

Fűtőelem konverzió a Budapesti Kutatóreaktorban

Patriskov Gábor, Benkovics István

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: 392 2222

Az RERTR (*Reduced Enrichment for Research and Test Reactors*) program keretén belül folyamatban van a Budapesti Kutatóreaktor magas dúsítású fűtőelemeinek lecserélése alacsony dúsításúakra. A cikkben bemutatjuk az átállás előzményeit, előkészítésének és folyamatának történetét, kezdve a megelőző számításoktól az első alacsony dúsítású zóna tervéig.

Bevezető

A Budapesti Kutatóreaktor (BKR) könnyűvízzel moderált és hűtött, berilliummal (radiálisan) és könnyűvízzel (axiálisan) reflektált termikus reaktor. Feladata kettős, egyrészt a magyarországi neutronfizikai kutatásokhoz szolgáltat neutronokat, másrészt cél izotópok besugárzásával az orvostudományban és az iparban használt izotópok gyártásában vesz részt.

A BKR építése egy a Szovjetunióval 1955-ben kötött segítségnyújtási megállapodás alapján kezdődött 1956-ban. A reaktort 1959-ben tették először kritikussá. Ezt követően 1967-ben egy kisebb rekonstrukció eredményeként az eredeti 2 MW-os termikus teljesítményt 5 MW-ra növelték. A következő fejlesztésre a 80-as években került sor, célja a teljesítmény 10 MW-ra való emelése és a termikus neutronfluxus növelése volt. A rekonstrukció 1990-ben fejeződött be, a felújított reaktor fizikai indítása 1992 decemberében volt. Az első menetrend szerinti üzemi ciklusra 1993 szeptemberében került sor [3].

A Globális Veszélycsökkentési Kezdeményezést az USA Energiaügyi Minisztériuma javasolta, amely a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség és számos további ország támogatását élvezi. A kezdeményezéshez a BKR több programon keresztül is csatlakozott 1998-ban. Az első program a kutató- és tesztreaktorok nukleáris fűtőelemeinek dúsítás csökkentését célozza meg, amelynek keretén belül a BKR-ben használt magas dúsítású üzemanyagokat (friss üzemanyag U-235 dúsítása nagyobb 20%-nál) alacsony dúsításúra cserélik (friss üzemanyag 20% alatti U-235 izotópot tartalmaz). A második program az orosz gyártású magas dúsítású fűtőelemek Oroszországba való visszaillesztését célozza meg, amelynek keretén belül a kiégett magas dúsítású fűtőelemek kiszállítását 2008 szeptemberében részben megvalósították. Ezzel egy időben a kiszállítási program részeként megérkeztek a friss alacsony dúsítású fűtőelemek.

A Budapesti Kutatóreaktorban használt fűtőelem típusok

Az 1967-es átalakításáig a reaktorban 10%-os dúsítású EK-10-es fűtőelemeket használtak. Az átalakított reaktor VVR-SzM fűtőelemeket tartalmazott, amelyek dúsítása 36%-os volt.

A fűtőelemek geometriája ekkor változott négyszög keresztmetszetűről hatszög keresztmetszetűre, és az aktív zónát Be-reflektorral vették körül [3]. 1994-től VVR-M2 HEU (Highly-enriched Uranium) fűtőelemeket is helyeztek a zónába.

Az új VVR-M2 LEU (Low enriched Uranium) fűtőelemek geometriája teljesen megegyezik a VVR M2 HEU fűtőelemkével. Az alacsony dúsítás ellenére a nagyobb urán sűrűség miatt a LEU fűtőelemek tartalmazzák a legtöbb U-235 izotópot (1. táblázat).

1. táblázat A fűtőelemek paramétereit

Adat	VVR-SzM	VVR-M2 HEU	VVR-M2 LEU
Dúsítás [%]	36	36	19,7
Borítás anyaga	reaktor tisztaságú SzAV-1	reaktor tisztaságú SzAV-1	reaktor tisztaságú SzAV-1
Borítás vastagsága [mm]	0,9	0,75	0,75
Elem vastagsága [mm]	2,5	2,5	2,5
Hasadóanyag összetétel	UAl ₄ eutektikum Al porral diszpergálva	UO ₂ +Al keverék	UO ₂ +Al keverék
Hasadóanyag vastagsága az elemekben [mm]	0,7	1	0,98
Elemek száma a kötegben	3	3	3
Nominális aktív hossz [mm]	600	600	600
Egy köteg átlagos ²³⁵ U tartalma [g]	38,9	44	50

A konverzió menetrendjének megvalósítása

Az alacsony dúsításra való átállásnak két módja lehetséges. Az első opció a teljes HEU zóna kirakása, és az új LEU zóna berakása. A fűtőelemek maximális kihasználtságának érdekében az előző megoldás nem lenne hatékony, továbbá új fizikai indítást igényelne, ezért a gyakorlatban egy másik lehetőséggel élünk: vegyes zónakonfigurációkon keresztül valósítjuk meg az átállást.

Zóna átrakási stratégiák

A fűtőelemek dúsításától függetlenül az aktuális zónakonfigurációnak számos előírásnak és követelménynek kell egyszerre megfelelni. Ezek a következők:

- Az induló reaktivitás tartalék legyen elégséges a kívánt kampányhossz teljesítéséhez, az izotóp-besugárzáshoz szükséges reaktivitás biztosításához.
- Az abszorbens rudazatokra vonatkozó reaktivitás értékségek feleljenek meg az előirtaknak.
- A fűtőelemek ne lépjenek túl a zónában való megengedett tartózkodási időt (max. 5 év), valamint a maximálisan megengedett kiegészítettséget, de az utóbbit minél jobban közelítsék meg.
- A zónára vonatkozó teljesítmény egyenlőtlenégi korlátok ne sérüljenek.
- A vízszintes és függőleges besugárzó csatornák neutron fluxusa feleljen meg a felhasználói igényeknek;
- Törekedni kell az egyensúlyi zónára, hogy a zónaciklusok hasonlóak legyenek.

A zónák átrakási stratégiájánál HEU, LEU és vegyes összetételű fűtőelemek esetén is közös elvet követünk [4]. A zónában töltött időtartam szerint a fűtőelemeket korcsoportokra osztjuk. Egy korcsoportban 38 zónapozíciót elfoglaló fűtőelem van. A fűtőelemek lehetnek egyes fűtőelemek (korcsoportonként 20 db), valamint hármas fűtőelem kötegek (korcsoportonként 6 db), az utóbbiakat a könnyebb zónán belüli mozgathatóság kedvéért három egyes fűtőelem egymáshoz kapcsolásával gyártják. Az egyensúlyi zónára való törekvés érdekében mindig ugyanannyi számú (egyes fűtőelemben számolva) fűtőelem kerül a zónába, ahány kikerült. A tiszta HEU zónában összesen 228 pozíció van fűtőelemekkel megtöltve (M-1. ábra) míg ez a szám a LEU zónára 190-re csökken (M-2. ábra), tehát az utolsó átmeneti zónában két korcsoport fűtőelem kerül ki a zónába és csak egy korcsoport fog bekerülni.

Zónaátrakáskor a zónában legrégebben benn lévő fűtőelemeket rakják ki. Az új konfiguráció betöltése a következő szerint alakul: a zóna belső pozícióiba a K1 rúd (lásd M-1 és M-2 melléklet) köré helyezik el a második korcsoportos fűtőelemeket. A nagyobb korcsoport számú fűtőelemek rendre a fiatalabb fűtőelem kötegek köré kerülnek, amíg el nem érjük a zóna legszélső pozícióit, ahol a legöregebb és legfiatalabb fűtőelem kötegeket telepítjük. A friss fűtőelemek zóna szélére való helyezését, a függőleges besugárzó csatornában történő izotópgyártás hatékonysága követeli meg.

Az átmeneti zónákban a LEU kötegek nagyobb U-235 tartalma miatt az egyenlőtlenégi tényezők limitsértéseire különös gondot kell fordítani. Ennek érdekében a zónában

található, hármas besugárzó csatornákat (vízlyukakat) harmadik és negyedik korcsoportos fűtőelemekkel vesszük körbe, amely fűtőelemek kielégítik az egyenlőtlenégi tényezőkre kirótt megszorításokat.

Megvalósíthatósági számítások

Először a tisztán LEU zóna megvalósíthatóságának a számítására került sor. A számításokat a chicagói Argonne National Laboratory-val közösen készítette a KFKI AEKI. A munka során MCNP-t (Monte Carlo kód a részecske transzport számítására), DIF3D-t (véges differencia módszert használó 7 csoport diffúziós kód) és REBUS-DIF3D-t (a teljes zóna kiegészítés számítását végző kódot) használtak.

Mivel az egyensúlyi HEU zónák 228 fűtőelemmel üzemeltek, ezért az előző fejezetben említett zónatervezési stratégia szerint a LEU egyensúlyi zónára is 228 fűtőelemmel végezték a számítást. Az eredmények szerint a három fűtőelem típus közül a LEU fűtőelemekkel működő egyensúlyi zóna képes a leghosszabb kampányok megvalósítására (VVR-SzM és VVR-M2 HEU kötegeknél 85 és 99 nap, addig a VVR-M2 LEU kötegnél 128 nap [1]). Ez a nagyobb U-235-ös tartalommal magyarázható. A nagyobb urántartalom ugyanakkor a 10 MW-os névleges teljesítményen a besugárzó csatornák termikus neutronfluxusának 10%-os csökkenésével jár [1].

Validációs számítások

A validációs számítások során az AEKI által fejlesztett kódokat nemzetközileg elismert kódokkal hasonlították össze. Ebben a programban a MULTICELL (spektrumszámító és kevéscsoport állandó meghatározására alkalmas transzport kód) és KIKO3D kutatóreaktoros változatát (háromdimenziós nodális módszereket használó 2 csoport diffúziós kód) hasonlították össze rendre a WIMS-ANL és REBUS-DIF3D kódokkal. A számítások eredményeit az 1. ábra mutatja [2].

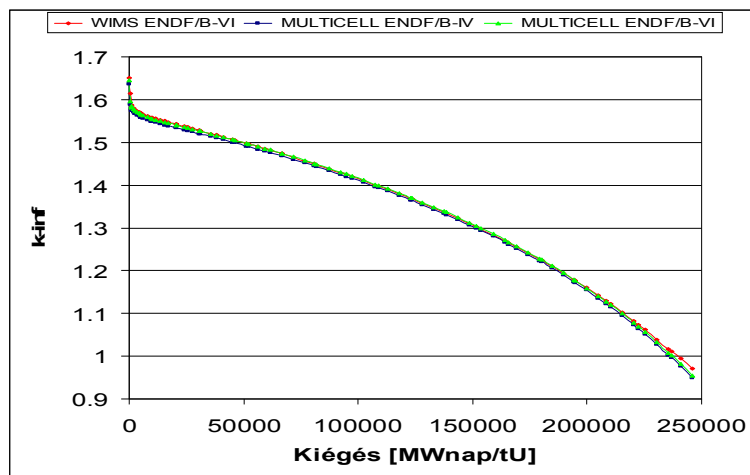
Átállás alacsony dúsítású fűtőelemekre

A validálás és az előzetes számítások elvégzése után, 2009-ben az első vegyes zóna indulásával elkezdődött a négy kampányon keresztül tartó HEU-LEU zónakonverzió.

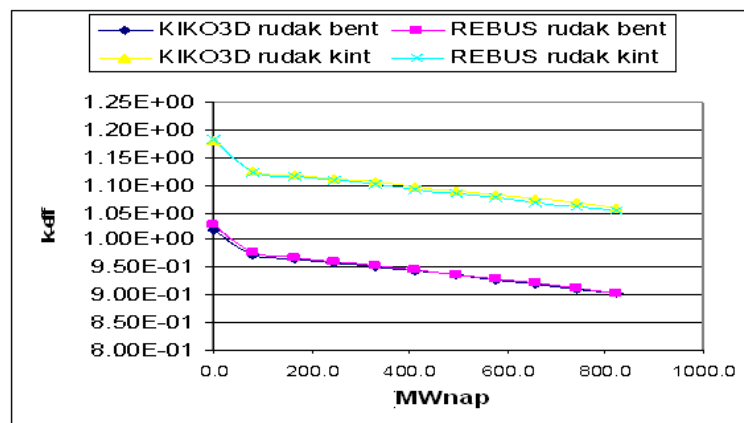
2. táblázat Az átmeneti kampányok jellemző adatai

Kampány	Nr	HEU	LEU	Ciklus [óra] (terv)	Üzemóra [óra]	Indul	Leáll
N°28 HEU-LEU 1	228	190	38	8x234	1873	2009. december	2010. június
N°29 HEU-LEU 2	228	152	76	11x234	2576	2010. október	2011. május
N°30 HEU-LEU 3	228	114	114	12x234	2809	2011. június	2012. március
N°31 HEU-LEU 4	228	76	152	10x234	2340	2012. április	2012. november*
N°32 LEU 1	190	0	190	10x234	2340	2013. január*	

* Tervezett dátum és reaktor üzemóra



1. ábra: VVR-SzM fűtőelemre vonatkozó spektrális számítások összehasonlítása [1]



2. ábra: KIKO3D és REBUS programok összehasonlítása N°1 zónára.
(132 db fűtőelemszám VVR-SzM kötegek, az 1993-ban induló friss zóna konfiguráció.)

Összegzés

A 2. táblázatban az átmeneti kampányok legfontosabb adatai találhatóak. Mivel LEU kötegekkel hosszabb kampányok tervezhetők [1], a fűtőelemek számának csökkenésével igyekszünk elérni a kampány hosszának megtartását. Ez azt jelenti, hogy a negyedik vegyes zónát követő átrakáskor a két HEU korcsoportba tartozó 2x38 db egyes fűtőelemnek megfelelő kiegészített üzemanyag helyett egy korosztálynyi (38 db) friss LEU fűtőelem kerül. Az első tisztán alacsony dúsítású zóna besugárzó csatornáinak bemérésére értelemszerűen még nem került sor. A számítások viszont rámutatnak, hogy a 190 fűtőelemmel ugyanolyan termikus neutronfluxusok is elérhetők a zónában lévő csatornáknál. A vízszintes és a Be-palástba épített függőleges csatornáknál feltehetőleg tudjuk tartani az eddigi neutronfluxus szinteket.

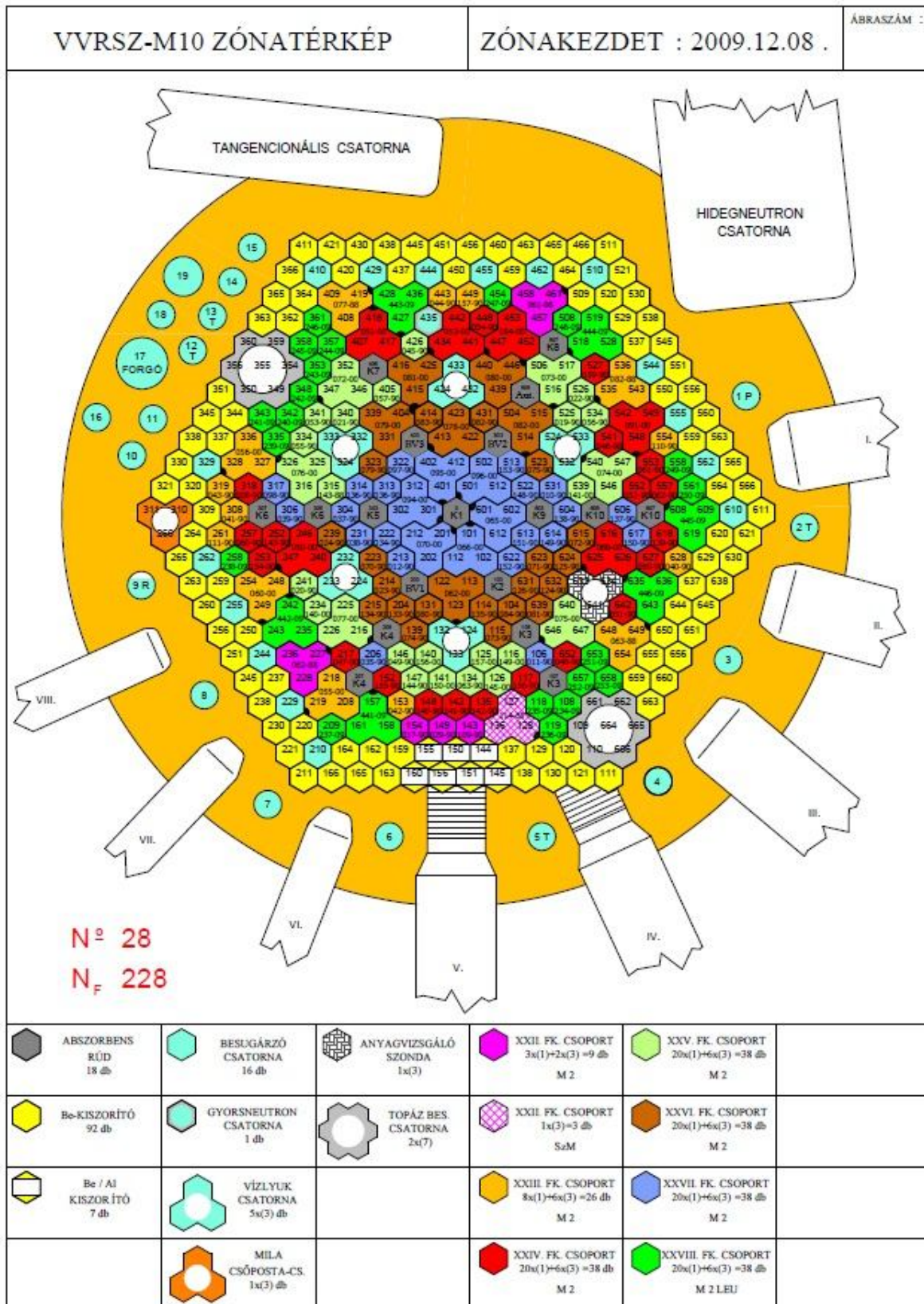
A Budapesti Kutatóreaktor zónakonverziója megfelelő ütemben halad, így 2013-ra a N°32 kampányban már csak alacsony dúsítású fűtőelemekkel fog üzemelni. Az előzetes zónaszámításokra alapozva a kisebb zónával is sikerült kielégíteni a kutatási és izotópgyártási igényeket.

A GRTI kezdeményezés további programjához igazodva, a kiegészített magas dúsítású VVR-SzM és VVR-M2 üzemanyagokat valamint a 60-as években használt EK-10 fűtőelemeket 2008-ban visszazállították Oroszországba. Hátra van még a kiszállítást megelőző kampányokból a zónából kikerülő, valamint a zónakonverzióban elhasznált magas dúsítású fűtőelemek visszazállítása Oroszországba, amelyekre a fűtőelemek megfelelő mennyiségű ellenőrzött tárolása után kerülhet sor, a 2010-es évek közepén.

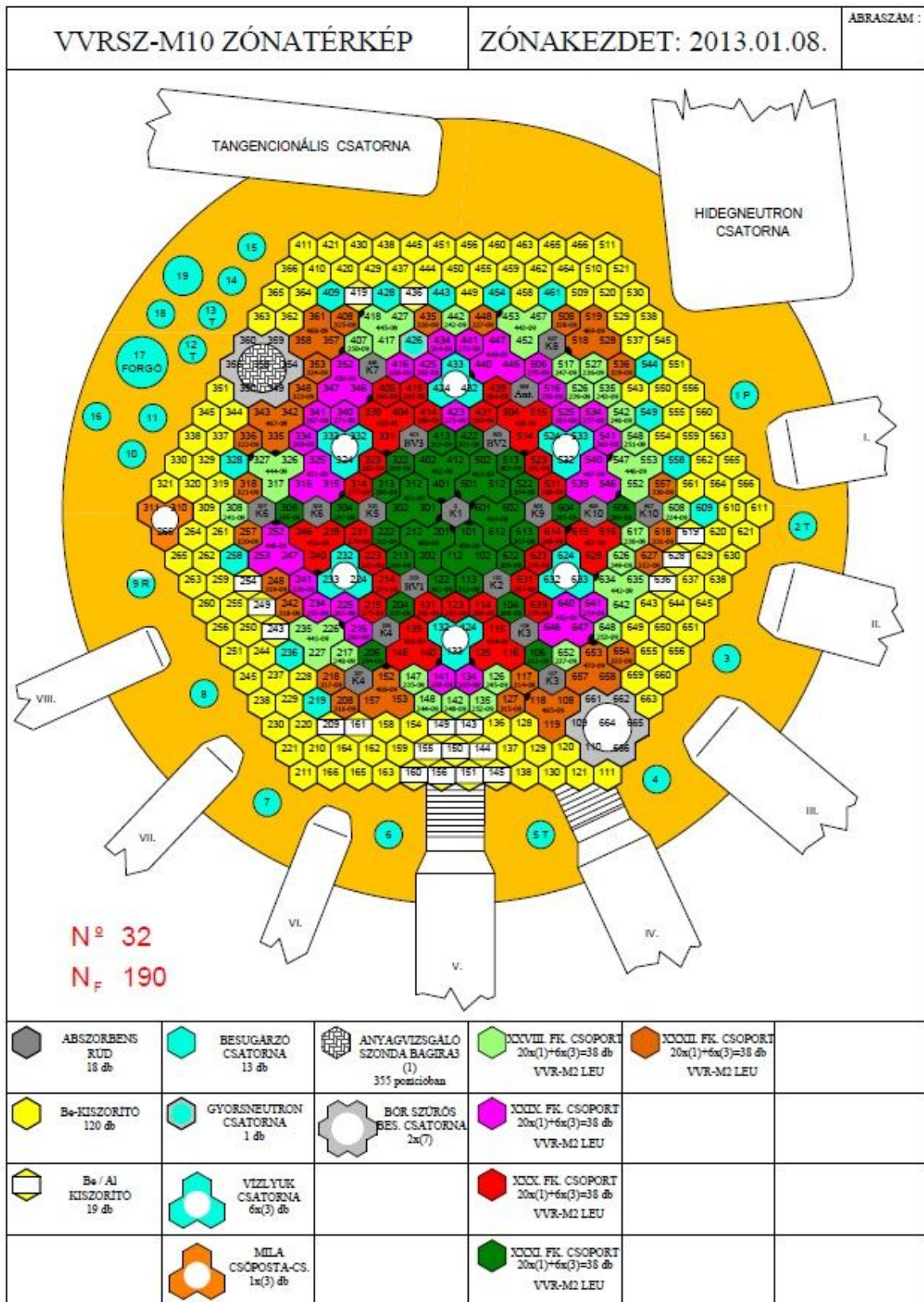
Irodalomjegyzék

- [1] R. B. Pond, N. A. Hanan, J.E. Matos, Csaba Maráczy, *A Neutronic Feasibility Study for LEU Conversion of the Budapest Research Reactor, Proceedings of the 21st International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Sao Paulo, Brazil, October 18-23, 1998.*
- [2] Hegyi György, Hordósy Gábor, Keresztúri András, Maráczy Csaba, Szilágyi Imre, Telbisz Margit, Temesvári Emese, *A KIKO3D program validálása a Budapesti Kutatóreaktor kampánytervezési számításaihoz, Budapest, Magyarország, 2006.*
- [3] S. Tózsér: *Full scale reconstruction and upgrade of Budapest Research Reactor, Research Reactor Modernization and Refurbishment IAEA technical paper, Austria, Vienna 2009.*
- [4] T. Hargitai: *Refuelling Strategy at the Budapest Research Reactor, Proceedings of the 2nd International Meeting on Research Reactor Fuel Management, Bruges, Belgium, March 29-31, 1998.*

Melléklet



M-1. ábra: az első átmeneti zóna képe



M-2. ábra: Az alacsony dúsítású zóna térképe