

A teljesítménynövelés megvalósítása a paksi atomerőműben

Szőke Larisza, Hadnagy Lajos

Paksi Atomerőmű Zrt.,
7031 Paks, Pf. 71, Tel: +3675 507 262

Az 1980-as évektől négy VVER-440 típusú blokkal üzemelő paksi atomerőműben a 2000-es évek elejére összetett biztonság-növelő intézkedési program fejeződött be, melynek eredményeként az erőmű a hasonló korú nyugati atomerőművek biztonsági szintjét érte el. Szekunderköri átalakítások révén jelentős határfok-növelést sikerült elérni, így a blokkok villamos teljesítménye 470 MW körüli lett. A nemzetközi tapasztalatok és a megvalósíthatósági tanulmány alapján az erőmű vezetése döntött a reaktorok hőteljesítményének 8 %-os növeléséről 1485 MW-ra, mellyel a blokkok villamos teljesítménye legalább 500 MW-ra növelhető.

A teljesítménynövelés (TN) koncepciója alapján a 2002-ben létrehozott, 4,777 milliárd forintos költségvetésű TN alprojekt keretében megtörtént a TN előkészítése, elvégezték a biztonsági elemzéseket. Blokkonként végrehajtották a szükséges engedélyezéseket és átalakításokat, elvégezték a felterhelési és ellenőrzési programokat. 2009 végétől a paksi atomerőmű mindegyik blokkjának névleges villamos teljesítménye 500 MW. A négy blokk biztonságosan és megbízhatóan, a biztonsági korlátok betartásával, megfelelő tartalékokkal üzemel.

A végül 4,2 milliárd forintból megvalósított TN révén 134 MW új, szén-dioxid kibocsátástól mentes atomerőművi kapacitás létesült, alacsony fajlagos beruházási költséggel. A paksi atomerőmű a hazai villamosenergia-piac legolcsóbban termelő erőműve, segíti a klímavédelmi célok teljesítését, hozzájárul a villamos energia termelői és fogyasztói árak alacsonyabb szinten tartásához.

A teljesítménynövelés előzményei, előkészítése

A paksi atomerőmű (PA) blokkjainak korszerűsítésére, teljesítménynövelésére irányuló igények és átalakítások szinte a blokkok üzemelésének a kezdetétől merültek fel. Az egyik legfontosabb állomás az atomerőmű átfogó biztonsági értékelése (AGNES Projekt – 1990-94) és az abból fakadó, 60 milliárd forintos biztonság-növelő program (BNI – 1996-2002) volt, amely eredményeként a paksi blokkok elérték a hasonló korú nyugati erőművek biztonsági színvonalát. A 2000-es évek elejére hajtották végre a határfok-növeléssel járó szekunderköri átalakításokat, mint a turbina retrofit, a kondenzátorcserék, a szeparátorcserék (pH növelés). Így a blokkok villamos teljesítménye végeredményben 470 MW lett.

Az átalakítások eredményeképpen a blokkok műszaki-biztonsági állapota lényegesen javult. Nagy üzemeltetési tapasztalat és műszaki tudás halmozódott fel, jelentősen fejlődtek a számítási, mérési módszerek. A világban több blokkon hajtottak végre teljesítménynövelést. A várható EU csatlakozás és az energiapiac liberalizációja további kihívást jelentett a versenyképesség megtartásában. Az erőmű magas rendelkezésre állásának állandósulása miatt a reaktor magasabb hőteljesítménye révén történő többlettermelés volt a reális cél.

A PA Rt. Igazgatóság határozata alapján 2001. október 1-vel létrehozták a blokkok tervezett élettartamon túli üzemeltetését és a teljesítmény növelését előkészítő projektet.

A független szervezet által is felülvizsgált TN megvalósíthatósági tanulmány, majd az azt követő koncepcióra épülve 2002 októberében elfogadásra került a teljesítménynövelési projektterv.

A Teljesítménynövelési Projekt célja a blokkok teljesítményének 8 %-kal való növelése, a reaktor hőteljesítményének 1375 MW-ról 1485 MW-ra való emelésével legalább 500 MW villamos teljesítmény elérése volt. Fő követelmények voltak:

- a TN megvalósítása nem járhat a biztonsági kritériumok fellazításával, megsértésével;
- a TN Projekt és az Üzemidő-hosszabbítási Projekt munkáinak összhangban kell lenniük, a TN nem befolyásolhatja negatívan az erőmű élettartamát;
- a teljesítménynövelés nem csökkenheti az erőmű rendelkezésre állását;
- a befektetéseknek még a tervezett üzemidő alatt meg kell térülniük.

A Paksi Atomerőmű Rt. Igazgatósága 2003 februárjában jóváhagyta a teljesítmény 8 %-os növeléséhez szükséges tevékenységek folytatását és végrehajtását. A 2003. áprilisi Közgyűlés a tárgyban benyújtott előterjesztést elfogadta. A KGY jóváhagyta a TN projekt 4,777 Mrd Ft összegű ráfordítással történő megvalósítását.

Az eredeti projektterv szerint a TN megvalósítása 2003-2008 között történt volna. A megvalósítás ütemezését az új üzemanyag bevezetésének időigénye, az engedélyezés menete és a hosszú főjavításokhoz kötött átalakítások

megvalósítása határozta meg. Ugyanakkor több kihívás, kockázat jelentkezett:

- az engedélyezés újszerűsége, összetettsége;
- az egyedi műszaki átalakítások időben történő megvalósítása;
- a felterhelési-üzemviteli programok összeállítása, hatósági egyeztetése, végrehajtása;
- a 2003. évi üzemzavar következményeinek kezelése.

A Fejlesztési Beruházási Program – a 2. blokki 1. számú aknában történt 2003. évi üzemzavar következményeinek elhárítása miatt – egy alkalommal módosításra került. A KGY 2005. áprilisában jóváhagyta a TN megvalósítási ütemezésének módosítását 2009. évi befejezési határidővel, változatlan költségeliránnyal. A későbbi végrehajtás tehát külső ok miatt, de a biztonsági és megtérülési elvárások betartása mellett történt.

A TN előkészítés elején megtörtént a TN hatásának értékelése a blokkok főberendezéseinek öregedési folyamataira, az üzemidő hosszabbítási (ÜH) célok megvalósítására. Az elemzésben értékelték a tervezett teljesítménynöveléshez tartozó megváltozó körülmények hatását az atomerőművi berendezések kritikus komponensein azonosítható romlási folyamatokra. Megállapításra került, hogy az üzem élettartamának legfeljebb 20 évvel történő kiterjesztését a tervezett teljesítménynövelési opció miatt megváltozó körülményekből származó többletöregedési hatások számottevő mértékben nem befolyásolják. A TN miatti feltételezhető eltérések hatását az öregedéskezelési lépések megfelelően időzített végrehajtásával biztonságosan minimalizálni lehet.

A teljesítménynövelés megvalósítása

A teljesítménynövelés engedélyezése

A projekt céljainak megvalósítása, az átalakítások végrehajtása a jogszabályok és Nukleáris Biztonsági Szabályzatokban (NBSZ) szabályozott engedélyezés lefolytatása után volt lehetséges. A magyar gyakorlatban a teljesítménynöveléshez hasonló komplex átalakítás engedélyezése még nem volt. Az erőmű a hatóságokkal konzultálva alakította ki az engedélyezés menetére vonatkozó megközelítést. Maga az engedélyezés menete egy bonyolult, több lépcsőből álló folyamat volt. A fontosabb engedélyek beszerzéséhez független szakértő véleményét is csatolnunk kellett.

Az Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Igazgatósága (OAH NBI) általi engedélyezés az 1-4. blokkra szóló létesítmény szintű elvi átalakítási engedélyezéssel indult. Az eljárásban szakhatóságként részt vett az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Országos Tisztiorvosi Hivatal (ÁNTSZ OTH) és az Alsó-Duna-Völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (ADVKTVF) is, akik megítélték az átalakítások engedélyezhetőségét környezetvédelmi, nukleáris biztonsági, környezet-egészségügyi és más szempontból. Az erőműnek megalapozó dokumentáció benyújtásával be kellett mutatnia, hogy a biztonság szempontjából az átalakítás megengedhető. Az elemzések eredményei egyértelműen igazolták, hogy az emelt teljesítményen sem várható a korlátok túllépése, a korlátokig rendelkezésre álló tartalék jelentős mértékű csökkenése, tehát a teljesítménynövelés semmiképpen sem

vezet az elfogadási kritériumok megsértéséhez. A valószínűségi elemzések eredményei is elhanyagolható változást mutattak.

A TN megvalósítással kapcsolatosan le kellett folytatni a vízügyi engedélyezést is. A vízügyi engedélyezési eljárás során az erőműnek be kellett mutatnia, hogyan változik a Duna vízének felhasználása és a Duna hőterhelése. Az eljárás az elvi vízjogi engedély beszerzésével kezdődött. Az engedélyezési dokumentációban bemutatásra került, hogy a jelenleg érvényes víz felhasználásra vonatkozó korlátok a TN megvalósítása után is érvényben maradnak, továbbá azt, hogy a TN-nel kapcsolatosan nincs szükség vízügyi létesítésre, illetve a hűtővizet biztosító rendszerek átalakítására. A megalapozó dokumentáció alapján a vízügyi hatóság nyilatkozott arról, hogy a teljesítménynöveléshez a létesítési engedély beszerzése nem szükséges, a vízügyi eljárás lezártnak tekinthető.

Az engedélyezés előkészítésében, a TN megalapozásában részt vett számos nagy tapasztalattal rendelkező magyar és külföldi tudományos és tervező intézet, mint például a KFKI Atomenergia Kutató Intézet (AEKI), a Villamosenergiaipari Kutató Intézet (VEIKI) Zrt., ETV-Erőterv Zrt., az orosz OKB „Hidropressz”, a paksi blokkok főkonstruktőre, a Kurcsatov Intézet, az üzemanyag szállító orosz OAO „TVEL” cég és tudományos háttér intézményei, valamint az ukrainai OAO „Turboatom” cég.

A PA Rt. az elvi átalakítási engedély kérelmet 2005. májusában nyújtotta be a hatósághoz, az engedélyt az OAH NBI 2005. november végén adta ki, tehát biztonsági szempontból megengedhetőnek ítélte a TN megvalósítását. Az elvi engedély birtokában a TN megvalósítását a nukleáris hatósággal egyeztetett módon blokkonként engedélyeztette az erőmű.

A módosított üzemanyag és az összes szükséges átalakítás engedélyezése külön eljárásokban történt. Az egyedi átalakítási engedélyek birtokában megtörtént a módosított üzemanyag bevezetése és az egyes átalakítások végrehajtása.

A teljesítménynövelés megvalósítása után blokkonként az OAH-tól az üzemeltetési engedély módosítását, a Magyar Energia Hivataltól (MEH) a működési engedély módosítását kellett kérni.

A teljesítménynöveléshez szükséges átalakítások

A névleges teljesítmény emelésének tényleges megvalósíthatóságát – a reaktorteljesítmény szempontjából – az üzemanyag-töltet jellemzői határozzák meg. A vihető maximális teljesítményt a lokális korlátokhoz viszonyított jellemzők – a szubcsatorna kilépő hőmérséklete, a pálcá- és a pálcá lineáris teljesítmény – aktuális értékei szabják meg. A megvalósíthatósági tanulmány vizsgálta ezeket a jellemzőket és megállapította, hogy a növelt teljesítmény szempontjából a szubcsatorna kilépő hőmérséklet a kritikus paraméter.

Ahhoz, hogy a reaktorfizikai korlátokat be lehessen tartani, és biztosítani lehessen a blokk biztonságos üzemeltetését, a TN-nel kapcsolatosan a következő fő átalakítások elvégzése szükséges:

- a módosított üzemanyag fejlesztése, bevezetése;
- a PDA-Verona zónaellenőrző rendszer rekonstrukciója;
- a primerkör nyomás tartásának javítása céljából a térfogatkompenzátor nyomásszabályozó rendszerének átalakítása;
- a hidroakkumulátorok új paramétereinek beállítása;
- a reaktorvédelmi rendszer beállítási értékeinek módosítása;
- primerköri bórsav-koncentráció változása;
- a 2. blokki primerköri forgalom növelése a fő keringtető szivattyúk (FKSZ) járókereinek cseréjével;
- a turbina fűvókakoszorúk cseréje és a turbinaszabályozók módosítása;
- a generátorok végzóna-hűtésének javítása és segédrendszereinek átalakítása, az 1. generátor álló részének cseréje;
- 1-2. blokki generátor tokozott sínhíd udvartéri szakaszának rekonstrukciója.

A felsorolt átalakítások a következő célokat szolgálták:

- a reaktor teljesítményének növelése;
- a feltárt tartalékok kihasználása;
- az emelt teljesítményszinten történő üzemeltetés biztonsága;
- hatásfok-javítás, energetikai optimalizálás;
- az emelt teljesítményszinten történő üzemeltetés javítása.

A TN blokkonkénti megvalósítása

A TN program megvalósítása – figyelembe véve a blokkokon kialakult állapotot (magnetit-lerakódás az 1-3. blokkon) először a 4. blokkon történt meg, majd utána sorban az 1.-2.-3. blokk következett.

A blokki átalakításokat követően, a főjavítások után sor került a blokkok felterhelésére az OAH által engedélyezett TN üzemviteli programoknak megfelelően. A felterhelés fokozatosan történt 100 %, 104 %, majd – napi 1 %-os lépésekben – 108 %-os teljesítményszintre mind a négy blokkon. Mindhárom lépcsőben teljes körű műszaki – reaktorfizikai, technológiai, vegyszeti, szekunderköri csővezetékrezgési – ellenőrzés zajlott, sikeresen. Az elért új névleges teljesítményen hosszabb próbaüzem és a felterhelési program átfogó értékelése következett.

A 4. blokki TN átalakítást a nukleáris hatóság 2006 júniusában engedélyezte. A 4. blokk 2006. május-júniusi főjavítása alatt az egyes rendszer átalakítási engedélyek alapján megtörtént a TN-hez szükséges átalakítások megvalósítása is. A 4. blokk a 2006. évi főjavításról már a 8 % teljesítménynövelési engedély birtokában indult vissza. A blokk felterhelése és az előírt ellenőrzések végrehajtása az engedélyezési dokumentációban bemutatott, a felterhelési üzemviteli programban leírt módon történt. A 4. blokk 1485 MW_t-os névleges reaktor-hőteljesítményére az új üzemeltetési engedélyt 2007 szeptemberében kaptuk meg OAH-tól.

Az 1. blokki TN átalakításra az OAH NBI 2007 áprilisában adta meg az engedélyt. Az átalakítások a 2007. április-májusi főjavítás alatt megtörténtek. Az 1. blokkon az átalakítási

terjedelem eltért a 4. blokkétól, mert a generátorok állapotát felülvizsgálva szakértői döntés született az 1. számú, 11SP generátor állórészének cseréjéről. Az 1. blokk az átalakítások után, a 2007. évi főjavítást követően már növelt teljesítményre képesen indult vissza. A sikeres felterhelési, ellenőrzési program végrehajtása után a PA Zrt. az 1. blokk 1485 MW_t névleges reaktor-hőteljesítményére szóló új üzemeltetési engedélyt 2008 szeptemberében kapta meg a hatóságtól.

A 2. blokki TN átalakítási engedélykérelem 2007. decemberi benyújtását követően 2008 első felében lezajlott a még szükséges technológiai átalakítások előkészítése, engedélyeztetése. A 2008. júniusi hatósági TN átalakítási engedély birtokában a 2. blokkon az átalakítások a főjavítás alatt megtörténtek. Kiemelkedő feladat volt a fő keringtető szivattyúk járókereinek, tengelyének és rögzítő alkatrészeinek cseréje. Mivel a primerköri forgalom a 2. blokkon volt a legalacsonyabb, azt meg kellett növelni legalább az emelt teljesítményhez tartozó biztonsági elemzésekben szereplő 40300 m³/h értékre. Az új, korszerű gyártási technológiájú járókerekek és tengelyek beszerelése után 100 %-on megtörténtek az FKSZ-ek termohidraulikai mérései, majd az egyes teljesítményszinteken a többi előírt ellenőrzés. Az OAH 2009 júniusában adta ki az 1485 MW_t névleges reaktor-hőteljesítményre szóló új üzemeltetési engedélyt a 2. blokkra.

A 3. blokki TN átalakításra az OAH 2008. szeptember 21-i határozatában megadta az engedélyt. Ebben az esetben a TN megvalósításának különlegessége az volt, hogy a 2008. szeptemberi főjavítás alatt a szükséges primerköri átalakításokat végrehajtották, de a turbina átalakítások elvégzésére a normál főjavítási időtartam rövidege miatt nem volt mód. A 3. blokkon az üzemviteli program alapján elvégezték 100 % és 104%-on a szükséges ellenőrzéseket. A hatósággal egyeztetetten, sikeres vizsgálatok eredményének birtokában, vezetői döntés alapján 2009. február 12-én a 3. blokkot 105 %-ra terheltek fel, és teljes körűen elvégezték az üzemviteli program szerinti ellenőrzéseket. A 3. blokk a 2009. évi nagyjavításig az eredeti teljesítményének 105 %-án üzemelt megbízhatóan, biztonságosan.

A 3. blokkon, az 5-6. turbinán a nagynyomású ház fűvókakoszorú-cseréket és a turbinaszabályzó rekonstrukciókat tervezten a 2009. augusztus-októberi nagyjavítás alatt hajtották végre. A visszaindulás után folytatódott a TN üzemviteli program. A 3. blokk – utolsóként – 2009. november 13-án érte el a 108 %-os teljesítményt. Az ellenőrzések mindhárom lépésben megtörténtek. A blokk 1485 MW_t névleges reaktor-hőteljesítményű állapotára az OAH NBI 2010. szeptemberi határozatában adta ki az új üzemeltetési engedélyt. Az 1. táblázat az egyes felterhelési lépések idejét mutatja.

1. táblázat A TN felterhelési program végrehajtása

	104 %	108 %
1. blokk	2007. június 17.	2007. július 19.
2. blokk	2008. november 12.	2008. december 5.
3. blokk	2008. október 31. (105 %: 2009. feb. 12., nov. 10.)	2009. november 13.
4. blokk	2006. július 31.	2006. szeptember 28.

Sikerként értékelendő, hogy az eredeti tervekhez képest mindössze egy évvel később fejeződött be a TN program.

A teljesítménynövelés műszaki eredménye

A már több kampány üzemeltetési tapasztalata alapján elmondható, hogy az új teljesítményen az aktív zónák minden korlátozó paramétere elegendő tartalékkal rendelkezik. Minden primerkörü paraméter a normál üzemi tartományban van. A szekunderkörü paraméterek a számítottaknak megfelelően nőttek, a szabályzó szelepek tartaléka megfelelő. A vegyszeti és radiokémiai paraméterek a megengedett korlátokon belül vannak, értékük az előző kampányban tapasztalathoz hasonló. A szekunderkörü rezgésértékek a határok alattiak.



1. ábra: A 3. blokki TN felterhelés befejezése után

2010. év elejétől a paksi atomerőmű névleges villamos teljesítménye 2000 MW. Az erőmű a teljesítménynövelési munkálatokat megelőzően éves átlagban 14.032 GWh villamos energiát termelt és juttatott el a hazai hálózatba. A 2006. év szeptemberétől egymás után magasabb teljesítményen üzemelő blokkok hatására a 2010. évet a paksi atomerőmű eddigi történetének legnagyobb termelési eredményével zárta: tavaly villamosenergia-termelése 15.761 GWh, részesedése a hazai termelésből 42,1 % volt.

A teljesítménynövelés gazdasági és társadalmi hatása

A teljesítménynövelés projekt beruházásaihoz kapcsolódóan a 2002-2010 közötti időszakban – 2010. évi árakon számolva – a tervezettnél kevesebb, összesen csak mintegy 4,2 Mrd Ft került felhasználásra a tervezett 4,777 Mrd Ft helyett. Blokkonként 500 MW névleges villamos teljesítményt figyelembe véve a TN beruházás következtében összesen kb. 134 MW kapacitás létesült, a beruházás fajlagos költsége így 31,3 MFt/MW. Ez kevesebb bármilyen más alaperőművi technológiára alapozott villamosenergia-termelő kapacitás beruházási ráfordításainál. Az összehasonlítást a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat A TN gazdaságosságának összehasonlítása

A létesítendő alaperőmű jellege	MFt/MW
Lignit	~300
Földgáz	~160
Szél	160-180
Biomassza	~400
Atomerőmű TN	31,3

Az elért teljesítménynöveléssel a villamosenergia-árbevétel a 2006-2009 közötti átmeneti időszakban összesen 13,9 Mrd Ft-tal növekedett, míg a projekt teljes befejezésével a tervezett bevételnövekmény 2010-től (2010. évi áron) évente mintegy 12,0 Mrd Ft lesz. A várható hozamok kumulált összege a jelenleg engedélyezett 2017-ig tartó üzemidővel – 2010. évi árakon – számolva kb. 113,0 Mrd Ft, míg az atomerőmű 20 évvel (2037-ig) történő tervezett üzemidő-hosszabbítását is figyelembe véve, változatlan szintű termelési, illetve értékesítési kondíciókat feltételezve összesen mintegy 349,0 Mrd Ft-ra tehető. A megtérülési idő tekintetében megállapítható, hogy a végrehajtott teljesítménynövelés már a megvalósítást követő első évben megtérült.

A projekt eredményeit értékelve a PA Zrt. vezetése úgy döntött, hogy az eredmények kielégítik a Magyar Innovációs Nagydíj pályázat feltételeit – eredetiség, újszerűség, innovativitás, többleteredmény, vagy többlet árbevétel, társadalmi hasznosság – és 2009. év februárjában a PA Zrt. benyújtotta a „Teljesítménynövelés a Paksi Atomerőmű blokkjain” című innovációs pályázatot a Magyar Innovációs Alapítványhoz. A bíráló bizottság a felsorolt értékelési szempontok szerint a beérkezett 35 pályázat közül a 2009. évi Magyar Innovációs nagydíjat a Paksi Atomerőmű Zrt-nek ítélte oda.



2. ábra: A 2009. évi Magyar Innovációs Nagydíj

Összegzésül elmondható, hogy a TN megvalósítása a PA Zrt. egyik legsikeresebb műszaki projektje lett. A nagyszerű eredmény a PA Zrt. kollektívájának, a közreműködő hatóságok, tudományos és tervező intézmények, vállalatok közös munkájának köszönhető.

Irodalomjegyzék

- [1] Szőke Larisza: *Teljesítménynövelés a Paksi Atomerőműben, Fizikai Szemle* – 2009. 5. szám
- [2] Nemes Imre: *Gazdaságosabb üzemanyag és üzemanyag ciklus a paksi reaktorok növelt teljesítményén* – 2008. július
- [3] Dr. Elter József: *Pályázat a 2009. évi Magyar Innovációs Nagydíjra; Teljesítménynövelés a Paksi Atomerőmű blokkjain* – Paks, 2010. február 5.
- [4] Larisza Szőke, Lajos Hadnagy: *Paks Nuclear Power Plant and Experience of the Power Uprate Project – IAEA Regional Workshop, September 2010*
- [5] PA Zrt. cégvezetői előterjesztés: *Beszámoló a Teljesítménynövelés Alprojekt által elvégzett munkáról, a teljesítménynövelés befejezéséről.* Paks, 2011. február 8.