak a program felhasználója által megadott módszere szerint /vagy bizonyos meghatározott szabályozóelemek mozgatásával vagy a bórsavkoncentráció értékének változtatásával/ a program megkeresi azt a szabályozó-elem helyzetet, vagy bórsavkoncentráció-értéket, amely mellett  $k_{\text{eff}} = 1$ . A megfelelő értékek kinyomtatása után a program a kritikus helyzetnek megfelelő szabályozóelem helyzettel, illetve bórsavkoncentráció-értékkel számol tovább.

Amennyiben a felhasználó a bórsavkoncentráció csökkentésével kívánja kompenzálni a kiégés során fellépő reaktivitás-csökkenést, úgy eközben a szabályozó-elemek helyzete mindaddig változatlan marad, amíg a bórsavkoncentráció zérus nem lesz. Ha vannak szabályozó-elemek az aktív zónában, akkor a továbbiakban a program áttér ezek mozgatására, amivel a kampány hátralévő részében a reaktivitás-csökkenést kompenzálni lehet. A bóros szabályozás szimulálása a programban semmilyen különleges megfontolást nem igényel.

Lényegesen bonyolultabb a szabályozó-elemek mozgatásának szimulálása. A rendszerben lévő szabályozó-elemeknek csak egy része használható a reaktivitás-csökkenés kompenzálására, ezek az ún. munka-elemek. A többi szabályozó-elem részben a biztonságvédelemhez, részben az automatikus szabályozáshoz tartozik, vagy egyéb célokra lett beépítve a zónába. A munka-elemeket maximálisan 10 csoportra lehet osztani, és minden csoportba 1-4 munka-elem tartozhat. A munka-elemek  $m \frac{H}{10}$  diszkrét magasságban lehetnek, és mozgatásuk is  $\frac{H}{10}$  egységekkel történhet. Általában a számítás kezdetén valamennyi munka-elem teljesen be van tolvá az aktív zónába, de indulhat a számítás részlegesen betölt munka-elemekkel is, amikor is ezek magasság-adatait a programmal közölni kell.

A munka-elemek mozgatása történhet "egyszerű" és "bonyolult" módon. Az "egyszerű" esetben egy-egy munka-elem csoporttal végrehajtódik a teljes mozgás a zóna alsó és felső határa között, majd a szabályozás átadódik a következő csoportnak. Ez a mód azért hátrányos, mert a zóna felső határa közelében a munka-elem már kis értékességű, így mozgása felgyorsul és a zónába viszonylag gyorsan bekerül a munka-elem alatt elhelyezett fűtőanyag-kazetta. Ez erős teljesítményeloszlás-egyenlőtlenségre vezet. Ezért célszerűbb a "bonyolult" módu mozgatás alkalmazása, amikor két munka-elem csoport elemei párhuzamosan kezdenek mozogni, mielőtt az első csoport egy előírt értéknél jobban megközelíti a zóna felső határát. A módszer részleteivel kapcsolatban az [1] hivatkozásra utalunk.

A szabályozó-elemekkel kapcsolatban meg kell még említeni az ún. "betolható" elemeket. Bármelyik munka-elem lehet "betolható", maximálisan öt csoportra osztható, 1-4 elemmel mindegyik csoportban. Ezen elemek részben a teljesítmény-eloszlás deformációinak kompenzálására, részben az előre nem látható operátori beavatkozások szimulálására szolgálnak. A "betolható" elemek mozgatására a bőros szabályozás közben is sor kerülhet. Mindenképpen nagy gondosságot és figyelmet kíván az ilyen típusu elemek mozgatása a programban.

A szabályozás problémái után áttérünk a kiegészítés és a nem-stacionárius mérgezés kérdéseire. Mint említettük, a kampányt idő-lépésekre osztjuk fel. Egy időlépésen belül a reaktor állapotát változatlanoknak tekintjük, így viszonylag rövid időlépéseket /10-30 nap/ kell alkalmazni. A fűtőanyag izotópösszetétel-változását /a nehéz izotópok hasadását, bomlását, átalakulását és a hasadási termékek keletkezését és átalakulásait/ a program közvetlenül nem számítja ki, hanem az energiafelszabadulással arányos salak-össztömeget használja fel a reaktor anyagi adataiban beállított változások leírására. A salak-össztömeg növekménye  $\Delta T$  idő alatt

$$\Delta \rho_{s, m, n} = K_s \frac{N}{V} \frac{\psi_{m, n}}{\bar{\psi}} \Delta T, \quad /23/$$

és az ennek megfelelő  $k_{\phi, m, n}$  értékeket /amiket a /11/ képletből kapunk/ használjuk az új teljesítményeloszlás kiszámítására. A  $K_s$  arányossági tényezőt a

$$K_s = \frac{V_k}{G_k} \epsilon \cdot 10^{-3} \quad /24/$$

összefüggésből kapjuk, ahol  $V_k$  a kazetták térfogata literben,  $G_k$  az egy kazetában lévő urántöltet tonnában és  $\epsilon$  a felhasználó által megadott szám /1.03 - 1.06/, amely a tartalékokat és korrekciókat veszi figyelembe.

Bizonyos esetben /elsősorban teljesítmény-változtatások után/ a  $^{135}\text{Xe}$  időben eltolt felszaporodása miatt nemstacionárius mérgezés és a reaktor működésének instabilitása következhet be. A VVER-440 reaktorok esetén a negatív teljesítmény-tényező és a viszonylag alacsony  $/10^{13}-10^{14}$  neutron/cm<sup>2</sup>/sec/ neutronfluxus miatt ilyen instabilitás fellépése valószínűtlen.

Ennek ellenére a BIPR program tartalmaz egy eljárást a  $^{135}\text{Xe}$  és a  $^{149}\text{Sm}$  felszaporodása miatti nemstacionárius mérgezés leírására. Ennek eredményeképpen információt kaphatunk arról, hogy mennyi ideig állhat a reaktor /jód- és promécium-gödör/, arról, hogy különböző teljesítményeken még mennyi ideig üzemelhet a reaktor, továbbá arról, hogy hogyan hat a  $^{149}\text{Sm}$  felszaporodása a friss fűtőanyag-kazetták kezdeti anyagi jellemzőire.

Ennek megfelelően a  $^{135}\text{J} \rightarrow ^{135}\text{Xe}$  és a  $^{149}\text{Pm} \rightarrow ^{149}\text{Sm}$  hasadási termék láncokra vonatkozó időfüggő egyenletek megoldása szükséges. A jód-xenon láncra ezek megoldása:

$$\rho_{\text{J},m,n} = \text{J}_i = \text{J}_{i-1} e^{-\lambda_{\text{J}} \Delta T} + \frac{Y_{\text{J}} B}{\lambda_{\text{J}}} [1 - e^{-\lambda_{\text{J}} \Delta T}] \psi_{m,n} \quad /25a/$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Xe},m,n} = \text{Xe}_i = \text{Xe}_{i-1} e^{-(\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_{\text{Xe}}^{***} \psi_{m,n} B/k_{\phi,m,n}) \Delta T} + \\ + \frac{(Y_{\text{J}} + Y_{\text{Xe}}) B}{\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_{\text{Xe}}^{***} \psi_{m,n} B/k_{\phi,m,n}} [1 - e^{-(\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_{\text{Xe}}^{***} \psi_{m,n} B/k_{\phi,m,n}) \Delta T}] \psi_{m,n} + \\ + \frac{\lambda_{\text{J}} \text{J}_{i-1} - Y_{\text{J}} \psi_{m,n} B}{\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_{\text{Xe}}^{***} \psi_{m,n} B/k_{\phi,m,n} - \lambda_{\text{J}}} [e^{-\lambda_{\text{J}} \Delta T} - e^{-(\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_{\text{Xe}}^{***} \psi_{m,n} B/k_{\phi,m,n}) \Delta T}], \end{aligned} \quad /25b/$$

ahol  $\lambda_{\text{J}}$  és  $\lambda_{\text{Xe}}$  a  $^{135}\text{J}$  és  $^{135}\text{Xe}$  bomlási állandói,

$Y_{\text{J}}$  és  $Y_{\text{Xe}}$  a  $^{135}\text{J}$  és  $^{135}\text{Xe}$  hasadási hozamai,

$$\sigma_{\text{Xe}}^{***} = \sigma_{\text{Xe}} \frac{\nu}{\Sigma_a}, \quad /25c/$$

ahol  $\sigma_{\text{Xe}}$  a  $^{135}\text{Xe}$  mikroszkópikus abszorpciós egycsoport-hatáskeresztmetszete,

$\Sigma_a$  a fűtőanyag-kazetta makroszkópikus abszorpciós egycsoport-hatáskeresztmetszete, és

$\nu$  a hasadásokban keletkező neutronok száma /ld./13//,

továbbá  $B = 3.1 \cdot 10^{10} \frac{N}{V}$ .

A /25a/ és /25b/ egyenleteket az /1/ egyenletekkel együtt oldjuk meg  $\Delta T$  időlépésenként, ahol  $\Delta T$  ezuttal néhány óra, vagyis annyi idő, amely alatt a nemstacionárius mérgezés során is a reaktor állapota változatlanak tekinthető.

A promécium-szamárium láncra az egyenlet alakja azonos, csak a megfelelő  $\lambda_{pm}$ ,  $\lambda_{sm}$ ,  $Y_{pm}$ ,  $Y_{sm}$  és  $\sigma_{sm}^{***}$  mennyiségeket kell használni. Ebben a számításban  $\Delta T$  néhány napra választható.

A bomlási állandók és hasadási hozamok a program bemenő adatai között megadott magfizikai adatok, míg  $\sigma_{xe}^{***}$  és  $\sigma_{sm}^{***}$  értékét a /11/ összefüggés együtthatóihoz hasonlóan, előzetes számításokból meghatározott bemenő adatok.

A BIPR program működhet a nemstacionárius mérgezés figyelembevételével vagy anélkül. Az utóbbi esetben az  $^{135}\text{Xe}$  és  $^{149}\text{Sm}$  koncentrációi telítési értéküket veszik fel:

$$\rho_{xe_{m,n}} = \frac{(Y_J + Y_{xe}) \psi_{m,n}^B}{\lambda_{xe} + \sigma_{xe}^{***} \psi_{m,n}^B / k_{\phi_{m,n}}} \quad /26/$$

/hasonlóan felírható  $\rho_{sm_{m,n}}$  is/, és ezeket az értékeket használjuk a /11/ formula kiértékelésekor.

Ha a nemstacionárius mérgezést is nyomon akarjuk követni, akkor további adatokat kell közölnünk a programmal a nemstacionárius mérgezés kezdeti időpontjáról, a  $\Delta T_{xe}$  és  $\Delta T_{sm}$  időlépésekről, továbbá táblázatosan meg kell adnunk a teljesítményváltozás idődiagramját. A nemstacionárius mérgezés hatását három módon értékelhetjük ki:

a/ - a perturbációelmélet szerint, amikor is

$$k_{eff}^{(T_{xe})} = k_{eff}^{(T_{xe}=0)} \frac{\int_V k_{\phi}(T_{xe}) \phi^2 dV}{\int_V k_{\phi}(T_{xe}=0) \phi^2 dV} \quad /27/$$

b/ - új  $k_{eff}$  érték tényleges kiszámításával /1/ megoldásából;

c/ - a bórsavkoncentráció, illetve a szabályozó-elemek helyzetének olyan változtatásával, amely kompenzálja a nemstacionárius mérgezést és kritikussá teszi a reaktort.

A felhasználó választhat, hogy melyik módszerrel kívánja kiértékelni az effektust.

Megemlítjük még, hogy mivel a kiegészi időlépések  $\Delta T$  hossza 10-30 nap, a kampány végét /amely általában egy időlépés közben következik be/ interpolációval határozzuk meg.

A BIPR program segítségével több kampányra kiterjedő számításokat is el lehet végezni. Az új kampány előtt zónaátrendezést /átrakást/ kell végrehajtani, amelynek során egyes kazetták kikerülnek a zónából, mások új



pozícióba tevődnek át és friss kazettákat is töltenek be. Mivel az új pozícióba kerülő kazetták kiégettségi tulajdonságaikat "magukkal viszik", nagyon lényeges az átrakási séma pontos megadása a program számára.

Megjegyezzük még, hogy a program fel van készítve a számítások szakaszos elvégzésére és részeredmények tárolására. Így például egy kampány lejátszása és az eredmények tárolása után a különböző átrakási sémák vizsgálatához nem szükséges az előző kampány ismételt lejátszása stb.

E fejezet összefoglalásaképpen azt mondhatjuk, hogy a BIPR program módot ad egy adott zónaelrendezés és adott szabályozási stratégia mellett a kampány végigszámolására, miközben rengeteg közbenes információt kaphatunk a kampány során kialakuló teljesítmény-eloszlásokról, egyenlőtlenségi tényezőkről és a szabályozórendszer működéséről. Ezen túlmenően vizsgálhatjuk a fluxus-deformációkkal és a nemstacionárius mérgezéssel kapcsolatban felmerülő problémákat. BIPR-számítások elvégzésére a következő esetekben van szükség:

- 1/ A zónaelrendezés /átrakás/ és a szabályozási stratégia kiválasztásakor, amikor nagy mennyiségű variáns-számítást kell elvégezni.
- 2/ A zónaelrendezés és a szabályozási stratégia kiválasztása után célszerű részletes számításokat végezni, esetleg bizonyos nem-kívánatos jelenségek utólagos elhárításának tervezésére is.
- 3/ A kampány végén a tényleges üzemvitel utólagos szimulálásával a lehető legpontosabban meg kell határozni az olyan fűtőanyag-kazetták kiegészi szintjét, amelyek a következő kampány(ok)/ban is az aktív zónában maradnak /természetesen a tárolóba kerülő kazetták kiegészi szintje is fontos lehet/.
- 4/ Nem-kívánatos jelenségek fellépésekor nagy mennyiségű számítást kell végezni, hogy megtaláljuk azt az optimális stratégiát, amivel a legkedvezőbb helyzetet érhetjük el a kampány végén.
- 5/ Amennyiben felmerül a kampány hosszának energiagazdálkodási okokból való megváltoztatása, számításokat kell végezni a megfelelő üzemviteli stratégia kiválasztására.

### 3. A KR PROGRAM

A KR program [2] eredetileg önálló programként jött létre, amelyet a BIPR-rel együtt használtak, később pedig a KR szubrutin-csoport a BIPR program része lett. A program feladata a reaktivitástényezők, az átlagos neutron-élettartam és az effektív késő neutronhányad kiszámítása a BIPR program eredményei alapján. Ezen mennyiségek ismerete rendkívül fontos az erőmű biztonságos üzemvitele szempontjából, mert e mennyiségek alapján határozható meg, hogy az üzemi paraméterek megváltozása milyen reaktivitáseffektust hoz létre, továbbá, hogy milyen idők állnak rendelkezésre a szabályozó-rendszerrel való beavatkozásra.

A program a perturbáció-elmélet alapján készült. A perturbáció-számítás első rendjében viszonylag egyszerű és megbízható eredményeket kaphatunk, még hozzá rövid idő /gépidő/ alatt, mivel a perturbálatlan állapot adatait használjuk fel a perturbáció hatásának kiértékelésére. Az alternatív eljárás, amikor a perturbált állapotra vonatkozó összes adatot /teljesítmény-eloszlás,  $k_{eff}$ , stb./ kiszámítjuk és a perturbált és perturbálatlan állapot jellemzőinek különbségét képezzük, kevésbé vonzó a gépidő-igény, valamint a nagy számok különbségének számítógépi pontatlanságai miatt.

A perturbálatlan állapotban a reaktort az /1/ egyenlettel írjuk le:

$$\Delta\phi_0 + \kappa_0^2 \phi = 0. \quad /28/$$

Ha valamely X paraméter értéke  $\delta X$ -szel megváltozik, perturbált állapotot kapunk, amelyet a

$$\Delta\phi_1 + \kappa_1^2 \phi_1 = 0 \quad /29/$$

egyenlet ír le, ahol

$$\kappa_1^2 = \kappa_0^2 + \delta\kappa^2$$

és  $\phi_1$  a megváltozott lassulási sűrűség-eloszlás.

A perturbációelmélet alapján a /28/ és /29/ egyenlet kombinálásából adódó

$$\int_V (\phi_1 \Delta\phi_0 - \phi_0 \Delta\phi_1) dV - \int_V \delta\kappa^2 \phi_0 \phi_1 dV = 0 \quad /30/$$

egyenletet írhatjuk fel. Az első integrált Gauss-tétele értelmében felületi integrállá alakíthatjuk.

Bevezetve a

$$\frac{(\Delta\phi_0)_n^+}{\phi_0} = -\frac{1}{d_0} \quad \text{és} \quad \frac{(\Delta\phi_1)_n^+}{\phi_1} = -\frac{1}{d_1}$$

jelöléseket, ahol az  $\vec{n}$  a /28/ és /29/ egyenletek értelmezési tartományának S határfelületén a kifelé mutató normális irányu vektor, az első integrál új alakja:

$$\int_S \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_0} \right) \phi_0 \phi_1 dS = - \int_S \frac{\delta d}{d_0 d_1} \phi_0 \phi_1 dS,$$

ahol  $\delta d$ -vel  $d$  megváltozását  $|d_1 - d_0|$  jelöltük.

A perturbációszámítás első rendjében, amit kis megváltozások esetén érvényesnek tekintünk,

$$\phi_1 \approx \phi_0 \approx \phi \quad \text{és} \quad d_1 \approx d_0 \approx d.$$

Ekkor /30/ alakja:

$$- \int_S \frac{\delta d}{d^2} \phi^2 dS - \int_V \delta \kappa^2 \phi^2 dV = 0. \quad /31/$$

$\kappa^2$  /5/ alakját újra felírva és átalakítva azt kapjuk, hogy

$$\kappa^2 = \frac{1}{k_{\text{eff}}} \tilde{\kappa}^2 - \frac{1}{M_\phi^2} \left( 1 - \frac{1}{k_{\text{eff}}} \right),$$

ahol  $\tilde{\kappa}^2$  az adott térrészre vonatkozó /a megfelelő  $M_0^2$  melletti/  $\kappa^2$  érték.

E kifejezés variációja:

$$\delta \kappa^2 = \frac{1}{k_{\text{eff}}} \delta \tilde{\kappa}^2 - \delta \rho \frac{k_0}{M_\phi^2} + \frac{\delta M_\phi^2}{M_\phi^2} \left( 1 - \frac{1}{k_{\text{eff}}} \right). \quad /32/$$

Ezt behelyettesítve a /31/ egyenletbe, a  $\rho$  reaktivitás megváltozása az X paraméter  $dX$  megváltozása esetén:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dX} &= \frac{\frac{1}{k_{\text{eff}}} \int_V \frac{d\tilde{\kappa}^2}{dX} \phi^2 dV + \frac{1}{M_\phi^2} \frac{dM_\phi^2}{dX} \left( 1 - \frac{1}{k_{\text{eff}}} \right) \int_V \phi^2 dV + \int_S \frac{1}{d^2} \frac{dd}{dX} \phi^2 dS}{\frac{1}{M_\phi^2} \int_V k_0 \phi^2 dV} = \\ &= K_1 + K_2 + K_3. \end{aligned} \quad /33/$$

Ez az összefüggés képezi a reaktivitás-tényezők kiszámításának alapját. Az egyes tagok jelentése a következő:

$K_1$  - az X paraméter változása megváltoztatja  $\tilde{\kappa}^2$  értékét, és így a reaktivitást;

$K_2$  - az X paraméter változása megváltoztatja  $M_\phi^2$  /az aktív zónára átlagolt mennyiség/ értékét, és így a reaktivitást;

$K_3$  - az X paraméter változása miatt megváltoznak az aktív zóna határain /reflektorok és szabályozó-elemek határán/ előírt határfeltételek paraméterei, és így a reaktivitás is.

$K_1$  és  $K_2$  értékének kiszámítását a KR program a térbeli háló pontjaira való összegezéssel végzi el [2].  $K_3$  értékének kiszámítása némileg bonyolultabb, de ennek részleteire sem térünk ki. Ahhoz, hogy a KR program kiszámíthassa a reaktivitás-tényezőket, bemenő adatként meg kell adni  $\frac{d\bar{k}^2}{dX}$ ,  $\frac{dM_\phi^2}{dX}$  és  $\frac{dd}{dX}$  értékeit a különböző paraméterek /salakkoncentráció, stb./ függvényeként minden X változóra. Ezeket a mennyiségeket részben a ROR [5] vagy BETTY [4] programokkal ( $\frac{d\bar{k}^2}{dX}$ ,  $\frac{dM_\phi^2}{dX}$ ), részben a határfeltételi paramétereket számító RAGU [6] programmal lehet meghatározni.

Az átlagos effektív neutronélettartam ( $\bar{l}$ ) kiszámítására a KR programban a következő képletet használjuk:

$$\bar{l} = \frac{1}{k_{eff}} \frac{\int_V \phi^2 l k_0 dV}{\int_V \phi^2 k_0 dV}, \quad /34/$$

amely itt nem részletezett módon adódik a perturbációelméletből. A levezetés kihasználja, hogy a neutronfluxus egycsoport-közelítésben áll rendelkezésünkre. A /34/ képletben  $l$  a homogén rácsra vonatkozó neutron-élettartam:

$$l = \frac{1}{v \Sigma_a (1+B^2 L^2)}, \quad /35/$$

- ahol
- $\Sigma_a$  - a makroszkópikus abszorpciós hatáskeresztmetszet,
  - $v$  - a neutronok átlagsebessége,
  - $B^2$  - a geometriai buckling,
  - $L^2$  - a termikus neutronokra vonatkozó  $D/\Sigma_a$  érték és
  - $D$  - a diffúziós állandó.

$l$  értékét a különböző paraméterek függvényeként bemenő adatként kell megadni.

Az effektív későneutron-hányadot  $\beta_{effj}$  a KR program hat későneutron-csoportra határozza meg, amelyből

$$\beta_{eff} = \sum_{j=1}^6 \beta_{effj}. \quad /36/$$

$\beta_{effj}$  értékét a következő képlet alapján kapjuk:

$$\beta_{effj} = \frac{\int_V \beta_j k_0 \phi^2 dV}{\int_V k_0 \phi^2 dV}, \quad /37/$$

ahol

$$\tilde{\beta}_j = \beta_j \frac{1}{\mu} \frac{1 + \kappa^2 M^2}{1 + \kappa^2 M_{Kj}^2}, \quad /38/$$

továbbá

- $\beta_j$  - a j-ik későneutroncsoport magfizikai hányada,
- $\mu$  - a gyorsneutronok szerepe miatt fellépő szorzótényező / $\mu = 1.04$ / és
- $M_{Kj}^2$  - a j-ik későneutroncsoportra vonatkozó migrációs terület.

$\beta_j$  és  $M_{Kj}^2$  értékeit a bemenő adatok közt kell megadni a kezdeti dusitás és a salakkoncentráció függvényeként.

A KR program segítségével meg lehet még határozni a későneutron anyamagok átlagos bomlási állandóját,  $\bar{\lambda}$  -t:

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^6 \frac{1}{\lambda_j} \beta_{effj}}{\sum_{j=1}^6 \beta_{effj}}. \quad /39/$$

$\lambda_j$  értékét a hat későneutron-csoportra a program tartalmazza.

A program a következő paraméterek szerinti reaktivitás-tényezőket számítja ki:

- $\delta\gamma$  = vizesűrűség-változás;
- $\delta t_{H_2O}^*$  = víz hőmérséklet-változás /sűrűség-változás nélkül/;
- $\delta \bar{t}_u$  = fűtőanyag-középheőmérséklet-változás;
- $\delta t_{H_2O}$  = víz hőmérséklet-változás /a sűrűség-változást is figyelembe véve/;
- $\delta N$  = nominális teljesítmény-változás.

Mivel a két utóbbi paraméter megváltozása nem független az első háromtól, elegendő a következő mennyiségek megoldása bemenő adatként:

$$\frac{\partial \tilde{\kappa}^2}{\partial \gamma}, \quad \frac{\partial \tilde{\kappa}^2}{\partial t_{H_2O}^*}, \quad \frac{\partial \tilde{\kappa}^2}{\partial \bar{t}_u}$$

$$\frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial \gamma}, \quad \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial t_{H_2O}^*}, \quad \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial t_u},$$

$$\frac{\partial d}{\partial \gamma}, \quad \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*}.$$

Kivánság szerint más reaktivitás-tényezők is kiszámíthatók, de természetesen ehhez a bemenő adatok alkalmas megváltoztatása szükséges.

Először vizsgáljuk meg a víz sűrűsége és hőmérséklete megváltoztatásának reaktivitás-hatását.  $d\rho/dt_{H_2O}$  kiszámításakor felhasználjuk, hogy a  $t_{H_2O}$  hőmérséklet-változás teljes differenciálja

$$dt_{H_2O} = \partial t_{H_2O}^* + \partial \gamma \frac{dt_{H_2O}}{d\gamma},$$

tehát az  $i$ -ik térrészben

$$\left(\frac{d\tilde{\kappa}^2}{dt_{H_2O}}\right)_i = \left(\frac{\partial \tilde{\kappa}^2}{\partial t_{H_2O}^*}\right)_i + \left(\frac{\partial \tilde{\kappa}^2}{\partial \gamma}\right)_i \left(\frac{d\gamma}{dt_{H_2O}}\right)_i. \quad /40/$$

Mivel /12/ szerint

$$\gamma_i = \bar{\gamma} [1 + \theta_1 (t_i - \bar{t}) + \theta_2 (t_i - \bar{t})^2],$$

$$\left(\frac{d\gamma}{dt_{H_2O}}\right)_i = Q_0 + Q_1 (t_i - \bar{t}), \quad /41/$$

ahol

$$Q_0 = \bar{\gamma}\theta_1 \quad \text{és} \quad Q_1 = 2\bar{\gamma}\theta_2.$$

Az  $M_{\phi}^2$  megváltozásából eredő járulék:

$$\frac{dM_{\phi}^2}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial \gamma} \left(\frac{d\gamma}{dt_{H_2O}}\right)_{t=\bar{t}} = \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial \gamma} Q_0. \quad /42/$$

$dd/dt_{H_2O}$  kiszámításakor feltételezzük, hogy az alsó- és az oldalreflektorra a víz  $t_{H_2O}$  hőmérséklete megegyezik a belépési hőmérséklettel, a felső-reflektorra a kilépési hőmérséklet átlagával, a szabályozó elemekre pedig a szabályozóelem alján kialakuló belépési hőmérséklettel. Ennek megfelelően

$$\frac{dd_R}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial d}{\partial \gamma} (Q_0 - Q_1 \frac{\Delta \bar{t}}{2}) \quad \text{az oldal-reflektorra,} \quad /43a/$$

$$\frac{dd_{za}}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial d}{\partial \gamma} (Q_0 - Q_1 \frac{\Delta \bar{t}}{2}) \quad \text{az alsó reflektorra,} \quad /43b/$$

$$\frac{dd_{zf}}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial d}{\partial \gamma} (Q_0 + Q_1 \frac{\Delta \bar{t}}{2}) \quad \text{a felső reflektorra,} \quad /43c/$$

$$\frac{dd_{sr}}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial d}{\partial \gamma} \left( \frac{d\gamma}{dt_{H_2O}} \right)_{t=t_s} \quad \text{a szabályozó-elem} \quad /43d/$$

oldalán,

$$\text{és } \frac{dd_{sz}}{dt_{H_2O}} = \frac{\partial d}{\partial t_{H_2O}^*} + \frac{\partial d}{\partial \gamma} \left( \frac{d\gamma}{dt_{H_2O}} \right)_{t=t_s} \quad \text{a szabályozó-elem} \quad /43e/$$

alján,

ahol  $\Delta \bar{t}$  az átlagos hőmérséklet-növekedés és  $t_s$  a szabályozó-elem alján kialakult hőmérséklet.

$\frac{dp}{dt_{H_2O}}$  kiszámításakor feltételezzük, hogy  $\frac{dp}{dt_{H_2O}} = \frac{dp}{d\bar{t}_{H_2O}}$ , vagyis azt,

hogy 1 °C-os átlaghőmérséklet-változás reaktivitás-hatása ugyanannyi, mint a zóna minden egyes pontjában megvalósuló 1 °C hőmérséklet-változás reaktivitás-hatása.

A fűtőanyag  $t_u$  hőmérsékletének megváltozása a Doppler-effektus révén befolyásolja a fűtőanyag abszorpciós tulajdonságait /tehát  $k_0 - t/$ , és kis mértékben  $M_0^2$  értékét is. Ez alakítja ki elsősorban a negatív reaktivitás-visszacsatolást a teljesítmény változásakor és ennek stabilizálására vezet.

$$\left( \frac{dk^2}{d\bar{t}_u} \right)_i = \left( \frac{dk^2}{dt_u} \right)_i \frac{d(tu)_i}{d\bar{t}_u} \quad /44/$$

Ha a teljesítmény zérus,  $\frac{d(tu)_i}{d\bar{t}_u} = 0$ , ha pedig a reaktor teljesítményen van:

$$\frac{d(tu)_i}{d\bar{t}_u} = \left( \frac{dt_u}{d\bar{w}} \right)_i \frac{d\bar{w}}{d\bar{t}_u} \frac{w_i}{\bar{w}} \quad /45/$$

ahol  $w_i$  és  $\bar{w}$  a teljesítmény  $i$ -ik pontbeli-, illetve átlagértéke.  $t_u$  teljesítményfüggése bemenő adat, melyből  $(\frac{dt_u}{dw})_i$  meghatározható, míg  $\frac{dt_u}{d\bar{w}}$  átlagértéke a

$$\frac{d\bar{t}_u}{d\bar{w}} = \left( \left( \frac{dt_u}{dw} \right)_i \right) = \frac{\int_V \frac{dt_u}{dw} dv}{V} \quad /46/$$

összefüggésből adódik.

$$\frac{dM_\phi^2}{d\bar{t}_u} \quad \text{bemenő adat és} \quad \frac{dd}{d\bar{t}_u} \quad \text{zérusnak tekinthető.}$$

Végül rátérünk a teljesítmény-tényező kiszámítására. Ez három módon értékelhető ki:

- a teljesítmény-ingadozás nem változtatja meg a hőmérséklet-eloszlást  $/(\frac{d\rho}{dN})_n/$ ;
- gyors teljesítmény-változás /a víz áthaladásának idejéhez képest/ megváltoztatja a vízhőmérséklet-eloszlást, de a belépési vízhőmérséklet változatlan marad  $/(\frac{d\rho}{dN})_{gy}/$ ;
- a teljesítmény kvázistacionáriusan változik, megváltoztatja a vízhőmérséklet-eloszlást, de az átlagos vízhőmérséklet változatlan marad  $/(\frac{d\rho}{dN})_{KS}/$ .

A két utóbbi esetben a reaktivitás-tényező a fűtőanyag-hőmérséklet és a víz-hőmérséklet változásának hatását leíró tagból áll.

Az első esetben  $(\frac{d\rho}{dN})_n$ -t számítjuk ki. Ekkor:

$$\left( \frac{d\bar{k}^2}{dN} \right)_{ni} = \left( \frac{d\bar{k}^2}{d\bar{t}_u} \right)_i \left( \frac{d\bar{t}_u}{dw} \right)_i \left( \frac{dw_i}{d\bar{w}} \right) \frac{d\bar{w}}{dN} = \left( \frac{d\bar{k}^2}{d\bar{t}_u} \right)_i \left( \frac{d\bar{t}_u}{dw} \right)_i \frac{w_i}{\bar{w}N}, \quad /47a/$$

$$\left( \frac{dM_\phi^2}{dN} \right)_n = \frac{dM_\phi^2}{d\bar{t}_u} \frac{d\bar{t}_u}{d\bar{w}} \frac{d\bar{w}}{dN} = \frac{dM_\phi^2}{d\bar{t}_u} \frac{d\bar{t}_u}{dw} \frac{1}{V} \quad /47b/$$

és  $\left( \frac{dd}{dN} \right)_n = 0.$  /47c/



A második esetben  $\left(\frac{d\rho}{dN}\right)_{gy}$ -t számítjuk ki. Ekkor:

$$\left(\frac{d\bar{k}^2}{dN}\right)_{H_2O_1}^{gy} = \left(\frac{d\bar{k}^2}{dt_{H_2O}}\right)_1 \frac{d(t_{H_2O})_1}{dN} = \left(\frac{d\bar{k}^2}{dt_{H_2O}}\right)_1 \frac{t_1 - t_a}{N}, \quad /48a/$$

$$\left(\frac{dM_\phi^2}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = \frac{dM_\phi^2}{d\bar{t}_{H_2O}} \frac{d\bar{t}_{H_2O}}{dN} = \frac{dM_\phi^2}{d\bar{t}_{H_2O}} \frac{\Delta\bar{t}}{2N}, \quad /48b/$$

$$\left(\frac{dd_R}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = \left(\frac{dd_{za}}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = 0, \quad /48c/$$

$$\left(\frac{dd_{zf}}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = \frac{dd_{zf}}{dt_{H_2O}} \frac{\Delta\bar{t}}{N}, \quad /48d/$$

és  $\left(\frac{dd_{SR}}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = \left(\frac{dd_{SZ}}{dN}\right)_{H_2O}^{gy} = \frac{dd_{SZ}}{dt_{H_2O}} \frac{t_s - t_a}{N}, \quad /48e/$

ahol  $t_a$  a belépési vízhőmérséklet és

$$\left(\frac{d\rho}{dN}\right)_{gy} = \left(\frac{d\rho}{dN}\right)_n + \left(\frac{d\rho}{dN}\right)_{H_2O}, \quad /49/$$

A megfelelő formulák a kvázistacionárius esetben:

$$\left(\frac{d\bar{k}^2}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = \left(\frac{d\bar{k}^2}{dt_{H_2O}}\right)_1 \frac{t_1 - \bar{t}}{N}, \quad /50a/$$

$$\left(\frac{dM_\phi^2}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = 0, \quad /50b/$$

$$\left(\frac{dd_R}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = \left(\frac{dd_{za}}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = - \left(\frac{dd_{zf}}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = - \frac{dd}{dt_{H_2O}} \frac{\Delta \bar{t}}{2N} \quad /50c/$$

$$\text{és} \quad \left(\frac{dd_{SR}}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = \left(\frac{dd_{SZ}}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} = \frac{dd}{dt_{H_2O}} \frac{t_s - \bar{t}}{N} \quad /50d/$$

továbbá

$$\left(\frac{d\rho}{dN}\right)_{KS} = \left(\frac{d\rho}{dN}\right)_n + \left(\frac{d\rho}{dN}\right)_{H_2O}^{KS} \quad /51/$$

A KR program bemenő adatainak megadását a 4. fejezetben ismertetjük.

#### 4. A BIPR ÉS KR PROGRAMOK BEMENŐ ADATAINAK ELŐKÉSZÍTÉSE ÉS EREDMÉNYEI

A 2. és 3. fejezetben leírt BIPR és KR programokat bemenő adatokkal kell ellátni. E bemenő adatok fizikai jelentésével korábban foglalkoztunk, ebben a fejezetben pedig a felhasználó számára szükséges ismereteket foglaljuk össze arról, hogy hogyan kell összeállítani a bemenő adatokat.

A bemenő adatok elvileg két csoportra oszthatók:

- az aktív zóna geometriai leírása, az egyes térrészek fűtőanyag- vagy szabályozó-elem tartalma, bórkoncentráció, szabályozó-elem helyzete stb. - vagyis az adott zónára jellemző adatok;
- a fűtőanyag-kazetták és szabályozó-elemek parametrizált anyagi adatai, a reaktivitás-tényezők kiszámításához szükséges adatok stb. - vagyis a reaktortípusra jellemző adatok.

A második csoportba tartozó adatok megadása a program jelenlegi változatában minden feladatnál szükséges, de elképzelhető a program olyan módosítása, amikor ezek az adatok véglegesen be vannak építve a programba.

Az adatok megadása nagyon flexibilisen történik, ugyanis a NAMELIST-tel való kártyaleolvasás miatt az adatok sorrendje tetszőleges lehet. Az adatok két NAMELIST-tömbhöz tartoznak, mégpedig a BIPR adatait tartalmazó RST tömbhöz és a KR adatait tartalmazó RST1 tömbhöz. A BIPR adatokat az

& RST

és az & END

kártyák között.

a KR adatait pedig

& RST1  
és az & END

kártyák között kell megadni.

A továbbiakban sorravesszük az adatokat és megadjuk mintafeladat-beli értéküket.

4.1. Az RST-ben beolvasott adatok

Azonosító név /1/	Érték /2/	Jelentés /3/	Megjegyzés /4/	Minta- feladat /5/
RESULT/1/	1	egy állapot számítása		0
RESULT/2/	1	szubkritikusság számítása		0
RESULT/3/	1	szabályozó-elemek és bórsav érté- kességének számítása		0
RESULT/4/	1	kiegési számítás		1
RESULT/5/	1	több variáns számítása		0
RESULT/6/	1	a belépési hőmérséklet eloszlásának számítása	1. TPK/N/	0
RESULT/7/	1	kazettánkénti átlagértékek ki- nyomtatása		1
RESULT/8/	1	neutronfluxus eloszlás ki- nyomtatása		1
RESULT/9/	1	relatív energiakiválás ki- nyomtatása		1
RESULT/10/	1	Xe-eloszlás kinyomtatása		0
RESULT/11/	1	salak-, Sm- és Pm-eloszlás kinyomtatása		0
RESULT/12/	1	salak-interpcláció	v.ö.16.o.	1
RESULT/13/	1	átrakás a kampány végén		1
RESULT/14/	1	átrakás a kampány elején		0
RESULT/15/	2	$C_B=0$ esetén áttérés a bóros sza- bályozásról a szabályozó elemek mozgatására		0

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
UPR	1	kritikusság megkeresése bór-konc. változtatással		1
	2	kritikusság megkeresése szabályozó-elem mozgatóval		
T		kiindulási időpont /napokban/		0.
DT		kiegési időlépés /napokban/		20.
TKK		maximális kampányhossz /napokban/		1000.
TPCH		a RESULT /7-11/ szerinti nyomtatások kezdete /napokban/		0.
DTPCH		nyomtatások időlépése /napokban/		20.
TPF		a mágnesszalagra történő első kiírás /salak-, Sm-Pm-eloszlás/ időpontja /napokban/		60.
DTPF		a mágnesszalagra történő kiírás időlépése /napokban/		60.
NK		a kazetták száma a választott szimmetria-elemben		59
H		az aktiv zóna magassága /cm/		250.
NZ		vertikális osztáspontok száma		10
HR		A kazetták középpontja közti távolság /cm/		14.7
SIM	1.	a teljes reaktor számítása		6.
	3.	120°-os szimmetria		
	6.	60°-os szimmetria		
	12.	30°-os szimmetria		
NR		a kazettasorok száma a zóna-térképen		10
NJ/NR/		a kazetták száma soronként		10,9,8,7, 7,6,5,4, 2,1
NP		az utolsó sorból hiányzó kazetták száma 120°-os szimmetria esetén		0
NPP		a hiányzó kazetták száma az utolsó előtti sorban 60°-os és 30°-os szimmetria esetén		0
TOPL		a fűtőanyag-kazetták azonosítója	minden 5 kazetta egy 5 jegyű szám	23323,32222, 23323,22112, 23323,21332, 33312,33221, 13232,31333, 11321,11110

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
NRL	a mágnesszalag száma, ahová a salak-eloszlást az előző számításban kiirtuk			0
NR3	az NRL szalagon a file sor-száma, ahová a salak-eloszlást kiirtuk			0
HTOPL/2,10/	a fűtőanyag-típusok határa /magasság szerint/ profilírozott kazettákban			0.
V	az aktiv zóna térfogata /literben/			$1.627 \cdot 10^4$
KBT	a reaktor teljes hőteljesítménye /kW/			$1.375 \cdot 10^4$
G	a teljes hőhordozó-hozam az aktiv zónában /m <sup>3</sup> /óra/			$3.9 \cdot 10^4$
GAMMA	a moderátor átlagos parciális súlya az aktiv zónában /kg/m <sup>3</sup> /		$\bar{\gamma}$	750.6
CP	a moderátor átlagos parciális hőkapacitása állandó nyomás alatt /kcal/kg °C/			1.249
AK	a salakkoncentráció és az energiakiválás közti arányossági tényező		$K_s/24/$	$4.017 \cdot 10^{-4}$
HE	a belső iterációk száma, amely után a pontosságot a program ellenőrzi			12
HW	a belső iterációk száma, amely után az $\omega$ over-relaxációs faktort a program kiszámítja		[1]	10
W	a belső iteráció-gyorsítási tényezőjének kezdő értéke		/18/	1.
DW	a belső iteráció gyorsítási tényezőjének változtatása			$7 \cdot 10^{-3}$
EPS/1/	a $\bar{\psi}$ -iteráció pontossági kritériuma			0.01
EPS/2/	a belső iteráció konvergencia-kritériuma		$\epsilon_\phi/19/$	0.01
EPS/3/	a külső iteráció konvergencia kritériuma $\psi$ szerint		$\epsilon_\psi/20/$	0.01
EPS/4/	a külső iteráció konvergencia-kritériuma $k_{eff}$ szerint		$\epsilon_{k_{eff}}/20/$	0.05
EPS/5/	a nemstacionárius mérgezés során használjuk			$10^{-11}$

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
EPS/6/		ha $C_B < EPS/6/$ , akkor a program a borkoncentrációt zérusnak értékeli		$10^{-6}$
DH		a munka-elemek mozgatásának lépésköze a kritikusság keresésekor /cm/		50.
RODOP		a salakkoncentráció max. megengedett értéke	$\rho_{s_{max}}$	60.
WDOP		a parciális energiakiválás max. megengedett értéke	$W_{max}$	1000.
CBMAX		a borkoncentráció max. megengedett értéke	$C_{Bmax}$	3.
TDOP		a hőhordozó hőmérsékletnövekedésének max. megengedett értéke	$\Delta t_{max}$	200.
KFF		$k_{eff}$ kezdőértéke		1.
DK		$k_{eff}$ változásának becslésére szolgáló paraméterek az állapotról-állapotra való változás számításának gyorsítására		0.
DKB				0.
CB		induló borkoncentráció		0.65
DCB		a borkoncentráció változtatásának lépése a kritikusság keresésekor		0.02
$M^2$		a migrációs terület átlagértéke	$M_{\phi}^2$	64.5
NS		a különböző fűtőanyag-típusok száma a profilírozást is beleértve	a program nem használja, mindig =5	5
BO/NS/		$k_{\phi_0} -1$ az egyes típusokra	$b_{0E}$ /11/	
AI/8,NS/		$k_{\phi} \rho_s$ - függésének paraméterei az egyes típusokra	$a_{jE}$ /11/	
BI/6,NS/		az első index 1 és 2: $k_{\phi} \psi$ - függésének paraméterei az egyes típusokra	$b_{jE} (j=1,2)$ /11/	
		első index 3: a bórsaveffektivitás $\rho_s$ -függésének együtt-hatója	$C_{3E}$ /11/	
		első index 4: nincs szerepe		0
		első index 5 és 6: $v \rho_s$ -függésének együtt-hatói	$H_{jE}, h_{jE}$ /13/	

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
C1/NS/	C2/NS/	k <sub>φ</sub> bórkoncentráció-függésének paraméterei az egyes típusokra	C <sub>1E</sub> , C <sub>2E</sub> /11/	
D1/NS/	D2/NS/	k <sub>φ</sub> hőmérséklet-növekedés-függésének paraméterei az egyes típusokra	d <sub>1E</sub> , d <sub>2E</sub> /11/	
L1/NS/		k <sub>φ</sub> ρ <sub>xe</sub> -függésének paraméterei az egyes típusokra	ℓ <sub>xeE</sub> /11/	
L2/NS/		k <sub>φ</sub> ρ <sub>Sm</sub> -függésének paraméterei az egyes típusokra	ℓ <sub>smE</sub> /11/	
Q1	Q2	a moderátor sűrűségének hőmérséklet-függési paraméterei	θ <sub>1</sub> /12/	
			θ <sub>2</sub> /12/	
SHIFR/2,NST/		a szabályozó-elemek pozíciószáma és típusai /poz., típus, poz., típus/		1,1,7,1
HST/2,NST/		a szabályozó-elemek pozíciószámai és magasságai		1,175.,7,175.
NRST/7,NRG/		a szabályozó-elemek pozíciószámai csoportonként		1,7
NST		a szabályozó-elemek száma a zónában		2
NRG		a munka-elem csoportok száma		1
NNRG		a munka-elem csoportok kezdőszáma		1
SDV	1	"bonyolult" mozgatás	1.10. old.	0.
H1		a párhuzamos mozgatáshoz tartozó magasság-értékek		0.
H2				0.
PSPUSK	1	"betolható" elemek használata	1.10. old.	0
NSPG		"betolható" elem-csoportok száma		0
DR		a radiális reflektorra vonatkozó határfeltételi paraméter reciprokának kétszerese	$\frac{1}{2d_R}$	18.24

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
DZ		az alsó és felső reflektorra vonatkozó határfeltételi paraméter reciprokának kétszerese	$\frac{1}{2d_z}$	18.63
DLOGST/4/		a szabályozó-elem aljára vonatkozó határfeltételi paraméter reciprokának kétszerese	$\frac{1}{2d_{s_z}}$	14.86, 0., 0., 0.
DST		a szabályozó-elem oldalára vonatkozó határfeltételi paraméter reciprokának kétszerese	$\frac{1}{2d_{s_R}}$	37.5
PU		a reaktor urántöltete		16.27
GUO2		az urándioxid sűrűségének és nominális sűrűségének hányadosa		1.
PXE	0	Xe külön nem számítódik /csak $b_j$ -n keresztül/		1
	1	stacioner mérgezés		
	2	nem-stacioner mérgezés c/ eset		
	3	nem-stacioner mérgezés b/ eset		
	4	nem-stacioner mérgezés a/ eset		
TXE		a Xe- $r_{Xe}$ vonatkozó nem-stacioner mérgezés számításának kezdete		0.
DTXE		a Xe-mérgezés időlépése		0.
GJOD		a $J^{135}$ hasadási hozama	$y_J / 25/$	0.061
GXE		a Xe $^{135}$ " "	$y_{Xe} / 25/$	0.003
ALJOD		a $J^{135}$ bomlási állandója	$\lambda_J / 25/$	$2.87 \cdot 10^{-5}$
ALXE		a Xe $^{135}$ " "	$\lambda_{Xe} / 25/$	$2.07 \cdot 10^{-5}$
KTN		a teljesítmény-változtatási táblázatok száma	1.12.old.	0
SIGXE/NS/		a Xe $^{135}$ effektív abszorpciós állandói fűtőanyagtipusonként	$\sigma_{Xe_E}^{***} / 25/$	
PSM	1	Sm-mérgezés számítása		1
GPM		a Pm $^{149}$ hasadási hozama	$y_{Pm} / 25/$	0.011
GSM		a Sm $^{149}$ " "	$y_{Sm} / 25/$	0.
ALPM		a Pm $^{149}$ bomlási állandója	$\lambda_{Pm} / 25/$	$3.57 \cdot 10^{-6}$
ALSM		a Sm $^{149}$ " "	$\lambda_{Sm} / 25/$	0.



/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
TKONSM		a $Pm^{149}$ bomlásának és a $Sm^{149}$ keletkezésének ideje		20.
SIGSM/NS/		a $Sm^{149}$ effektív abszorpció állandói fűtőanyag-típusonként	*** $\sigma_{SmE}$ /25/	
GN/NK/		kazettánkénti		350 * 1.
KR	0	a KR program kiiktatódik		0
	1	a KR program minden állapotra számítást végez		
	2	a KR program számítást végez a kritikus állapotra		
BI/I=5,J=10/		a radiális extrapolációs távolság bórkoncentráció függésének együtthatói	$P_1, P_2$ /17/	-1.77, 0.41
BI/I=6,J=10/				
TN/3, KTN/		a teljesítmény-változtatási táblázat /idő-órákban, időlépés-órákban, teljesítmény kW-ban/		60x0.
AAA/1/		az $\alpha$ paraméter értéke a /18/ /18/ egyenletben	$\alpha$ /18/	1.
AAA/2/		segédmennyiség		0.
AAA/4/		"		0.1
AAA/5/		NC3 kezdőértéke /v.ö. 4.4. alf./		0
AAA/8/		segédmennyiség		1.

Ezekon kívül kártyán is megadható a  $k_\phi$ -eloszlás (K8/10,350/), a "forrás"-eloszlás (S/10,350/) és a neutron-eloszlás (F/10,350/).

4.2. Az RST1-ben megadott adatok \*/

NSP	a különböző fűtőanyagkazetta típusok száma	felülbírálja NSP-nek a BIPR-ben nem használt értékét /=5/	3
NKR	segédmennyiség		1

\*/

Csak abban az esetben kell őket megadni, ha  $KR \neq 0$ .

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
DCB1	bórkoncentráció-lépés			0.8696
DRSL/10/	kiégés-lépés az egyes fűtőanyag-kazetta tipusokra			18.0, 12.0, 6.0
DTH	vizhőmérséklet-lépés			15.0
DWL	teljesítmény-lépés			10.0
DMG	a migrációs terület vízszűrő szerinti deriváltja		$\frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial \gamma}$	
DMH	a migrációs terület vizhőmérséklet sze- rinti deriváltja		$\frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial t_{H_2O}^*}$	
DMU	a migrációs terület fűtőanyag-hőmérséklet szerinti deriváltja		$\frac{\partial M_{\phi}^2}{\partial \bar{t}_u}$	
DGOR	a radiális reflektor extrapolációs távol- ság vízszűrő sze- rinti deriváltja		$\frac{\partial d_R}{\partial \gamma}$	
DGOZH	az alsó reflektor ex- trapolációs távolság vízszűrő szerinti deriváltja		$\frac{\partial d_{za}}{\partial \gamma}$	
DGOZB	a felső reflektor ex- trapolációs távolság vízszűrő szerinti deriváltja		$\frac{\partial d_{zf}}{\partial \gamma}$	
DGSR	a szabályozó-elem ra- diális extrapolációs távolságának vízszü- rő szerinti deriváltja		$\frac{\partial d_{SR}}{\partial \gamma}$	

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
DGSZ	a szabályozó-elem alsó extrapolációs távolságának vizsűrűsége szerinti deriváltja	$\frac{\partial d_{sz}}{\partial \gamma}$		
DTOR	a radiális reflektor extrapolációs távolság víz hőmérséklet szerinti deriváltja	$\frac{\partial d_R}{\partial t_{H_2O}^*}$		
DZOZH	az alsó reflektor extrapolációs távolság víz hőmérséklet szerinti deriváltja	$\frac{\partial d_{za}}{\partial t_{H_2O}^*}$		
DZOZB	A felső reflektor extrapolációs távolság víz hőmérséklet szerint deriváltja	$\frac{\partial d_{zf}}{\partial t_{H_2O}^*}$		
TU/7/	a fűtőanyag-hőmérséklet teljesítmény grafikon táblázatos alakja	$t_u(w)$		
DW2	A TU-táblázat teljesítmény-köze			30.
TTOR	a szabályozó-elem aljáiig elért hőmérséklet-növekedés	$t_s / 43/$		
SMU	gyors-neutron szorzótényező	$\mu / 38/$		1.04
DG/9,10/	$\bar{k}^2$ vizsűrűség szerinti deriváltja; az első index a következő állapotokra utal:	$\frac{\partial \bar{k}^2}{\partial \gamma}$		

/1/ /2/ /3/ /4/ /5/

in-dex	C <sub>B</sub>	ρ <sub>S</sub>	t <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	w
1		0	$\bar{t}_{H_2O}$	$\bar{w}$
2	DCB1	0	"	$\bar{w}$
3	2xDCB1	0	"	$\bar{w}$
4	0	DRSL/I/	"	$\bar{w}$
5	0	2xDRSL/I/	"	$\bar{w}$
6	0	0	$\bar{t}_{H_2O}^{-DTH}$	$\bar{w}$
7	0	0	$\bar{t}_{H_2O}^{+DTH}$	$\bar{w}$
8	0	0	$\bar{t}_{H_2O}$	$\bar{w}-DW1$
9	0	0	"	$\bar{w}-DW1$

a második index és DRSL indexe a fűtőanyag-kazetta típusára utal.

DT1/5,10/

$\bar{\kappa}^2$  vízhőmérséklet szerinti deriváltja; az első index a következő állapotokra utal:

$$\frac{\partial \bar{\kappa}^2}{\partial t_{H_2O}}$$

in-dex	C <sub>B</sub>	ρ <sub>S</sub>	t <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	w
1	0	0	t <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	$\bar{w}$
2	DCB	0	"	$\bar{w}$
3	0	DRSL/I/	"	$\bar{w}$
4	0	0	t <sub>H<sub>2</sub>O</sub> <sup>-DTH</sup>	$\bar{w}$
5	0	0	$\bar{t}_{H_2O}^{+DTH}$	$\bar{w}$

a második index és DRSL indexe a fűtőanyag-kazetta típusára utal.

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
-----	-----	-----	-----	-----

DU/5,10/  $\bar{\kappa}^2$  fűtőanyag-hőmérséklet szerinti deriváltja; az első index a következő állapotokra utal:  $\frac{\partial \bar{\kappa}^2}{\partial t_u}$

in-dex	$C_B$	$\rho_s$	$t_{H_2O}$	w
1	0	0	$t_{H_2O}$	$\bar{w}$
2	DCB	0	$t_{H_2O}$	$\bar{w}$
3	0	DRSL/I/	$t_{H_2O}$	$\bar{w}$
4	0	0	$t_{H_2O}$	$\bar{w}-DW1$
5	0	0	$t_{H_2O}$	$\bar{w}+DW1$

a második index és DRSL indexe a fűtőanyag-kazetta típusára utal.

SL/3,10/ a neutron-élettartam értéke; az első index  $\rho_s$  értékére utal:  $\ell/35/$

index	$\rho_s$
1	0
2	DRSL/I/
3	2 * DRSL/I/

a második index és DRSL indexe a fűtőanyag-kazetta típusára utal.

SMZ/6/ a késő neutron migrációs terület az egyes csoportokra  $M_{kj}^2 /38/$

BE/6,3,10/ a késő neutron-hányad értéke az első index a csoportra utal, a második index  $\rho_s$  értékére utal:  $\beta_j /38/$

index	$\rho_s$
1	0
2	DRSL/I/
3	2 * DRSL/I/

a harmadik index és DRSL indexe a fűtőanyag-kazetta típusára utal

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/
SLAM/6/	a késő-neutron csoport bomlási állandója	$\lambda_j$ /39/		
LG/2,70/	a zóna és a radiális reflektor határán levő kazetták paramétere; az első paraméter a kazetta indexe a zónatérképen, a második pedig a reflektorral érintkező hatszögoldalak száma /1,2 vagy 3/	Ez a mennyiség a $dd_R/dX$ értékek felöszegzésekor játszik szerepet.		
	A számpárokat a zónatérképen alulról felfelé haladva kell megadni.			

#### 4.3. Az átrakási séma adatai

Amikor a program futása során a kampány /előre megadott/ végéhez érkezik és RESULT/13/ értéke 1, a program számára meg kell adni a kiválasztott átrakási sémára vonatkozó adatokat. A megfelelő /2110 formátumu/ kártyákat az RST és az esetleges RST1 adatok után kell közölni. A kártyákra mindig két kazetta-pozíció sorszámát kell lyukasztani és e két pozícióban lévő kazetták felcserélése következik be. Ha egy kazetta helyére friss kazettát kívánunk helyezni /miközben a régi kazetta kikerül a rendszerből/, akkor a megfelelő kártyán a második számot 1001, 1002 vagy 1003-nak kell választani, aszerint, hogy a friss kazetta dúsítása 3.6%, 2.4% vagy 1.6%.

A felcserélések egyesével történnek a kártyák megadásának sorrendjében, tehát egy kazetta-pozíció ismételt említése fizikailag más-más kazettára vonatkozik.

Az átrakási séma utolsó adat-kártyájára a 0 és 1 számokat kell lyukasztani. Az átrakás szimulációja után a számítás folytatódik.

#### 4.4. A számítás megszakítása

Különböző okokból célszerűvé válhat a számítás tervezett megszakítása egy adott időpontban. A számítás azonban /tetszés szerint módosított adatokkal/ folytatható, mégpedig egy korábbi számítás azon időpontjától, ahol a salak-, szamárium- és promécium-koncentrációkat egy mágnesszalagra kiirtuk. A folytatáshoz fel kell használni az NR3 és NC3 változókat /v.ö.

4.1 alfejezet, NC3=AAA/5/ /,

ahol

NR3 - annak a mágnesszalag-zónának a sorszáma, ahonnan a folytatáshoz szükséges adatokat vesszük,

NC3 - annak a mágnesszalag-zónának a sorszáma, ahová az n-ik kiírás /a T=TPF+ /n-1/\*DTPF időpontban/ történt.

A folytatáshoz feltétlenül meg kell adnunk az RST adatok közül a következőket:

NR3 - az előző számítás szerinti NC3 érték,

T - az előző számítás n-ik kiírásához tartozó időpont, ami az új számítás indulási időpontja,

CB - a bórsavkoncentráció értéke.

Ha a folytatás egy tényleges megszakítás után /külön job-ban/ történik, akkor természetesen az összes többi RST /és esetleges RST1/ adatot is meg kell adnunk. Egy job-ban is megszakíthatjuk azonban a számítást, ha bizonyos bemenő adatok /pl. névleges teljesítmény-sűrűség/ változását kívánjuk szimulálni. Ekkor a folytatáshoz tartozó RST kártyákon kívül csak azokat a bemenő adatokat kell megadnunk, amelyek változását el kívánjuk érni.

#### 4.6. A BIPR és KR programok eredményei

A BIPR és KR programok nagy mennyiségű eredményt nyomtatnak ki. Mint a bemenő adatokból látható, bizonyos outputok a felhasználó kívánsága szerint kérhetők, illetve letilthatók. Gyakorlatilag valamennyi bemenő adat visszairódik.

A BIPR program a következő eredményeket szolgáltatja:

- $k_{eff}$  az egyes állapotokra;
- a  $k_{eff}=1$ -hez tartozó kritikus bórkoncentráció-, illetve szabályozó-elem helyzetek; továbbá  $\partial \rho / \partial C_B$ , illetve  $\partial \rho / \partial H$  értéke;
- a teljesítmény- és hőfelszabadulás-egyenlőtlenségi tényezők  $/K_v$  és  $K_q/21/$ ,  $/22/$  és annak a térrésznek, illetve kazettának az indexei, ahol az energiaszabadulás, illetve a hőfelszabadulás maximális;
- a salakkoncentráció átlagos értéke a zónában;
- a salakkoncentráció, az energiaszabadulás és a hőmérséklet eloszlása kazettánként;

- neutronfluxus-eloszlás térrészenként;
- relativ teljesítményeloszlás térrészenként;
- kívánságra egyéb mennyiségek, mint pl. Xe- és Sm-eloszlások, a szabályozó-elem mozgatók adatai, a nemstacioner mérgezés adatai stb.;
- kívánságra szabályozó-elem értékesítések.

Valamennyi eredményt időlépésenként megismételve kapjuk meg.

A KR program eredményeit a felhasználó kívánsága szerint minden állapotra, vagy csak a kritikus állapotokra kapjuk meg. Ezek a következők:

- $\partial\rho/\partial\gamma$  és összetevői;
- $\partial\rho/\partial t_{H_2O}^*$  és összetevői;
- $\partial\rho/\partial \bar{E}_u$  és összetevői;
- $\partial\rho/\partial t_{H_2O}$  és összetevői;
- $(\partial\rho/\partial N)_n$  és összetevői;
- $(\partial\rho/\partial N)_{gy}$  és összetevői;
- $(\partial\rho/\partial N)_{KS}$  és összetevői;
- $\beta_{eff}$  és  $\beta_{eff,j}$  értékei;
- $\bar{l}$  és  $\bar{\lambda}$  értéke.

### Köszönetnyilvánítás

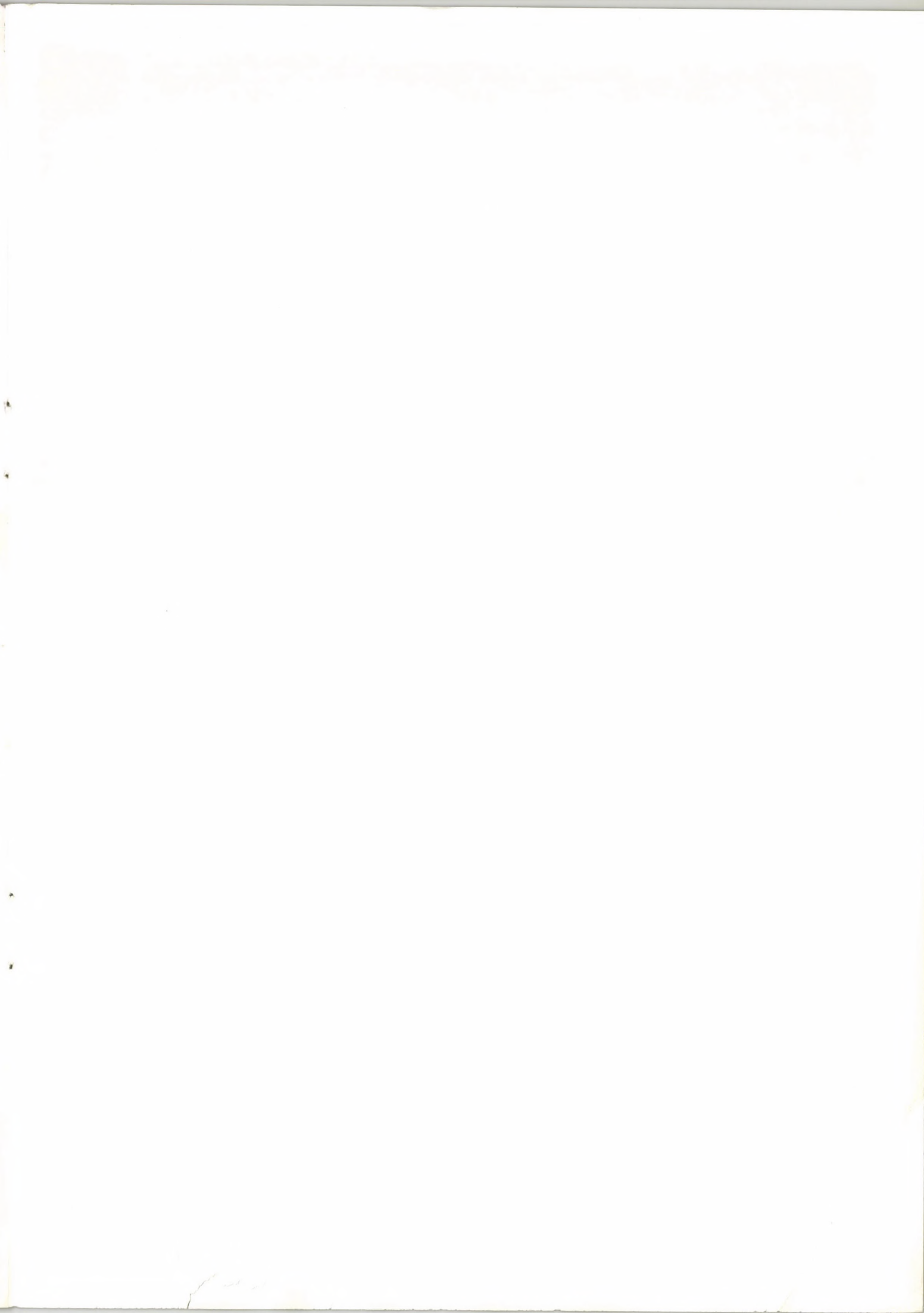
Köszönetemet fejezem ki E.D. Beljajevának, a Kurcsatov Intézet munkatársának, a BIPR program egyik szerzőjének a program adaptálása során nyújtott rendkívül értékes segítségéért, valamint A.N. Novikovnak, a Kurcsatov Intézet főmunkatársának a programmal kapcsolatos elméleti problémákról folytatott hasznos diskussziókért és a program adaptálásának előkészítésében nyújtott személyes támogatásáért. Megköszönöm továbbá Cserháti András észrevételeit jelen anyag készítése során.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Д.М. Петрунин, Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева, отчет ИАЭ-2518, Москва, 1975.
- [2] Ю.И. Савчук, отчет ИАЭ-2158, Москва, 1971.
- [3] Д.М. Петрунин, Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева, отчет ИАЭ-2519, Москва, 1975
- [4] Zsoldos Jenő, Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1978.
- [5] В.Д. Сидоренко, отчет ИАЭ-1434, Москва, 1970.
- [6] Д.Ф. Стрелков, отчет ИАЭ, Москва, 1970.

- 1. H. H. ... (1800-1801)
- 2. ... (1801)
- 3. ... (1801)
- 4. ... (1801)
- 5. ... (1801)
- 6. ... (1801)



62596

Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet  
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán  
Szakmai lektor: Valkó János  
Példányszám: 250 Törzsszám: KFKI-1978-909  
Készült a KFKI sokszorosító üzemében  
Budapest, 1978. november hó

