

# Az emelt teljesítményszinten való üzemeltetés biztonsági értékelése

Tóthné Laki Éva<sup>1</sup>, Tóth Iván<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Paksi Atomerőmű Zrt. Fejlesztési és Elemzési Osztály  
7031 Paks, Pf. 71, Tel: +36 20 664 60 62, Fax: +3675 507 036

<sup>2</sup>Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet  
1525 Budapest 114, Pf. 49., Tel: +361 392 22 94, Fax: +361 395 92 93

*Jelen cikkben összefoglaljuk a teljesítménynövelés (TN) kapcsán készült üzemzavar-elemzéseket és azok eredményeit. Az egyes kiindulási eseménycsoportok szerint bemutatjuk a TN és a kapcsolódó átalakítások miatt megváltozott kezdeti paraméterek hatását az üzemzavarok lefolyására. Bemutatjuk a TN és a kapcsolódó átalakítások hatását a tervezési üzemzavar-elemzések (DBA) eredményeire, különös tekintettel a konténment viselkedésére. Röviden összefoglaljuk a TN hatását az 1. és 2. szintű PSA elemzésekre.*

## Bevezetés

2005 februárjában a Paksi Atomerőmű Rt. (PA Rt.) átadta az Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Igazgatósága (OAH NBI) részére az emelt teljesítményen való üzemeltetés elvi engedélykérelmét tartalmazó beadványát [1]. A beadványt először a szakhatóságok véleményezték, majd OAH NBI is tanulmányozta. Ez alapján még további kiegészítéseket és hiánypótlást kértek, majd többfordulós konzultációra is sor került, végül 2005. 11. 28-án OAH NBI a RE-4138 sz. határozatában elvi engedélyt adott a PAE 1-4. blokkokon a 8 % névleges teljesítménynövelés megvalósítására, valamint a TN-hez kapcsolódó fontosabb átalakításokra is, mint pl. a hidroakkumulátorok (HA) és a fő keringtető szivattyúk (FKSZ) járókerekének átalakítására.

## A TN és a kapcsolódó átalakítások hatása a DBA üzemzavar elemzésekre

A névleges teljesítmény 108 %-ra történő növelése azzal a következménnyel járhatott volna, hogy a Végleges Biztonsági Jelentésben (VBJ) vizsgált üzemzavarok többségében a kritikus paraméterek esetleg közelebb kerülnek az elfogadási kritériumként meghatározott határértékekhez. Emiatt a VBJ 15. fejezetéhez tartozó számításokat meg kellett ismételni. A cél annak vizsgálata volt, hogy az erőmű tervezett üzemzavari állapotaiban milyen mértékűek ezek a változások, ill. hogy az új értékek továbbra is kielégítik-e az elfogadási kritériumokat. A reaktorvédelmi rendszer beállítási értékei mindkét vonatkozásban jelentős hatással bírnak, ezért a reaktorvédelmi rendszert (RVR) érintő szükséges módosításokat is elemezni kellett.

A teljesítmény növelése érdekében több átalakításra volt szükség a blokkokon, mint például:

- a.) stabil primerköri nyomástartás megvalósítása,

- b.) a jelenlegi VBJ-ben figyelembe vett értékhez (39450 m<sup>3</sup>/h) képest megnövelt primerköri forgalom (40300 m<sup>3</sup>/h) biztosítása,
- c.) a turbinákon a Curtis-kerék cseréje a hatásfok javítása miatt,
- d.) HA betáplálási nyomás és névleges szint módosítása (35 bar és 7,1 m),
- e.) egyéb rendszerek szükséges átalakítása (VERONA, villamos és irányítástechnikai rendszerek).

A fenti átalakítások indokoltságát és következményeit önálló biztonsági elemzések vizsgálják, ezért azokkal most részletesen nem foglalkozunk. Az átalakítások közül néhány (b. és d.) viszont befolyásolja a VBJ 15. fejezetében elvégzett üzemzavar elemzések kiindulási paramétereit is, ezért az új számítások a tervezett átalakítások figyelembe vételével készültek.

Az üzemzavar elemzésekről lényegében két részletes összefoglaló készült:

- A VBJ 2004 szeptemberében elkészült és az OAH NBI-nek beadott 15. fejezete - az eddigi VBJ tartalomnak megfelelő terjedelemben - általában igazolja az emelt teljesítményű blokkok üzemzavari biztonságát.
- A [4] összefoglaló anyag speciálisan értékeli a teljesítmény növelés biztonsági elemzésekre gyakorolt hatását.

Fentiek alapján az alábbiakban összefoglaljuk az új kiindulási paraméterekkel számolt üzemzavar-elemzések eredményeit, és ennek tükrében, általában - az elvi átalakítási engedélykérelem terjedelmében - értékeljük a teljesítménynövelés biztonságra gyakorolt hatását.

## A teljesítménynövelés hatása a reaktorfizikai keretparaméterekre

A teljesítménynöveléssel foglalkozó megvalósíthatósági tanulmányban (2001. december) a KFKI Atomenergia

Kutatóintézet (AEKI) bemutatta, hogy reaktorfizikai szempontból döntő jelentőségű, miszerint a nagyobb teljesítményű, de azonos kampányhosszal jellemzett zónának az eddiginél nagyobb tartalék-reaktivitással kell rendelkeznie, amit a kampány elején csak a mostaninál magasabb bórsav-koncentráció képes lekötni. A maximális lezárási bórsav-koncentráció ezért 12 g/kg-ról 13,5 g/kg-ra nőtt. Emiatt a zóna reaktivitás-viszonyai is módosultak, pl. moderátor-hőmérséklet szerinti visszacsatolás kampány eleji mértéke csökkent. A nagyobb tartalék reaktivitás nagyobb átrakási hányadot és az eddigiektől eltérő átrakási stratégiát tesz szükségessé, ami már önmagában is a teljesítmény eloszlásának megváltozásához vezet. Ezen kívül a teljesítmény lokális korlátozásainak betartása szintén az átrakási séma és a teljesítmény-eloszlás változását eredményezi.

Ugyancsak a megvalósíthatósági tanulmány következtetése volt, hogy a 8 %-os teljesítménynövelés – a lokális teljesítmény-korlátozások miatt – csak módosított fűtőelemmel valósítható meg, ami kisebb mértékben ugyan, de szintén hozzájárult a zóna reaktorfizikai jellemzőinek változásaihoz. Ezért a reaktivitás üzemzavarok és az ÜV-1 üzemzavari védelmi működés nélküli tranziensek vizsgálata, valamint egyes kezdeti események esetén az elfogadási kritériumok fűtőelem-viselkedési számítással történő ellenőrzése az új üzemzavar-elemzések során jelentős szerepet játszott.

A fent ismertetett változások hatását valamelyest csökkentette, hogy a zóna "burkoló" reaktorfizikai jellemzőit, ún. „keretparamétereit” lehetőleg igyekeztek változatlanul hagyni (a fűtőelem tervezési követelmények is erre irányultak). Mindez csak kompromisszumok árán volt lehetséges. Ebben a tekintetben lényeges következmény, hogy egyes reaktivitás-üzemzavarok lefolyását érdemileg befolyásoló – a szubkritikusággal, a zóna lezárhatóságával kapcsolatos – keretparaméterek betarthatósága érdekében az átrakási bórsav-koncentrációt és a tartalék reaktivitást jellemző keretparaméter értékét meg kellett növelni.

### ***Az átalakítások hatása az új üzemanyaggal készült elemzésekre***

Az új üzemanyag bevezetését már engedélyezte a hatóság, de az engedélyező határozatban előírta, hogy igazolni kell, miszerint az új üzemanyag engedélyeztetéséhez készült biztonsági elemzések a TN-hez végrehajtandó technológiai átalakítások után is érvényben maradnak. Az előző fejezetben felsorolt átalakításokat sorra véve tehát az alábbiakat mondhattuk:

- a.) Az új primerköri nyomásszabályozó rendszer kialakítása olyan, hogy a mérési hibával terhelt maximális primerköri nyomás soha ne haladja meg az elemzésekben kiindulási paraméterként felvett maximális névleges nyomás (12,46 MPa) értékét. Ezért az elemzések az átalakítás után is érvényesek.
- b.) A mellékelt biztonsági elemzések mind a 108 %-ra megnövelt névleges teljesítmény és a hozzá tartozó 40300 m<sup>3</sup>/h primerköri forgalom figyelembe vételével készültek, ezért az FKSZ járókerék-átalakítás után is érvényesek.
- c.) A Curtis-kerék cseréje az elemzéseket nem érinti, mivel azok a turbinán eleve a 108 %-os hőteljesítményhez

tartozó gőzelnélő képességet feltételezték. Ezért az elemzések az átalakítás után is érvényesek.

- d.) Minden 108 %-ra elvégzett üzemzavar elemzésben a hidroakkumulátorok működését 35 bar-ra csökkentett betáplálási nyomással és 7,1 m-re megnövelt szinttel számolták. Ezért az elemzések az átalakítás után is érvényesek.
- e.) Az egyéb rendszerek közül az üzemzavar elemzéseket csak az RVR átalakításai érintik. Minden 108 %-ra elvégzett üzemzavar elemzésben az új reaktorvédelmi beállítási értékeket vették figyelembe, ezért az elemzések az átalakítás után is érvényesek.

### ***A reaktorvédelem beállítási értékei megnövelt teljesítményen***

Az RVR jelek beállítási értékeinek megalapozását a 108 %-ra megnövelt teljesítményre külön tanulmány foglalta össze, amely vizsgálta az RVR-ben szereplő összes ÜV és ZÜHR (zóna üzemzavari hűtőrendszer) jeleket, valamint a reteszműködések is. Az volt a cél, hogy a beállítási értékek csak akkor változzanak, ha az valóban indokolt. Ennek megfelelően az összes ZÜHR jel és retesz a teljesítménynövelés után is változatlan beállítási értékkel működik, ezek megfelelőségét az elvégzett üzemzavar elemzések igazolták.

Az ÜV jelek többsége szintén nem változott. Módosításra csak az alábbi jelek beállítási értékeinél volt szükség:

- A turbina kiesés következményeit csökkentő ÜV108 jel automatikus élesedési értékét, ill. az ÜV301 jelnél a jelképzés időtartamát módosítani kellett [4] az alábbiak szerint:
  - Az ÜV108 jel élesedésének új értéke legyen  $N_R \geq 0,23 \cdot N_{R,névl.}$
  - Az ÜV301 jel működésének maximális hossza legyen 37 s.
- A neutronfluxus növekedését behatároló ÜV114, ÜV115, ÜV309 jelek, valamint az ÜV302.b jel esetében a százalékban meghatározott beállítási értékek nem változtak, de 1375 MW helyett most a megemelt teljesítmény névleges értékére, 1485 MW-ra vonatkoznak. Az elemzési eredmények [2] szerint mind a kritikus hőfluxus, mind a fűtőelem-pasztilla igénybevételének vonatkozásában a jelek az új beállítási értékekkel is biztosítják a kritériumok betartását.
- Az ÜV302.a. jel (RTK működés) üzemelő FKSZ-ek számához viszonyított hőteljesítmény-határ MW-ban kifejezett értékei abszolút értékben megmaradtak, de emiatt az emelt teljesítmény százalékában kifejezett értékek változtak:
 

|                  |                |
|------------------|----------------|
| – 5 FKSZ esetén: | 1141 MW=76,8 % |
| – 4 FKSZ esetén: | 921 MW= 62 %   |
| – 3 FKSZ esetén: | 687 MW=46,3 %  |

A részurkos üzem kis jelentősége miatt ez számunkra elfogadható, és így a korábbi értékek megalapozásai érvényben maradtak.

## ***A teljesítménynövelés hatása a legfontosabb blokkparaméterekre***

A teljesítménynövelés hatását úgy a legegyszerűbb értékelni, hogy az új elemzési eredmények alapján megnézzük, vajon a kulcsparaméterek mennyivel kerültek közelebb a megengedett határértékükhöz. Ezért megvizsgáljuk ezt a hatást és az elfogadási kritériumok teljesülését az alábbi kulcsparaméterek szempontjából:

- a.) DNBR: C3 kritérium\* és 4.2.2/a\*\*, 3.056\*\* teljesülése
- b.) üzemanyag-hőmérséklet ill. -entalpia: C4 kritérium és 4.2.2/b\*\* teljesülése
- c.) primer- és szekunderköri nyomás: C8, C9 kritérium\* és 3.055/c\*\* teljesülése
- d.) burkolathőmérséklet ill. -oxidáció: C5 kritérium\* és 4.2.3/a,b,c,d,e,f\*\* teljesülése
- e.) a konténment igénybevétele: 3.055/c\*\* teljesülése
- f.) kibocsátások: C6, C7 kritérium\* teljesülése.

a. A kritikus hőfluxus-viszony a felületi hőfluxustól, a belépő hőmérséklettől, a hűtőközeg tömegáramától és a nyomástól függ:

- A felületi hőfluxust alapvetően a pálcatelesítmény és az axiális fluxuselozslás határozza meg. A pálcatelesítmény-korlát 57 kW, és ez az új fűtőelemre is érvényes. Az axiális fluxuselozslást a korábbi számításokkal egyező, konzervatív görbe szerint vették figyelembe, tehát a DNBR-re legjobban ható komponens nem változik. Emiatt annak sincs jelentősége, hogy az új fűtőelem-kötegek maximális teljesítménye magasabb a mostaninál (5,96 MW helyett 6,58 MW).
- A teljesítménynövelés során a belépő hőmérséklet megengedett maximális értéke, vagyis az üzemzavar elemzések input paramétere nem változik.
- A DNBR kiértékeléséhez a kazettára engedélyezett minimális hűtőközeg forgalom szolgál alapul, ami legfeljebb 1,02%-kal változik (nő), ezért hatása elhanyagolható.
- A primerköri nyomás a legtöbb DNBR-re ellenőrzött üzemzavar esetében növekszik, ami a kritikus hőfluxus-viszony szempontjából kedvező hatású. Mivel a megnövelt teljesítmény kicsit magasabb üzemzavari nyomásokat eredményez, ez a DNBR minimális értékének akár kisebb javulását is eredményezheti.

Az elemzések eredményei szerint egyes reaktivitás-tranziensek során a DNBR értékét befolyásolta az a tény, hogy az emelt teljesítményhez szükséges nagyobb tartalék-reaktivitás miatt az átrakási sémák, és így a teljesítmény relatív eloszlásai különböznek a mostanitól. A DNBR minimális értéke azonban ezekben az esetekben is tartalékkal rendelkezik a kritériumig. Az összes AOO (várható üzemi esemény) eset között a legalacsonyabb DNBR-re a „nem üzemelő, kisebb bórsav-koncentrációjú

hurok hibás visszakapcsolása háromhurkos üzemben” eset vezetett (ami egyébként a Műszaki Üzemeltetési Szabályzat szerint nem megengedett üzemállapot). Itt a DNBR értéke 1,31-re adódott (a formafaktorral korrigált kritérium 1,16). Az összes többi AOO esetben magasabb DNBR értékeket kaptak.

- b. Az üzemanyag-hőmérséklet ill. -entalpia enyhe növekedése várható a teljesítménynövelés után, bár ezt a reaktivitás-tényezők valamennyire korlátozzák. Az elemzések [2] szerint a változás minimális, és a kritériális értékektől továbbra is messze vagyunk. Az eredmények arra is rámutatnak, hogy az emelt teljesítményen szükségyszerűen módosuló átrakási sémának és az általa befolyásolt relatív teljesítmény-elozslásnak van a legdöntőbb szerepe a vizsgált paraméterek változásában.
- c. A primer- és szekunderköri nyomás vonatkozásában a teljesítménynövelés a kritériumokhoz való kismértékű közeledés irányába hat.

Ezt elsősorban a szekunder nyomás alakulása szempontjából kellett megvizsgálni, ott is az AOO esetekben, ahol a második biztonsági szelep nyitónyomása igen közel esik a kritériumhoz. Az elvégzett üzemzavar-elemzések igazolták, hogy a maximális nyomás a legkedvezőtlenebb AOO esetben („A főgőzvezeteki izoláló szelepek szándékolatlan zárása 108% teljesítményen” esetben 58,9 bar) is alig haladja meg a 2. biztonsági szelep nyitónyomását.

A primerköri nyomás szempontjából a számított esetek közül a legveszélyesebbeknek a „ZÜHR szándékolatlan működése” (ez többszörösen konzervatív számítás) és az „Ellenőrizetlen SZBV köteg kihúzás” ATWS esetei adódtak. Mindkét tranziensben a térfogatkiegyenlítő (TK) biztonsági szelepei eredményesen korlátozzák a nyomásnövekedést. Az elsőkben a TK 1. biztonsági szelepe nyit, még az AOO kritérium sem sérül (max. nyomás 146,2 bar, 2,3 bar tartalék), míg a másodikban a TK 2. szelepe is nyit (max. nyomás 149 bar), ami még messze van a PA (feltételezett üzemzavarok) kritériumtól.

- d. A burkolathőmérséklet ill. -oxidáció tekintetében a primerköri hűtőközegvesztéses és az ATWS esetek a teljesítménynövelés által potenciálisan veszélyeztetett eseménycsoportok.

A törések közül egyértelműen a nagy keresztmetszetű törések a kritikusak, de ezekben igen pozitív hatást fejt ki a HA nyomáscsökkentése ill. víztérfogató növelése (ld. 1. ábra), amely a teljesítménynövelés előfeltétele. Ez a módosítás okozta, hogy a maximális tervezési üzemzavarban a maximális burkolathőmérséklet emelt teljesítményen alacsonyabbra adódott (ld. 2. ábra: 870°C), mint a jelenlegi érték, aminek természetesen a burkolat-oxidációra is kedvező hatása van.

Veszélyesebbé vált viszont a lehűtés alatt, E4 üzemállapotban bekövetkező nagyméretű csőtörés esete. Mivel ilyenkor a HA-k már nem állnak rendelkezésre, a zóna gyakorlatilag teljesen leürül, és a fűtőelemek szinte adiabatikusan melegegnek, a maximális burkolat-hőmérséklet 1040°C-ra adódott. A jelenlegi teljesítményre ez az érték közel 100°C-kal alacsonyabb volt, de az NBSZ 3. kötet, 3.6 irányelv (azonosító: 4.2.3/a,b,c,e,f) szerint még így is megfelelő. A lehűtéses üzemállapotokban

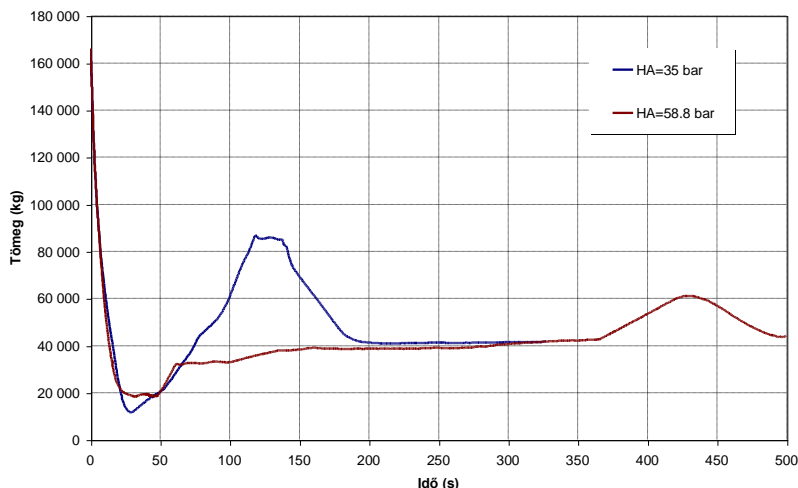
\* AGNES kritérium száma

\*\* NBSZ 3. kötet, 3.6 irányelv azonosítója

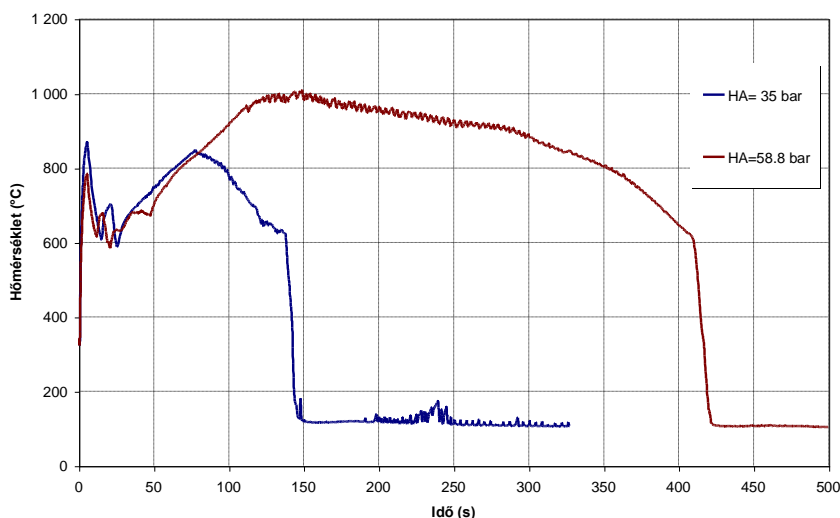
bekövetkező nagycső-töréses üzemzavari esetek vizsgálata egyébként jelenleg is folyik.

Az „SZBV köteg kihúzása” ATWS esetek az AGNES projektben nem vezettek magas burkolathőmérsékletekre, az új elemzéseknél viszont igen – mind az emelt, mind a jelenlegi teljesítményen. Ennek oka tehát nem az emelt

teljesítményben, hanem a megváltozott számítási metodikában keresendő: a korábbi best-estimate (különösen a moderátor-hőmérséklet szerinti) reaktivitás-tényezők helyett most azok konzervatív értékét használták. Így a maximális burkolathőmérséklet 1108°C, a maximális oxidáció 4,4 % lett.



1. ábra: A primerköri hűtőközeg mennyiségének alakulása különböző HA betáplálási nyomásnál, a maximális tervezési üzemzavar (200 %-os nagycső-törés) esetén



2. ábra: A burkolathőmérséklet alakulása különböző HA betáplálási nyomásnál, a maximális tervezési üzemzavar (200 %-os nagycső-törés) esetén

A fenti elemzések átrakás alatti esetei igazolták a maximális lezárási bórsav-koncentráció új értékének (13,5 g/kg) megfelelőségét is, mivel a jelenlegi elemzési eredményekhez képest a lezárási reaktivások alig változtak. A kampány eleji kritikus bórsav-koncentráció értéke 10,5 g/kg-ról 12 g/kg-ra változott.

e.f. A konténment igénybevétele és a környezeti kibocsátások alakulása szempontjából a teljesítménynövelés a kritériumokhoz való kismértékű közeledés irányába hatna. A HA átalakítás miatt azonban a konténment paraméterei inkább kismértékben csökkentek. A hatóság

ezt kiemelten kezelte, ezért ezt a két pontot külön fejezetben tárgyaljuk.

## A TN hatása a konténment igénybevételeire és a kibocsátásokra

A Alsó-Duna völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (ADvKTVF) által kiadott szakhatósági engedély előírta, hogy a jelenlegi és a megnövelt teljesítményen – azonos számítási módszerrel – össze kell hasonlítani a legnagyobb méretű csőtörést (LBLOCA) követő üzemzavar következtében létrejövő radioaktív kibocsátásokat

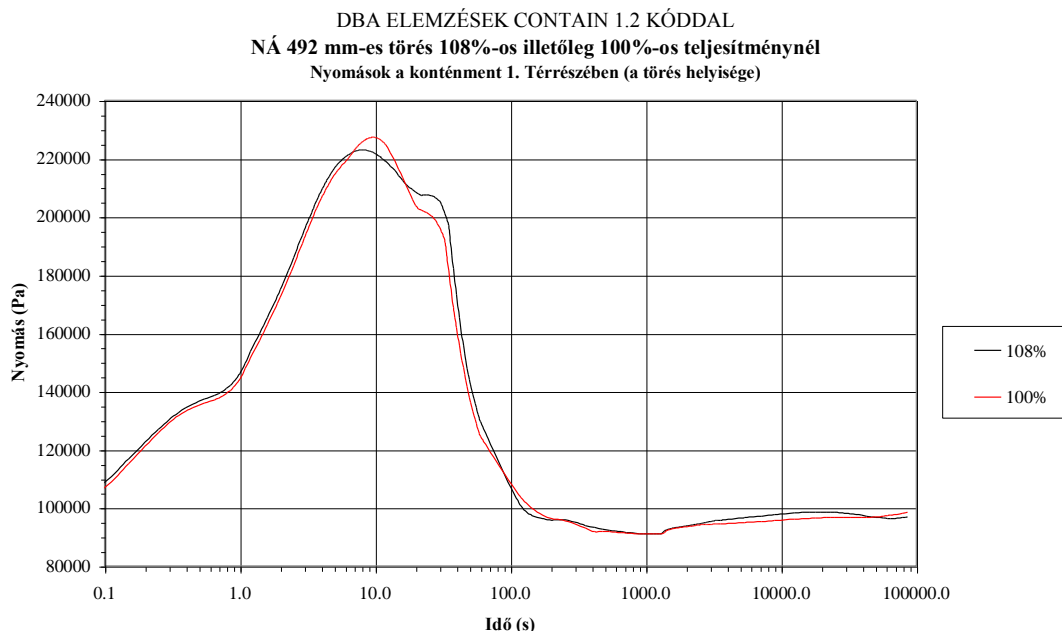
és a környezetben kialakuló dózisértékeket. Ezt az előírást a RE-4138 sz. határozat is átvette.

Fentiek teljesítéséhez a PA Rt. megbízásából 2005-ben az AEKI és a VEIKI - a 108 %-os elemzésekhez hasonló metodikával - 100 %-ra is megismételte a nagycső-töréses üzemi elemzéseket. Először elvégezték a termohidraulikai elemzést, majd meghatározták a hermetikus tér igénybevételét és a környezetbe történő szivárgást, végül megismételték a környezeti kibocsátásra vonatkozó számításokat. A 2005-ben számolt három 100 %-os és a már korábban elvégzett 108 %-os elemzések alapján az AEKI összehasonlító vizsgálatot végzett [7] a jelenlegi és az emelt teljesítményen esetleg bekövetkező nagycső-töréses üzemi elemzések következményeire vonatkozóan. Az alábbiakban összefoglaljuk ennek a vizsgálatnak a legfontosabb megállapításait:

1. táblázat A hermetikus térben kialakuló paraméterek nagycső-töréses üzemi elemzés során, 100 és 108 %-os teljesítményen

| Megnevezés                                    | 100 % | 108 % |
|---|-------|-------|
| Konténment max. nyomás [bar]                  | 2,27  | 2,23  |
| Szivárgás a környezetbe, integrált tömeg [kg] | 10,16 | 9,7   |

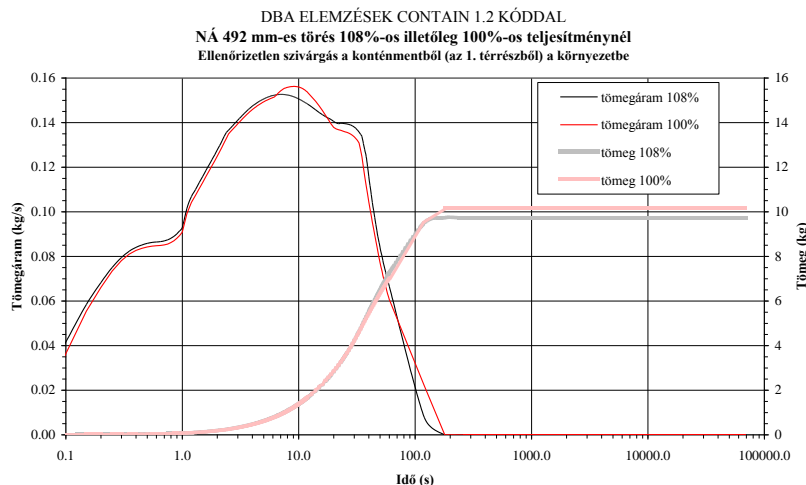
- A termohidraulikai elemzések összehasonlításából kiderült, hogy az 58,8 bar-os HA-k az üzemi elemzés kezdetén hamarabb fecskendeznek be nagyobb mennyiségű hűtőközeget a primerkörbe, s viszonylag hamar (~60 s) le is ürülnek. Az emelt teljesítményen alkalmazott 35 bar-os HA-k betáplálása viszont később kezdődik, de egyenletesebb és ~120 s-ig elhúzódik (ld. 1. ábra). Ennek következménye az is, hogy a törésen elfolyó integrált tömegmennyiség és energia - abban az időtartományban, amikor a konténmentben túlnyomás uralkodik - nagyobb a 100 %-os esetben, mint 108 %-on).
- A hermetikus tér viselkedése a termohidraulikai elemzések alapján szintén a 100 %-os esetben kedvezőtlenebb: a maximális nyomás a konténmentben 100 %-on kicsit magasabb, mint 108 %-on. Kialakulása a 10. s-ban várható, amikor az új HA-k betáplálása még nem kezdődik meg. A hermetikus tér paramétereit a két teljesítményre az 1. táblázat, valamint a 3. és 4. ábra szemlélteti.
- Bár a zóna aktivitásleltára, valamint a nagycső-töréses üzemi elemzés során - pesszimista feltételezéssel - a primerkörbe jutó teljes résleltár magasabb a megnövelt teljesítményen, a fentiekben ismertetett hatások ezt ellensúlyozzák. Ezért a környezetbe kibocsátott aktivitásértékek kedvezőbben alakulnak 108 %-on, ami természetesen tükröződik a környezeti dózisekben is. Szemléltetésül a 2. táblázatban feltüntettük a 168 óra utáni kumulatív dóziseket a reaktorcsarnokban.



3. ábra: A hermetikus térben kialakuló nyomás nagycső-töréses üzemi elemzés során 100 és 108 %-os teljesítményen

2. táblázat Effektív dózisosok a reaktorcsarnokban [Sv]

| Teljesítmény | Inhalációból eredő effektív dózis | Pajzsmirigy (szerodózis [Gy]) | Bemerülési dózis | Inhalációból és bemerülésből eredő effektív dózis |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|---|
| 100%         | 5,82E+01                          | 1,16E+03                      | 5,32E-01         | 5,87E+01  |
| 108%         | 4,90E+01                          | 9,81E+02                      | 4,48E-01         | 4,95E+01  |



4. ábra: A hermetikus térben kialakuló paraméterek nagycső-töréses üzemzavar során 100 % és 108 %-os teljesítményen

3. táblázat Dózisbecslések az erőműtől 3 km-re, nagycső-töréses üzemzavar után

| Teljesítmény | Korai effektív dózis [Sv] |           |          |           | Késői lekötött effektív dózis [Sv] |          |
|--------------|---------------------------|-----------|----------|-----------|------------------------------------|----------|
|              | Átlag (maximum)           |           |          |           | Átlag                              |          |
|              | Száras idő                |           | Esős idő |           | Száras idő                         | Esős idő |
| 100 %        | 8,5E-08                   | (1,9E-06) | 2,2E-07  | (5,1E-06) | 4,0E-06                            | 3,9E-05  |
| 108 %        | 7,5E-08                   | (1,6E-06) | 1,9E-07  | (4,3E-06) | 3,4E-06                            | 3,4E-05  |

A 3 km-re becsült dózisértékeket a 3. táblázat tartalmazza. A korai dózisosokat 7 napi, a későieket 50 évi tartózkodást feltételezve határozták meg. A térszektorra számított átlagértékek mellett a táblázat a korai dózisosokra tartalmazza a maximális értékeket is, ennek meghatározása a csóvatengelyben való folyamatos tartózkodás feltételezésével történt.

### Összegzés 1

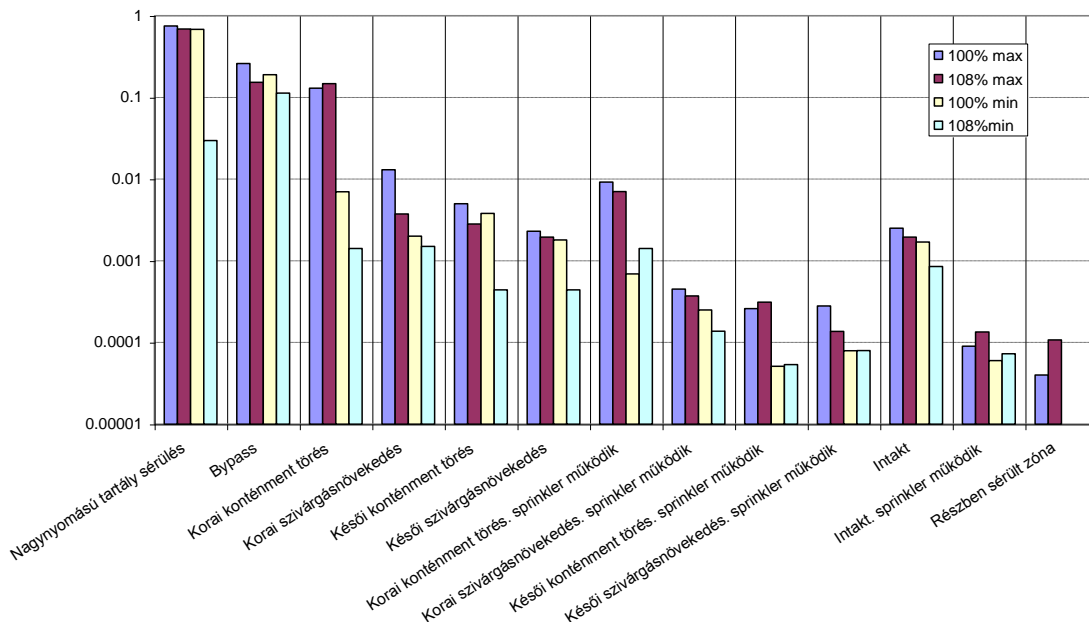
A VBJ 15. fejezetéhez készített és a 108 %-os névleges teljesítményre megismételt üzemzavar-elemzések alapján megvizsgáltuk a teljesítménynövelésnek a reaktorfizikai keretparaméterekre, a védelmi jelek beállítási értékeire és a blokk legfontosabb paramétereire gyakorolt hatását. Az elemzések eredményei egyértelműen igazolták, hogy a teljesítménynövelés semmiképpen sem vezethet az elfogadási kritériumok megsértéséhez. Tehát a korlátok túllépése, sőt, a korlátokig rendelkezésre álló tartalék jelentős mértékű csökkenése sem várható.

## A TN és a kapcsolódó átalakítások hatása a PSA elemzésekre

### 1. szintű PSA elemzések

Az 1. szintű valószínűségi biztonsági elemzés módszereivel megvizsgálták és számszerűleg értékelték a PAE blokkjain végrehajtott teljesítménynövelés biztonságra gyakorolt hatását [8]. Ennek keretében megvizsgálták a TN miatt elvégzett átalakításokat abból a szempontból, hogy melyek lehetnek hatással a PSA eredményekre az eseménylogikai modell, az elemzési feltételezések, ill. a bemenő adatok befolyásolása révén. Ezek közül az üzemanyag-fejlesztés és a HA nyomás- és szintváltoztatás hatását lehetett kimutatni az eredményekben. A termohidraulikai elemzések eredményeire támaszkodva ellenőrizték a PSA elemzések sikerfeltételeinek megfelelőségét a TN utáni állapotban. A magasabb remanens hő miatt az időkritikus operátori tevékenységek vizsgálata is megtörtént.

Cs kikerülési aránya a környezetbe



5. ábra: A Cs kikerülési aránya a környezetbe 100 % és 108 %-os névleges teljesítményen

A számítások eredménye szerint a TN utáni állapotban a névleges (teljes) teljesítményű üzemre vonatkozó zónasérülési gyakoriság (CDF) valamennyi kapcsolódó átalakítás hatásának figyelembevételével 1,4 %-os növekedést jelent a régi, teljesítménynövelést nem tartalmazó, referencia PSA eredményhez képest. A növekedés mértéke abszolút és relatív skálán is elhanyagolható. A fő kockázati összetevők teljesítménynövelés előtt és után gyakorlatilag nem változtak.

2. szintű PSA elemzések

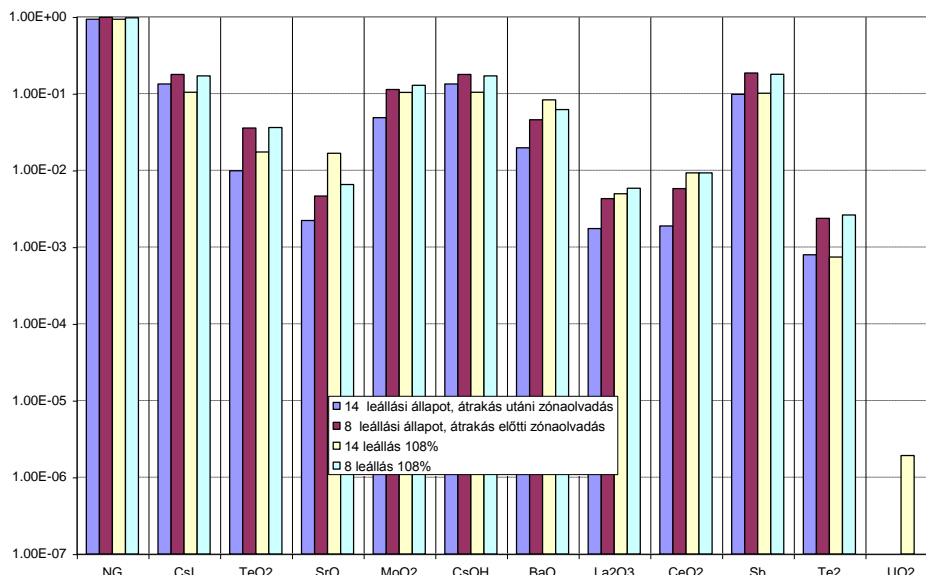
A „Paksi Atomerőmű biztonságának értékelése nagy radioaktív kibocsátások szempontjából” projekt lezárása után megvizsgálták a TN járulékos hatását a nagy radioaktív kibocsátások szempontjából. A TN miatt az alábbi szempontok értékelésére volt szükség:

- A TN hatása a baleseti forrástagra. A névleges teljesítményről, illetve a leállított állapotból induló

balesetek esetén a környezetbe kerülő hasadványtermék mennyiségek megváltozásának értékelése [9] [10].

- A konténment folyamatok vizsgálata. A konténment eseményfa elágazásainak valószínűségére és a konténment állapotai feltételes valószínűségének változására gyakorolt hatás értékelése. A tervezett balesetkezelési intézkedések alkalmazhatóságának vizsgálata [11].

A névleges teljesítményről induló balesetek esetén a TN megváltoztatja ugyan a kikerülési kategóriák határait, de ezek iránya nem egyértelmű (ld. 5. ábra). Összességében a változások mértéke elhanyagolható a kategóriák bizonytalanságához képest, vagyis a TN miatti aktivitáskikerülés növekedése nem mutatható ki.



6. ábra: A Cs kikerülési aránya a környezetbe 100 % és 108 %-os teljesítményen, leállított üzemállapotban

Leállított üzemi állapotú balesetek esetén TN után a kikerülő hasadványtermék mennyisége nem változik számottevően, pl. az urán nő, a Cs és I csökken (ld. 6. ábra). Tehát a következmények szempontjából a TN nincs hatással a kikerülés mértékére.

konténment sérülékenységet és a nagy radioaktív kibocsátások mértékét befolyásoló paraméterek pozitív, illetve negatív irányban megváltozhatnak, de a változás mértéke a meghatározási bizonytalansághoz képest nem jelentős. A korábban megvalósításra javasolt balesetkezelési intézkedések változatlanul érvényben maradnak.

## Összegzés 2:

A súlyos baleseti folyamatok összehasonlító számításai alapján megállapítható, hogy a teljesítménynövelés hatására a

---

## Irodalomjegyzék

- [1] A PAE 1-4. blokk teljesítménynövelés megvalósítására irányuló elvi átalakítási engedély kérelem, BIG 1565/M/2005, 2005.02.22.
- [2] PART.-FEO, Tóthné L. É.: Az emelt teljesítményszinten való üzemeltetés biztonsági értékelése, 2005.01.20.
- [3] PART.-FEO, Tóthné L. É.: A 4. blokkon, emelt teljesítményszinten való üzemeltetés biztonsági értékelése, 2005.12.20.
- [4] KFKI-AEKI: A teljesítménynövelés hatásának értékelése a biztonságra, AEKI-DBAB-2003-718/17/M1, 2004.08.27.
- [5] KFKI-AEKI: A hidroakkumulátor nyomáscsökkentés és vízmennyiség növelés biztonsági értékelése, AEKI-DBAB-2004-718/15/M1, 2004.07.30.
- [6] KFKI-AEKI: Biztonsági elemzés a 10-40TH50-80S201 armatúrák záróretesz kialakításáról, AEKI-THL-2005-711/01/M1, 2005.07.28.
- [7] KFKI-AEKI: Nagyatmérőlű primerköri csővezeték 200 %-os törésének összehasonlító vizsgálata a kibocsátás szempontjából 100 ill. 108 % teljesítményen, AEKI-DBAE-2005-758/16/M0, 2005.12.09.
- [8] VEIKI Biztonság+ Kft.: Teljesítménynövelés biztonságra gyakorolt hatásának értékelése 1. szintű PSA elemzéssel, 193-31-000/1.rev1 Kutatási jelentés, Bp. 2006. január
- [9] VEIKI Biztonság+ Kft.: A PAE teljesítménynövelésének értékelése. I. Forrástagok meghatározása névleges teljesítményről induló balesetekre, 193-31-000/1 Kutatási jelentés, Bp. 2005. július
- [10] VEIKI Biztonság+ Kft.: A PAE teljesítménynövelésének értékelése. II. Forrástag meghatározása leállási balesetekre, 193-31-000/2 Kutatási jelentés, Bp. 2005. október
- [11] VEIKI Biztonság+ Kft.: A PAE teljesítménynövelésének értékelése. II. A teljesítménynövelés hatása a konténment állapotokra és a balesetkezelési stratégiára, 193-31-000/3 Kutatási jelentés, Bp. 2005. július