

TK 155.574

KFKI-1983-125

GADÓ J.
MARÓTI L.
PERNECZKY L.
ZÁGONI M.

BIZTONSÁGI TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA A
BIPR-5TH PROGRAMMAL

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

KFKI-1983-125

BIZTONSÁGI TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA A
BIPR-5TH PROGRAMMAL

GADÓ J., MARÓTI L., PERNECZKY L., ZÁGONI M.

Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf.49

HU ISSN 0368 5330
ISBN 963 372 172 5

KIVONAT

A dolgozat összefoglalja a VVER-440 típusu atomerőművi reaktorok számítására készült BIPR-5K program módosítását. A módosítás eredményeképpen a program megadja a biztonság szempontjából lényegesnek ítélt két termohidraulikai biztonsági paraméter reaktoron belüli eloszlását. A dolgozat tartalmazza ezen kívül a BIPR programcsalád ujonnan honosított tagjainak rövid leírását is.

Bevezetés

Az 1983. év folyamán az OKKFT A/11. 2. alprogram-feladat keretében az alábbi munkákat végeztük el.

- A BIPR-5K program termohidraulikai részében korábban javasolt módosításokat [1] kiegészítettük oly módon, hogy a biztonsági tényezők értékei ne a köteg-szakaszokra, hanem a legmelegebb szubcsatorna-szakaszokra számíthatjanak ki.
- Módszert dolgoztunk ki a kötegen belüli teljesítményegyenlőtlenség közelítő meghatározására.
- Végrehajtottuk a BIPR-5K program megfelelő módosítását és próbaszámításokat végeztünk. A létrejött programot BIPR-5TH-nak nevezzük.
- Adaptáltuk a BIPR programcsalád új variánsait, beleértve a ORAKSz egyenlőtlenségi tényező minimalizáló programot is.

1. A termohidraulikai biztonsági jellemzők pontosítása

A korábbiakban javaslatot tettünk a BIPR program termohidraulikai részének bővítésére [1]. Ezek a javaslatok a köteg-szakaszokra jellemző átlagos mennyiségek kiszámítását tették volna lehetővé. [1] ajánlotta a kötegen belüli radiális egyenlőtlenségi tényező figyelembevételét a későbbiekben.

Kidolgoztunk egy felülbecslő módszert a kötegen belüli egyenlőtlenség számítására /2. fejezet/ és ezért szükségessé vált a szubcsatorna-képre való áttérés a termohidraulikai összefüggésekben. Ezt a továbbfejlesztést az alábbiakban foglaljuk össze, a beprogramozott formulákat az 1. Függelék tartalmazza.

Feltételeztük, hogy a szubcsatornák között van keveredés. A forráskezdetig rendelkezésre álló tartalék számításakor feltételeztük, hogy a falhoz legközelebb eső normál szubcsatorna a mértékadó.

Ennek egyenértékű átmérője

$$d_1 = \frac{2\sqrt{3P^2 - d^2}}{\pi d}, \quad /1/$$

jelenik meg $\alpha_{n,1}$ és $Re_{n,1}$ kiszámításakor d helyén, ahol P a rácsoztás [m], d a fűtőelemek átmérője [m].

A fűtőelem burkolathőmérsékletére [1] /25/ képlete helyett azt kapjuk, hogy

$$T_{b,n,1}^{n,1} = \frac{N \psi_{n,1} K_{n,1}}{n_{\max}^1 \max \alpha_{n,1} n_k d \Delta z} + T_{n,1},$$

ahol $K_{n,1}$ a kötegen belüli radiális teljesítmény-egyenlőtlenségi tényező. Hasonlóan a DNBR faktor új meghatározása [1] /30/ helyett:

$$DNBR_{n,1} = \frac{q_{kr}^{n,1} n_k d \Delta z}{\frac{N \psi_{n,1}}{n_{\max}^1 \max} K_{n,1}}.$$

Végül megemlítjük, hogy [1] /26/ és /29/ képletei helyesen:

$$T_{b,o}^{n,1} = T_s + \frac{H_{n,1}}{2} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 4 \frac{T_s - T_{n,1}}{H_{n,1}}} \right\},$$

illetve

$$x_{n,1} = \frac{c_p(T_{be})T_{be} + \sum_{l'=1}^l \frac{N \psi_{n,1}'}{l_{\max}^{o_{be}} G_{n(1-b)}} - c_p(T_s)T_s}{L}.$$

Megjegyezzük még, hogy előadódhat olyan helyzet, amikor a felületi forrás egyes pontokon megindul. Ekkor a "tartalék" negatív vá válik, azonban a képletek által szolgáltatott hőmérsékletkülönbségek irreálisak lesznek, hiszen ekkor már más képletek érvényesek. Ennek megfelelően az ilyen köteg-szakaszokra a -1.0 értéket nyomtattatjuk ki.

2. A kötegen belüli teljesítmény-egyenlőtlenség közelítő meghatározása

A BIPR programcsalád eredetileg nem ad módot a fűtőelemkötegen belüli /radiális/ teljesítményeloszlás meghatározására. A program keretein belül remény sincs arra, hogy ezeket az eloszlásokat nagy pontossággal kiszámíthassuk és a termohidraulikai biztonsági paraméterek számításakor alkalmazott közelítések általános pontossága sem igényli az egyenlőtlenségi tényező pontos ismeretét. Az általunk javasolt közelítés felülbecsli a tényező értékét, így a biztonságosság irányában okoz pontatlanságot. A közelítés szerint az egyenlőtlenségi tényezőt két tényező szorzataként állítjuk elő:

$$K_{n,1} = K_{n(E)} \cdot K_{n,1}^*$$

ahol $K_{n(E)}$ a kötegre jellemző szám, $K_{n,1}^*$ pedig a környezet hatását veszi figyelembe.

$K_{n(E)}$ számítását olyan modellben végezzük, amelyben a köteg két homogén közegből áll: a homogenizált fűtőelemcellák /és a középső cső/ által kitöltött térrész és az ezt körülvevő kazettafal és vizrés. Ilyen alapelemekből felépített végtelen periodikus rácsban megmutatható [14], hogy jó közelítésben a belső térrész fluxuselozzlása

$$\phi_{gy}(r) = A_1$$

$$\phi_t(r) = A_2 A_1 [1 + A_3 I_0(A_4 r)]$$

alaku, ahol r a helyváltozó /a köteget itt hengeresnek tekintjük/, ϕ_{gy} és ϕ_t a gyors, illetve termikus fluxus, I_0 az első fajú módosított Bessel-függvény. Az A_2 , A_3 , A_4 paraméterek csak a kötegre jellemzőek, A_1 egy határozatlan állandó. A teljesítményeloszlás ezek után

$$N(r) = \bar{A}_1 [\Sigma_f^{gy} + \Sigma_f^t A_2 (1 + A_3 I_0(A_4 r))]]$$

alaku, ahol Σ_f a makroszkópikus hasadási hatáskeresztmetszet és \bar{A}_1 csak egy szorzófaktorban különbözik A_1 -től. Az $N(r)$ függvény maximumát r legnagyobb értékénél \bar{r} éri el /esetünkben: $\bar{r} = 7,32$ cm/, átlaga pedig könnyen kiszámítható:

$$\bar{N} = \frac{1}{\bar{r}^2} \int_0^{\bar{r}} dr r N(r) .$$

A $K_{n(E)}$ tényezőt úgy definiáljuk, hogy

$$K_{n(E)} = \frac{N(\bar{r})}{\bar{N}} ,$$

amiből \bar{A}_1 kiesik, az összes többi paraméter $(A_2, A_3, A_4, \Sigma_f^{gy}, \Sigma_f^t)$ pedig csak a közeg tulajdonságaitól függ.

$K_{n(E)}$ maximális, ha a paraméterek értékét a kezdeti állapotra határozzuk meg, és ez az érték csak a dúsítástól $|E|$ függ.

$K_{n(E)}$ e maximális értékeit a különböző dúsításokra a THERMOSOPHIE programokkal [15] határoztuk meg és ezeket használjuk számításainkban /1. 2. Függelék/.

A $K_{n,l}^*$ szorzónak azt a tényt kellene figyelembe vennie, hogy a köteg nem egy végtelen periodikus rács eleme, hanem meghatározott környezetben van. Elvileg $K_{n,l}^*$ -ot úgy kellene definiálnunk, hogy kiválasztjuk a n,l -edik elem horizontális szomszédai közül azt a két egymással is szomszédos elemet $(n_{1,l}$ és $n_{2,l})$, amelyekben a termikus fluxus átlagértékének átlaga maximális és ezután

$$K_{n,l}^* = \frac{\phi_{n,l}^t + \phi_{n_{1,l}}^t + \phi_{n_{2,l}}^t}{3 \phi_{n,l}^t} .$$

$K_{n,l}^*$ így a köteg lejobban terhelt sarokpontja és a köteg átlagos teljesítményének hányadosát adná meg a makrofluxus-képnek megfelelően. Mivel azonban a termikus fluxus értékei a BIPR-5K programban nem állnak elő, így kénytelenek vagyunk $K_{n,l}^*$ -ot egyetlen felülbecslő számmal helyettesíteni $|K^*|$. Ez a szám a program bemenő adata /1. 2. Függelék/.

3. A BIPR-5K program módosítása, próbaszámítások

A BIPR-5K programot úgy módosítottuk, hogy korábbi eredményei teljes egészükben változatlanok maradjanak, viszont szolgáltatáson két újabb, kivánságra /IPRINT (5). GE.1/ kinyomtatott lapot a forrás megindulásáig a falhőmérsékletben rendelkezésre álló tartaléknak /ZAPAS DO KIPENIJA/, illetve a kritikus hőfluxus és a tényleges hőfluxus hányadosának /FAKTOR DNBR/ eloszlásával, valamint a minimális értékkel és ennek előfordulási helyével. Az induló zónára vonatkozó kinyomtatott eloszlásokat példaként a 3. Függelékben adjuk meg. A programot új bemenő adatokkal láttuk el a BLOCK DATA szegmensben, amelyek egy része a K8DT NAMELIST alatt felülbírálható /1. 2. Függelék/. Az új bemenő adatok értékei műszaki adatokból, termohidraulikai és neutronfizikai számításokból származnak. Néhány alapmenyiség kiszámítására értelemszerűen az INREP szubrutinban kerül sor, míg az új eloszlások kiszámítására és kinyomtatására a PRINT2 szubrutint módosítottuk.

Próbaszámításainkkal először is ellenőriztük, hogy a BIPR-5K program hagyományos eredményei változatlanok maradnak és a kinyomtatott új eloszlások valóban a formuláknak megfelelő értékeket szolgáltatják.

Másodszor megállapítottuk, hogy az induló zónára

$$DNBR_{\min} = 3.116,$$

ami jól egyezik az ismert értékekkel. Másfelől látható, hogy /feltehetőleg részben konzervatív számításaink miatt/ a felületi forrás néhány kötegszakasz legmelegebb részein megindul.

Végül számítását végeztünk a vízsűrűség és a fajhő általunk számított hőmérséklet-függése mellett /1. 2. Függelék/, ami azt mutatja, hogy a biztonsági tényezők aktuális értékei kisebbek, míg a BIPR-5K egyéb számítási eredményei lényegében változatlanok. Az új $\rho(T)$ és $c_p(T)$ függések használatát egyelőre nem ajánljuk.

4. Ujjonnan adaptált programok

BIPR-5AK

A BIPR-5AK program a BIPR-5 [2,3,4] program algoritmusának új realizációja, a BIPR-5K [5,6,7] program továbbfejlesztése. Az algoritmus a véges differencia egyenletrendszer megoldására alapul [8]. E módszer BIPR-5AK -beli alkalmazásának sajátosságai [9]-ben találhatók.

A BIPR-5AK programban két új típusú számítás elvégzésére van lehetőség:

- a fűtőanyag átrakási sémájának optimalizálása a kazettánkénti energiakiválás egyenlőtlensége maximumának minimalizálása útján, az ORAKSz program algoritmusával [10],
- új séma a fűtőanyag kiégésének imitálására, mely a [11]-ben alkalmazott séma általánosítása.

A programban egy sor további módosítás is történt:

- minden egyes kazettára tárolódik a kampányok száma,
- figyelembe van véve a kezdeti kazettabeli urántömeg hatása a kiégési mélységre,
- a felhasználó a fűtőanyag kiégését MWD/kg egységekben kapja, bár a program a salakkoncentrációt kg/Tu egységekben használja,
- a MWD/kg egység és a salakkoncentráció közötti átváltási együttható felhasználható a számítási eredményeknek a pl. [12]-ben leírt kísérleti eredményekkel való összeillesztésére a fűtőanyag kiégési mélységének megváltoztatása nélkül; egy reaktor különböző kampányaira ezen együttható különböző értékekkel használható,
- a program az aktív zóna előéletére vonatkozó, egyéb programok által előállított számítási adatokkal is futtatható [13],
- a hűtőviz hőmérsékleteloszlása pontosabban van kiszámolva,
- a hőhordozóközeg tulajdonságainak figyelembevételére független paraméterként a hűtőviz sűrűsége van bevezetve,

- a reflektor sajátosságai részletesebben vannak figyelembe véve,
- ASSEMBLER szubrutin segíti a memória nagyobb tömbjeinek dinamikus dimenzionálását /ALLOC szubrutin/, a DEFINE FILE utasítás imitálását változó paraméterekkel /DAFDEF szubrutin/, ill. a felhasznált CPU idő figyelését /CPUTME szubrutin/.

BIPR-6

A BIPR-6 program [16] a VVER reaktorok neutronfizikai számításaira kidolgozott BIPR-5 program [2] alapvetően átalakított, továbbfejlesztett változata. Az alkalmazott számítási modell a kétcsoport diffúziós egyenletrendszer megoldására alapul.

Az alapegyenletek

$$- \operatorname{div} D^{\text{gy}} \operatorname{grad} \phi_1 + \Sigma_R \phi_1 = \frac{1}{k_{\text{eff}}} (\nu \Sigma_f^{\text{gy}} \phi_1 + \nu \Sigma_f^{\text{t}} \phi_2)$$

$$- \operatorname{div} D^{\text{t}} \operatorname{grad} \phi_2 + \Sigma_a \phi_2 = \Sigma_T \phi_1$$

a BIPR-6-ban a Helmholtz-egyenletekre vannak visszavezetve:

$$\Delta X^2 + \mu^2 X = 0$$

$$\Delta Y^2 + \nu^2 Y = 0.$$

Az első egyenlet a kazettán belüli megoldás aszimptotikus részének menetét adja meg, a második a közbülső tartományon érvényes. VVER típusu reaktorokban a kazetták anyagi paraméterei és a H_R kazettaméret olyanok, hogy érvényes:

$$\begin{aligned} |\mu^2 H_R^2| &\sim 1 \\ \nu^2 H_R^2 &\geq 1. \end{aligned}$$

A kétcsoportfluxus és a normális áramok folytonossági feltételéből a fluxusok így állnak elő:

$$\Phi_1(r) = X(r) + Y(r)$$

$$\Phi_2(r) = RX(r) + TY(r)$$

$$\bar{\Psi} = \Sigma_f^{gy} \bar{\Phi}_1 + \Sigma_f^t \bar{\Phi}_2 ,$$

ahol $\bar{\Psi}$ a kazettánkénti energia-felszabadulás átlaga:

$$\bar{\Psi} = \frac{1}{v} (\nu \Sigma_f^{gy} + \nu \Sigma_f^t R) \left[1 + \frac{\nu \Sigma_f^t R}{\nu \Sigma_f^{gy} + \nu \Sigma_f^t R} \left(\frac{\bar{\Phi}_2}{R \bar{\Phi}_1} - 1 \right) \right] \bar{\Phi}_1 ,$$

továbbá

$$\frac{k_\infty}{M^2} = \frac{\nu \Sigma_f^{gy} + \nu \Sigma_f^t R}{D^{gy} + D^{tRP}} ,$$

ahol

$$P = \frac{1}{k_{eff}} \frac{\nu \Sigma_f^t R}{\Sigma_T} .$$

Ezen program és a BIPR-5 alapverzió pontossági összehasonlítását még nem végeztük el.

BIPR-7

A VVER típusu reaktorok neutronfizikai számítására alkalmas BIPR-7 program a BIPR-6 program továbbfejlesztett változata.

A fő különbség a BIPR-7 és a BIPR-6 között abban áll, hogy sokkal pontosabban vannak a fűtőanyag kevéscsoport-jellemzői az aktív zóna paramétereivel összefüggésbe hozva; ez az energia-felszabadulás-eloszlás; a kampányhossz, a reaktivitás-együtthatók, a pontkinetikus állapotjelzők és az aktív zóna egyéb neutronfizikai jellemzőinek sokkal pontosabb meghatározásához vezet. A határfeltételek itt is a BIPR-6-belivel azonos módon vannak figyelembe véve.

ORAKSZ

A kazetták zónabeli elhelyezésével kapcsolatos egyik alapkövetelmény az, hogy az energia-fel szabadulás a kazetták között megfelelően egyenletesen oszoljon szét. Ennek biztosítására kidolgoztak néhány kampány-típust, amelynek követésével a VVER-440 reaktorokra megszabott érték alatt marad a kazetták energia-fel szabadulási terhelése. Azonban egy sor ok előadódhat az üzemelés során, amely a megtervezett kampánytól való eltérésre vezethet. Ilyen esetben nem elég csupán az intuición, hanem nagy mennyiségű számítást kell végezni az új betöltési séma meghatározásához.

Különösen erőteljesen jelentkezik ez a probléma a VVER-1000 típusu reaktoroknál, ahol a nagyobb teljesítmény miatt még szigorubb az eloszlás egyenletességére vonatkozó követelmény.

A matematikai feladat: megtalálni a

$$K_q^i = \max_{1 \leq j \leq N} \psi_j^i$$

mennyiségnek /a legnagyobb teljesítményű kazetta egyenlőtlenségi tényezőjének/ az összes lehetséges betöltés szerinti minimumát,

$$\min_{P_i \in P} K_q^i -t.$$

Az ORAKSZ programban realizált megoldás nem az abszolút minimumot, hanem egy már megfelelően kis K_q értéket állít elő.

Irodalomjegyzék

- [1] Gadó J., Maróti L.: A BIPR program termohidraulikai részének bővítése, KFKI-1983-14.
- [2] Петрунин Д.М., Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева: БИПР-5 - программа для расчета трехмерных полей энерговыделений и выгорания топлива в одноклассовом диффузионном приближении, ИАЭ-2518, 1975.
- [3] Петрунин Д.М., Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева: Программа БИПР-5 - Описание структуры и входных данных, ИАЭ-2519, 1976.
- [4] Савчук Ю.И.: Одноклассовый расчет коэффициентов реактивности реактора, времени жизни мгновенных нейтронов и эффективной доли запаздывающих нейтронов. Программа КР, ИАЭ-2158, 1971.
- [5] Петков П.Т.: Программа БИПР-5К, INK anyag, 1977.
- [6] Петков П.Т., Р.И. Проданова, Т.Г. Апостолов: БИПР-5К - усовершенствованная программа для полного расчета нейтронно-физических характеристик реакторов типа ВВЭР-440, Ядерная энергия, 9, Szófia, 1979 /bolgár nyelven/.
- [7] Петков П.Т., Т.Г. Апостолов: Программа БИПР-5К. Руководство для пользования, KFKI-ZR-6/605, 1981.
- [8] Лебедев В.И., В.Е. Апокорина: Применение итерационного метода с использованием Чебышевского ускорения в программе БИПР-5А, INK 10. Szimpóziuma, Jereván, 1981.
- [9] Лебедев В.И., В.Е. Апокорина, Т.Г. Апостолов, П.Т. Петков: Быстродействие различных программных реализаций алгоритма БИПР-5, INK 11. Szimpóziuma, Várna, 1982.
- [10] Кохановская Л.В.: Описание программы ОРАКС /версия на ЭВМ ЕС-1040/, отчет ИАЭ, 1981.
- [11] E. Kaloinen, R. Teräsvirta, P. Siltanen, HEXBU-3D, a three dimensional PWR-simulator program for hexagonal fuel assemblies, TRC Finland, Research report 7/1981.

- [12] Миланова Р.Н., С.Я. Антонов: Примеры повышения точности прогнозирования некоторых НФХ реакторов ВВЭР-440, INK 9. Szimpóziuma, Neubrandenburg, 1980.
- [13] Петков П.Т.: Предложение об унификации формата и содержания библиотек с данными о предистории активной зоны для программ типа БИПР, INK anyag, előkészületben.
- [14] Гадо Я.: Упрощенная модель распределения нейтронного потока в решетках Xn и K91, INK 8. Szimpóziuma, Jadwisin, 1979.
- [15] J. Gadó, The RJG5-THERESA code system, KFKI-73-47, 1973.
J. Gadó, Z. Szatmáry, SOPHIE and CECILY, KFKI-72-64, 1972.
- [16] Мараказов А.А.: Методика расчета мощностей кассет в двухгрупповом диффузионном приближении, ИАЭ-2781, 1977.

1. Függelék Definíciók és képletek összegzése

A felületi forrás megindulásáig a falhőmérsékletben rendelkezésre álló tartalék az n-ik fűtőelem l-ik axiális szakaszán:

$$\Delta T_b^{n,1} = T_{b,o}^{n,1} - T_b^{n,1}, \quad (1)$$

ahol $T_b^{n,1}$ - a fűtőelem falhőmérséklete:

$$T_b^{n,1} = w_{n,1} \frac{K_{n,1}}{\alpha_{n,1} F^*} + T_{n,1}, \quad (2)$$

$K_{n,1}$ - a kötegen belüli egyenlőtlenégi tényező,

$T_{n,1}$ - a hűtőközeg hőmérséklete /l. alább/,

$$w_{n,1} = \frac{N \psi_{n,1}}{n_{\max} l_{\max}}, \quad (3)$$

$\psi_{n,1}$ - az n,1 -ik szakaszbeli energiatranszmisszió és az átlagos energiatranszmisszió aránya,

N - a reaktor hőteljesítménye [w] ,

n_{\max} - a kötegek száma a zónában,

l_{\max} - az axiális szakaszok száma,

F^* - a fűtőelemkötegszakasz fűtőfelülete:

$$F^* = n_k d \Delta z, \quad (4)$$

n_k - a fűtőelemek száma egy kötegben,

d - a fűtőelemek átmérője [m] ,

Δz - egy axiális szakasz hossza [m] ,

$\alpha_{n,1}$ - a hőátadási tényező az n,1 -ik szakaszra $[\frac{J}{m^2 s ^\circ C}]$:

$$\alpha_{n,1} = 0.025 Re_{n,1}^{0.8} Pr_{n,1}^{0.4} \frac{\lambda_{n,1}}{d_1}, \quad (5)$$

$Re_{n,1}$ - a Reynolds-szám:

$$Re_{n,1} = \frac{v_1 d_1 \rho_{n,1}}{\mu_{n,1}}, \quad (6)$$

$Pr_{n,1}$ - a Prandtl-szám:

$$Pr_{n,1} = \frac{\mu_{n,1} c_{p,n,1}}{\lambda_{n,1}}, \quad (7)$$

$\lambda_{n,1}$ - a hővezetési tényező /1. alább/ $[\frac{J}{ms \text{ } ^\circ C}]$,

d_1 - a normális szubcsatorna egyenértékű átmérője [m] :

$$d_1 = \frac{2\sqrt{3P^2 - \pi d^2}}{\pi d}, \quad (8)$$

P - a kötegen belüli rácsosztás [m] ,

$\rho_{n,1}$ - a hűtőközeg sűrűsége /1. alább/ $[\frac{kg}{m^3}]$,

$\mu_{n,1}$ - a hűtőközeg viszkozitása /1. alább/ $[\frac{kg}{ms}]$,

$c_{pn,1}$ - az állandó nyomáshoz tartozó fajhő /1. alább/ $[\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C}]$,

v_n - a hűtőközeg sebessége $[\frac{m}{s}]$:

$$v_n = \frac{Gg_n(1-b)}{n_{max} F}, \quad (9)$$

G - a reaktor hűtőközegforgalma $[\frac{m^3}{s}]$,

g_n - az n-ik közeg forgalma az átlagoshoz képest,

F - a köteg átáramlási keresztmetszete $[m^2]$,

b - a reaktor by-pass relativ hűtőközegforgalma,

valamint $T_{b,0}^{n,1}$ - a forráskezdethez tartozó burkolathőmérséklet (1)-ben:

$$T_{b,0}^{n,1} = T_s + \frac{H_{n,1}}{2} \{1 + \sqrt{1 + 4 \frac{T_s - T_{n,1}}{H_{n,1}}}\}, \quad (10)$$

ahol T_s - a rendszer nyomásához tartozó telítési hőmérséklet,

$$H_{n,1} = \frac{8\sigma_{\alpha n,1}}{\frac{\partial p}{\partial T}|_s \lambda_{n,1}}, \quad (11)$$

σ - a telítési hőmérséklethez tartozó felületi feszültség értéke $[\frac{N}{m}]$ és végül

$\frac{\partial p}{\partial T}|_s$ - a nyomásnak a hőmérséklet szerinti deriváltja a telítési vonalon a rendszer nyomásán $[\frac{N}{m^2 \text{ } ^\circ C}]$.

Ami a fent definiált $T_{n,1}$ hőmérséklet kiszámítását illeti

$$T_{n,1} = T_{ki}^{n,1-1} a - T_{ki}^{n,1} (1-a), \quad (12)$$

ahol a - súlyfaktor ,

$$T_{ki}^{n,1} = T_{be} + \sum_{l'=1}^l \Delta T_{n,1}^{l'} \quad (13)$$

T_{be} - a belépési hőmérséklet,

$$\Delta T_{n,1} = \frac{N\psi_{n,1}}{Gg_n(1-b)\rho(T_{be})c_{pn,1-l}l_{max}} \quad (14)$$

$\rho(T_{be})$ - a hűtőközeg sűrűsége a belépési hőmérsékleten.

A kritikus hőfluxus és a tényleges hőfluxus hányadosa az n -ik fűtőelemköteg l -ik axiális szakaszán:

$$DNBR_{n,1} = \frac{q_{kr}^{n,1} F^*}{w_{n,1} K_{n,1}} \quad (15)$$

ahol

$$q_{kr}^{n,1} = 0.795(1-x_{n,1})^{-0.5+0.105p^*} (\rho_{n,1} v_n)^{-0.127+0.311(1-x_{n,1})} (1-0.0185p^*)10^6 \left[\frac{w}{m^2}\right] \quad (16)$$

$x_{n,1}$ - a lokális gőztartalom:

$$x_{n,1} = \frac{c_p(T_{be}) + \sum_{l'=1}^l \frac{w_{n,1} n_{max}}{Gg_n(1-b)\rho(T_{be})} - c_p(T_s)T_s}{L} \quad (17)$$

p^* - a rendszer nyomása [Mpa],

L - a rendszer nyomásához tartozó rejtett hő $\left[\frac{J}{kg}\right]$.

Végül megjegyezzük, hogy a ρ , c_p , μ és λ mennyiségek hőmérsékletfüggése eleve adott; innen ered a belőlük származó mennyiségek hőmérsékletfüggése. A vonatkozó függések az alábbi alakúak:

$$\rho(T) = \rho(\bar{T}, p^*) (1 + (Q_1 + Q_2(T - \bar{T}))(T - \bar{T})) \quad (18)$$

$$c_p(T) = c_p(\bar{T}, p^*) + (c_{p1} + c_{p2}(T - \bar{T}))(T - \bar{T}) \quad (19)$$

$$\mu(T) = \mu(\bar{T}, p^*) + (\mu_1 + \mu_2(T - \bar{T}))(T - \bar{T}) \quad (20)$$

$$\lambda(T) = \lambda(\bar{T}, p^*) + (\lambda_1 + \lambda_2(T - \bar{T}))(T - \bar{T}). \quad (21)$$

Amint látható, a nyomásfüggéstől eltekintettünk, ami jó közelítés / a program egészében a nominális üzem követésére készült/. \bar{T} a parametrizálás alaphőmérséklete.

2. Függelék Uj bemenő adatok

Valamennyi új bemenő adat értékét a /K8DT/ NAMELIST-es beolvasáson változtathatjuk meg.

Jelölés a képletekben	Változó neve a programban	Dimenzió	Alapértelmezés
p^*	PST	MPa	12.26
T_s	TES	$^{\circ}\text{C}$	326.3
L	ELL	$\frac{\text{J}}{4187 \text{ kg}}$	280.9
σ	SIGX	N/m	$8.577 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\partial p}{\partial T} _s$	DPDTS	$\text{N/m}^2 / ^{\circ}\text{C}$	$1.6 \cdot 10^5$
$\mu(\bar{T}, p^*)$	AMU	kg/m/s	$9.335 \cdot 10^{-5}$
μ_1	DAMU1	$\text{kg/m/s} / ^{\circ}\text{C}$	$-4.1 \cdot 10^{-7}$
μ_2	DAMU2	$\text{kg/m/s} / (^{\circ}\text{C})^2$	0.0
$\lambda(\bar{T}, p^*)$	ALAM	$\text{J/m/s} / ^{\circ}\text{C}$	0.5837
λ_1	DALAM1	$\text{J/m/s} / (^{\circ}\text{C})^2$	$-1.71 \cdot 10^{-3}$
λ_2	DALAM2	$\text{J/m/s} / (^{\circ}\text{C})^3$	$-1 \cdot 10^{-5}$
F	SURF	m^2	$8.688 \cdot 10^{-3}$
d	DDIAM	m	$9.1 \cdot 10^{-3}$
P	PIT	m	0.0122
$K_n(E)$	UNEQ(10)		1.13, 1.17, 1.23, 7×0.0
K^*	REFK		1.2

Megjegyezzük, hogy a (18) és (19) formulák paramétereinek számított / a BIPR-beli használatra nem ajánlott / értékei a következők^{*}:

$\rho(\bar{T}, p^*)$	GAMMA	kg/m^3	750.7/750.6/
Q_1	Q1	$\text{kg/m}^3 / ^{\circ}\text{C}$	-0.00257/-0.0025/
Q_2	Q2	$\text{kg/m}^2 / ^{\circ}\text{C}$	$-1.33 \cdot 10^{-5}$ /-6.928 $\cdot 10^{-5}$ /
$c_p(\bar{T}, p^*)$	CP	$\text{J}/4187/\text{kg}/^{\circ}\text{C}$	1.250/1.249/
c_{p1}	DCPDT1	$\text{J}/4187/\text{kg}/(^{\circ}\text{C})^2$	-0.00515/0.0/
c_{p2}	DCPDT2	$\text{J}/4187/\text{kg}/(^{\circ}\text{C})^3$	$7.6 \cdot 10^{-5}$ /0.0/

^{*} Zárójelben az alapértelmezés.

T= 0.0 TEFF= 0.0 KIND=3 IUPR=1 JXE=1 KP=0

RASPREDELJENIE PO OSEMU AKTIVNOJ ZONI ZAPASA DO KIPENIJA

DTMIN= -1.000 IN ELEMENT N= 57 M= 4

PEREMNOJITE NA *** 10 ***

NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8	NR 9	NR 10	NR 11	NR 12	NR 13	NR 14	NR 15
0.0	1.3243	0.0192	-0.1000	0.9919	1.4255	0.0	0.8204	-0.1000	2.0480	0.1497	0.8110	0.0451	0.3944	0.7611
0.0	1.1695	-0.1000	-0.1000	0.6556	1.1771	0.0	0.5363	-0.1000	1.8257	-0.1000	0.4463	-0.1000	0.0239	0.4721
0.0	0.4856	-0.1000	-0.1000	0.4273	1.1027	0.0	0.3443	-0.1000	1.6627	-0.1000	0.2014	-0.1000	-0.1000	0.2710
0.0	0.7010	-0.1000	-0.1000	0.2469	0.5198	0.0	0.1447	-0.1000	1.5573	-0.1000	0.0264	-0.1000	-0.1000	0.0594
-0.1000	0.1537	-0.1000	-0.1000	0.0634	0.2595	-0.1000	-0.1000	-0.1000	1.5023	-0.1000	-0.1000	-0.1000	-0.1000	-0.1000
-0.1000	0.2965	-0.1000	-0.1000	0.2691	0.3882	-0.1000	-0.1000	-0.1000	1.6654	-0.1000	0.1555	-0.1000	-0.1000	-0.1000
0.1590	0.2618	-0.1000	-0.1000	0.3432	0.9373	0.1459	0.2547	-0.1000	2.0494	-0.1000	0.7471	-0.1000	0.1444	0.1843
1.1403	1.7607	0.9173	0.9264	1.7444	1.9179	1.1569	1.2372	0.7535	2.7126	0.9799	1.6675	1.0133	1.1475	1.1934
2.5511	2.9441	2.1645	2.3543	2.9537	3.0005	2.5237	2.5713	2.2433	3.5994	2.4073	2.9973	2.4301	2.5345	2.5531
4.2227	4.4264	4.1292	4.1311	4.4188	4.4422	4.2035	4.2216	4.0244	4.7137	4.1509	4.3931	4.1615	4.2144	4.2197
NR 16	NR 17	NR 18	NR 19	NR 20	NR 21	NR 22	NR 23	NR 24	NR 25	NR 26	NR 27	NR 28	NR 29	NR 30
1.5622	1.3402	0.4743	3.0418	0.8111	0.0519	1.1317	1.3364	0.6615	0.6370	0.1130	2.0467	0.0451	1.1314	0.6312
1.3234	1.0394	0.0871	2.9477	0.4463	-0.1000	0.7939	1.0276	0.3094	0.2707	-0.1000	1.7943	-0.1000	0.7939	0.2524
1.1610	0.4150	-0.1000	2.7300	0.2017	-0.1000	0.5682	0.8204	-0.0771	0.0366	-0.1000	1.6333	-0.1000	0.4683	0.0033
0.9929	0.6496	-0.1000	2.6600	0.0268	-0.1000	0.4055	0.6564	-0.1000	-0.1000	-0.1000	1.5407	-0.1000	0.4656	-0.1000
0.4453	0.4745	-0.1000	2.6387	-0.1000	-0.1000	0.3007	0.4774	-0.1000	-0.1000	-0.1000	1.5201	-0.1000	0.3007	-0.1000
0.5443	0.6501	-0.1000	2.7634	0.1555	-0.1000	0.5170	0.6661	-0.1000	-0.1000	-0.1000	1.6941	-0.1000	0.5170	-0.1000
1.0930	1.1475	0.4174	3.0573	0.7471	0.0299	1.0696	1.1981	0.4489	0.5160	0.0935	2.0945	-0.1000	1.0696	0.5675
1.9344	1.9485	1.3453	3.5252	1.6675	1.0753	1.9315	2.0345	1.4107	1.4569	1.0866	2.7334	1.0133	1.9315	1.5163
3.0795	3.1032	2.6211	4.1735	2.8972	2.4748	3.0840	3.1551	2.7054	2.7294	2.4436	3.6094	2.4300	3.0840	2.7475
4.4760	4.4820	4.2292	4.9920	4.3931	4.1834	4.0484	4.5163	4.2948	4.3000	4.1448	4.7146	4.1615	4.4444	4.3379
NR 31	NR 32	NR 33	NR 34	NR 35	NR 36	NR 37	NR 38	NR 39	NR 40	NR 41	NR 42	NR 43	NR 44	NR 45
1.4447	1.4313	1.5422	1.3722	0.3944	1.3363	1.4487	0.6562	0.7045	0.7637	3.1035	0.7612	0.6615	1.4313	0.7045
1.1323	1.1086	1.2227	1.0383	0.0240	1.0276	1.1323	0.2632	0.3074	0.3707	2.9023	0.4723	0.3097	1.1087	0.3074
0.9241	0.4064	1.0292	0.8413	-0.1000	0.8207	0.9241	0.0206	0.0714	0.1432	2.7983	0.2711	0.0771	0.9068	0.0714
0.7598	0.7817	0.4226	0.7420	-0.1000	0.6568	0.7894	-0.1000	-0.1000	0.0416	2.7407	0.0595	-0.1000	0.7417	-0.1000
0.7064	0.7236	0.9929	0.7464	-0.1000	0.4774	0.7064	-0.1000	-0.1000	0.0770	2.7654	-0.1000	-0.1000	0.7236	-0.1000
0.9144	0.9405	1.1230	0.9737	-0.1000	0.6661	0.9144	0.1243	0.2484	0.3546	2.9117	-0.1000	-0.1000	0.9405	0.2484
1.4261	1.4086	1.6090	1.4592	0.1463	1.1981	1.4261	0.7202	0.8309	0.9147	3.2039	0.1843	0.4484	1.4484	0.8309
2.2213	2.2345	2.3554	2.2127	1.1674	2.0345	2.2213	1.6356	1.7193	1.7715	3.6537	1.1933	1.4107	2.2345	1.7193
3.2859	3.2896	3.3659	3.2441	2.5384	3.1551	3.2859	2.8644	2.9157	2.9360	4.2697	2.5531	2.7054	3.2896	2.9154
4.5914	4.5800	4.6114	4.5376	4.2144	4.5183	4.5814	4.3706	4.3907	4.3492	5.0414	4.2197	4.2937	4.5800	4.3907
NR 46	NR 47	NR 48	NR 49	NR 50	NR 51	NR 52	NR 53	NR 54	NR 55	NR 56	NR 57	NR 58	NR 59	
1.2534	2.5243	1.5623	0.6371	1.5423	0.7639	2.5243	1.3402	0.1131	1.3722	3.1035	0.4744	2.0674	3.0419	
0.8984	2.2746	1.3214	0.2708	1.2227	0.3707	2.2746	1.0396	-0.1000	1.0384	2.9023	0.0872	1.7944	2.4477	
0.6935	2.1342	1.1611	0.0367	1.0292	0.1433	2.1342	0.8450	-0.1000	0.8414	2.7983	-0.1000	1.6334	2.7300	
0.6754	2.0791	0.9930	-0.1000	0.9226	0.0416	2.0791	0.6896	-0.1000	0.7421	2.7408	-0.1000	1.5407	2.6600	
0.6477	2.1170	0.4453	-0.1000	0.9029	0.0770	2.1170	0.4748	-0.1000	0.7465	2.7655	-0.1000	1.5202	2.6347	
0.9055	2.3006	0.5643	-0.1000	1.1230	0.3546	2.3006	0.6504	-0.1000	0.9738	2.9117	-0.1000	1.6941	2.7634	
1.4154	2.6590	1.0910	0.5160	1.6080	0.9147	2.6590	1.1675	0.0935	1.4592	3.2139	0.4171	2.0945	3.1573	
2.1917	3.2044	1.9344	1.4569	2.3554	1.7715	3.2044	1.9485	1.0866	2.2126	3.6537	1.3453	2.7334	3.5252	
3.2444	3.9540	3.1745	2.7294	3.3659	2.9360	3.9540	3.1031	2.4434	3.2441	4.2697	2.6211	3.6094	4.1735	
4.5449	4.4874	4.4754	4.3000	4.6114	4.3492	4.4475	4.4420	4.1444	4.5376	5.0414	4.2292	4.7146	4.9920	

3. Fittigler's A biztonsági ténylegk. Kinyomtatott előzetsza

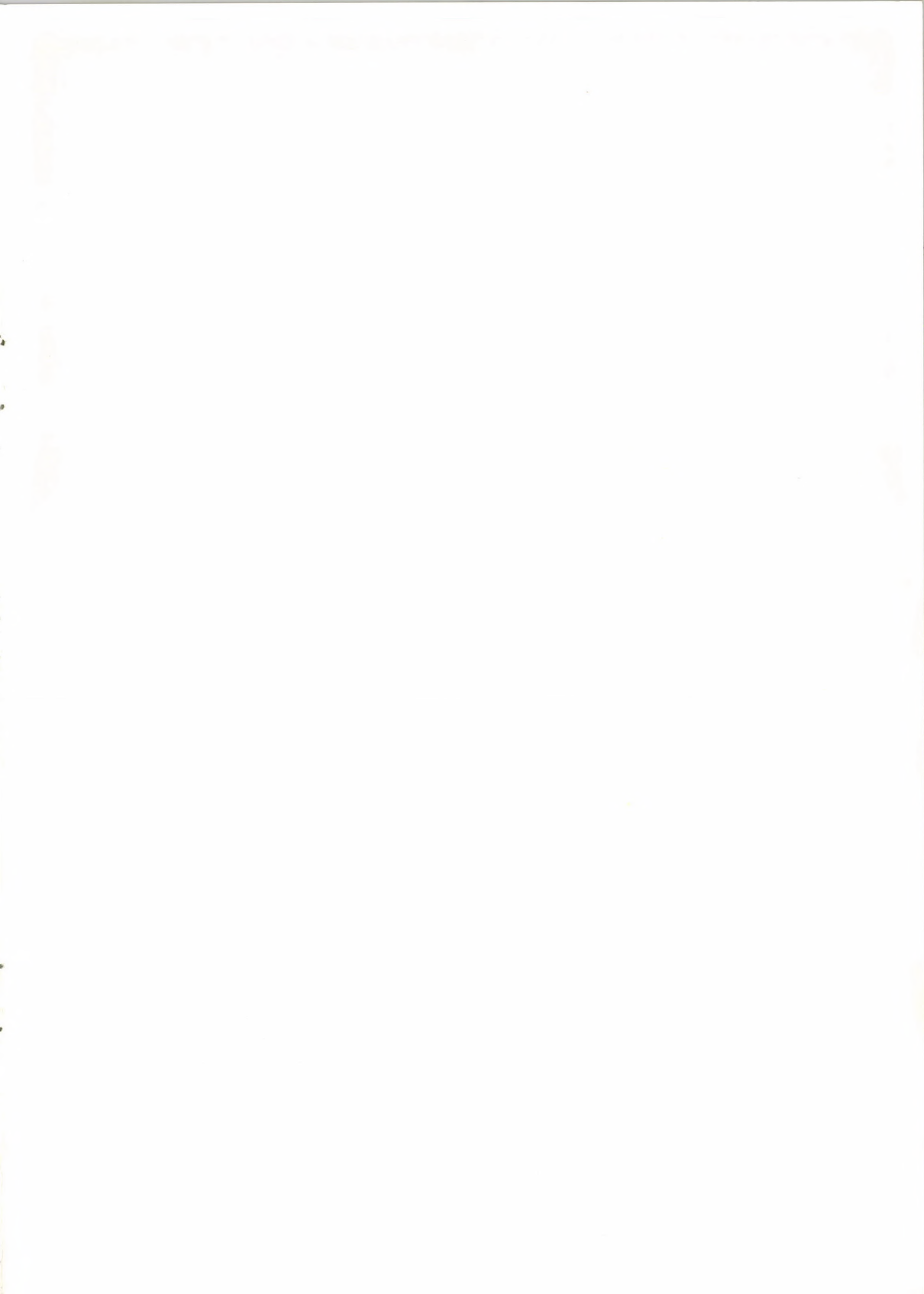
T= 0.0 TEFF= 0.0 KIND=3 IUPR=1 JXE=1 KP=0

RASPREDELENIE PO OREMU AKTIVNOJ ZONE FAKTORA DNBR

DNBRMIN= 3.116 IN ELEMENT № 9 M= 5

PEREMNOJTE NA * * * 10 * * *

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15
0.0	3.1844	1.8934	1.5953	2.3020	3.2459	0.0	2.6064	1.6115	3.1784	1.8030	2.0970	1.4514	1.9562	2.5451
0.0	1.4075	0.8309	0.7836	1.1237	1.5774	0.0	1.2412	0.8014	1.5717	0.8430	1.0200	0.4110	0.9582	1.2430
0.0	1.1005	0.5457	0.5357	0.7602	1.0538	0.0	0.8670	0.5538	1.0778	0.5993	0.4930	0.5540	0.6499	0.8489
0.0	0.7192	0.4276	0.4099	0.5690	0.7532	0.0	0.4266	0.4227	0.8214	0.4494	0.5254	0.4232	0.4450	0.6102
0.3932	0.4570	0.3394	0.3363	0.4432	0.4706	0.3957	0.3931	0.3334	0.6637	0.3465	0.4244	0.3459	0.3694	0.3936
0.3454	0.3129	0.3178	0.3181	0.4100	0.4224	0.3460	0.3555	0.3114	0.6459	0.3234	0.3945	0.3244	0.3430	0.3474
0.3674	0.4114	0.3391	0.3388	0.4294	0.4402	0.3428	0.3725	0.3284	0.6152	0.3437	0.4149	0.3479	0.3425	0.3459
0.4315	0.5070	0.4036	0.4043	0.5047	0.5158	0.4292	0.4387	0.3883	0.6968	0.4098	0.4934	0.4133	0.4302	0.4332
0.6014	0.7002	0.5648	0.5657	0.6966	0.7104	0.5961	0.6062	0.5369	0.9271	0.5730	0.6424	0.5774	0.5991	0.6022
1.2149	1.4057	1.1431	1.1446	1.3975	1.4229	1.1995	1.2140	1.0719	1.7989	1.1591	1.3707	1.1670	1.2082	1.2125
№ 16	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24	№ 25	№ 26	№ 27	№ 28	№ 29	№ 30
3.3733	2.4012	1.8224	4.7316	2.0970	1.6471	2.3227	2.5343	2.0921	1.9454	1.6105	3.0929	1.6514	2.3220	1.9562
1.6488	1.2412	0.9077	2.3350	1.0200	0.4091	1.1346	1.2424	1.0292	0.9814	0.8032	1.5151	0.4110	1.1344	0.9407
1.1091	0.4743	0.4221	1.5975	0.6930	0.5534	0.7700	0.8514	0.7020	0.6751	0.5592	1.1457	0.5441	0.7700	0.5602
0.7948	0.4514	0.4459	1.2163	0.5258	0.4245	0.5424	0.4145	0.5264	0.5164	0.4359	0.3089	0.4232	0.5424	0.5001
0.4946	0.4053	0.3982	0.9463	0.4264	0.3510	0.4491	0.4924	0.4004	0.4054	0.3619	0.6660	0.3459	0.4491	0.4065
0.4431	0.4531	0.3721	0.8902	0.3945	0.3320	0.4359	0.4532	0.3707	0.3778	0.3414	0.6120	0.3244	0.4359	0.3804
0.4593	0.4492	0.3944	0.8778	0.4189	0.3529	0.4554	0.4719	0.3894	0.3964	0.3594	0.6216	0.3470	0.4354	0.4007
0.5353	0.5441	0.4524	0.9856	0.4934	0.4200	0.5337	0.5510	0.4594	0.4456	0.4222	0.7027	0.4133	0.5337	0.4724
0.7332	0.7409	0.6174	1.2860	0.6924	0.5861	0.7346	0.7565	0.6354	0.6413	0.5807	0.9321	0.5774	0.7346	0.6504
1.4616	1.4682	1.2174	2.4538	1.3707	1.1841	1.4710	1.5120	1.2755	1.2411	1.1543	1.4005	1.1670	1.4710	1.3154
№ 31	№ 32	№ 33	№ 34	№ 35	№ 36	№ 37	№ 38	№ 39	№ 40	№ 41	№ 42	№ 43	№ 44	№ 45
2.5343	2.4576	2.4842	2.2994	1.9543	2.5443	2.5343	1.8569	1.8305	1.8351	4.5443	2.5452	2.0925	2.4576	1.8305
1.2428	1.2106	1.2290	1.1461	0.9583	1.2626	1.2428	0.9197	0.9109	0.9180	2.2551	1.2430	1.0292	1.2104	0.9109
0.8481	0.8319	0.8499	0.7983	0.6499	0.8544	0.8481	0.6373	0.6359	0.6445	1.5614	0.8489	0.7020	0.8319	0.6359
0.6454	0.6397	0.6604	0.6261	0.4850	0.6385	0.6454	0.4975	0.5024	0.5128	1.2192	0.6102	0.5264	0.6397	0.5024
0.5216	0.5236	0.5501	0.5290	0.3696	0.4928	0.5216	0.4186	0.4294	0.4424	1.0260	0.3836	0.4007	0.5236	0.4294
0.4837	0.4875	0.5134	0.4949	0.3430	0.4532	0.4837	0.3959	0.4084	0.4204	0.9417	0.3473	0.3707	0.4875	0.4084
0.5028	0.5065	0.5312	0.5104	0.3625	0.4718	0.5028	0.4166	0.4289	0.4393	0.9446	0.3659	0.3894	0.5065	0.4289
0.5850	0.5878	0.6126	0.5854	0.4302	0.5510	0.5850	0.4893	0.5016	0.5101	1.0507	0.4332	0.4594	0.5878	0.5016
0.8000	0.8015	0.8295	0.7869	0.5991	0.7565	0.8000	0.6741	0.6877	0.6936	1.3725	0.6021	0.6354	0.8015	0.6877
1.5944	1.5924	1.6366	1.5363	1.2082	1.5120	1.5944	1.3479	1.3682	1.3667	2.6217	1.2125	1.2755	1.5924	1.3682
№ 46	№ 47	№ 48	№ 49	№ 50	№ 51	№ 52	№ 53	№ 54	№ 55	№ 56	№ 57	№ 58	№ 59	
2.1403	3.4411	3.3734	1.9457	2.4843	1.8351	3.4412	2.6013	1.6105	2.2994	4.5464	1.8224	3.0931	4.7314	
1.0673	1.7128	1.6489	0.9818	1.2291	0.9180	1.7128	1.2412	0.8033	1.1461	2.2551	0.9077	1.5152	2.3350	
0.7471	1.1933	1.1091	0.6752	0.8494	0.6445	1.1933	0.8743	0.5592	0.7983	1.5614	0.6291	1.0458	1.5975	
0.5932	0.9403	0.7968	0.5144	0.6604	0.5128	0.9403	0.6547	0.4353	0.6261	1.2192	0.4459	0.4070	1.2164	
0.5112	0.5016	0.4946	0.4058	0.5501	0.4424	0.5112	0.4953	0.3614	0.5290	1.0260	0.3982	0.4460	0.9443	
0.4839	0.7445	0.4431	0.3778	0.5134	0.4204	0.7445	0.4531	0.3414	0.4949	0.9417	0.3721	0.4120	0.4839	
0.5030	0.7554	0.4593	0.3964	0.5312	0.4393	0.7554	0.4692	0.3594	0.5104	0.9446	0.3884	0.4214	0.4974	
0.5810	0.8499	0.5353	0.4655	0.6126	0.5101	0.8499	0.5441	0.4222	0.5854	1.0507	0.4524	0.7027	0.4954	
0.7865	1.1214	0.7332	0.6413	0.8295	0.6936	1.1214	0.7409	0.5807	0.7469	1.3725	0.6174	0.9321	1.2860	
1.5483	2.1602	1.4616	1.2411	1.6366	1.3667	2.1602	1.4682	1.1543	1.5363	2.6217	1.2174	1.4005	2.4534	



63.461



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Valkó János
Példányszám: 54 Törzsszám: 83-748
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1983. december hó