

## **A PAKSI ATOMERŐMŰ JÖVŐJE, ÉLETTARTAM- GAZDÁLKODÁS, ÉLETTARTAM-NÖVEDELÉS**

*Katona Tamás, Rátkai Sándor, Paksi atomerőmű Rt.  
Jánosiné Bíró Ágnes, Villamosenergia Ipari Kutató Intézet Rt.  
Gorondi Csaba, Ernst & Young Kft.*

A Paksi Atomerőmű eredetileg tervezett élettartamán túlnyúló, biztonságos üzemeltetése olyan műszaki-gazdasági feladat, amely két okból is kiérdemelheti a magyar tudós társadalom érdeklődését: A nukleáris energia alkalmazásához, az atomerőmű biztonságos üzemeltetéséhez olyan hozzáértés és szakmai kultúra szükséges, amelynek megtartása, illetve továbbfejlesztése az ország szellemi potenciáljának megtartását-erősítését is szolgálja. Az atomerőmű élettartamának meghosszabbítása olyan gyakorlati problémák megoldását követeli meg, amely a fizika, kémia, anyagtudomány eredményeinek újszerű alkalmazását igényli, sőt bizonyos területeken a továbbfejlődést inspirálja.

A Paksi Atomerőműnek, mint az ország egyetlen atomerőművének - eltérően a többi villamosenergia-termelő egységtől - saját energiapolitikai szerepe van: Az atomerőmű által megvalósul és fenntartható a villamosenergia-termelés diverzitása a termelési technológia, a primér energiahordozó jellege, forrásainak földrajzi eloszlása szerint egyaránt. Az atomerőmű ma a hazai termelés 39-40%-át adó, legolcsóbban termelő, nemzeti tulajdonban lévő kapacitásként, domináns közüzemi termelőként, a piacsabályozás, a gazdaságpolitikai intervenciók lehetséges eszköze. Ez meghatározza a nukleáris energia szerepét a jövő energetikájában, s kijelöli azt a stratégiát, amit a nukleáris energetika alkalmazása terén követni célszerű tíz elkövetkező két évtizedben a nukleáris energetika meghatározó, távlatilag állandó eleme lesz a hazai villamosenergia-termelésnek, amelyet a Paksi Atomerőmű biztonságos üzemeltetésével, a reaktorok élettartamának meghosszabbításával, az erőmű teljesítményének maximális kihasználásával, s a későbbiekben új kapacitás létesítésével kell biztosítani.

A nukleáris energetika hazai gazdaságban betöltött szerepét a világtendenciák tükrében célszerű szemlélni. Jelenleg az atomerőművek részaránya a villamosenergia-termelésben világszinten 17%, az USA-ban 15%, az EU-ban pedig 35%. A közelmúlt prognózisai a nukleáris energiatermelés kisebb bővülésével számoltak 2010-ig, utána csökkenést jeleztek az élettartamukat lefutott erőművek leállításai miatt. Ehhez képest ma lényeges változás tapasztalható a világ jelentős fejlődési központjaiban. A közelmúltban megváltozott az USA energiapolitikája. Ez lényegében rehabilitálta a nukleáris energetikát, elismeri az atomerőművi villamosenergia-termelés környezetvédelmi hasznát, sürgeti a radioaktív hulladék elhelyezésnek megoldását, s gyorsítani kívánja az új reaktortípusok, üzemanyagciklusok fejlesztését. Az USA-ban jelentős nukleáris kapacitást kívánnak építeni 2020-ig, miközben a jelenlegi kapacitás megmarad, sőt növekedik az élettartam-hosszabbítás

és a teljesítménynövelés következtében. Ezen a politikán nem változtatott a new-yorki World Trade Center elleni terrortámadás sem. Az USA nukleáris biztonsági hatósága, az NRC 2001. szeptember 11-dike után is folytatja az atomerőművek élettartam-hosszabbításának engedélyezését. Azokban az országokban, ahol a politikai szempontok nem dominálnak a gazdasági, sőt környezetvédelmi ésszerűség felett, a nukleáris energetika társadalmi megítélése is elfogulatlan. Jó példa erre Svájc, ahol sem a társadalom, sem a kormány nem támogatta az atomerőművek üzemidejének korlátozását. Finnországban az iparág nem adta fel a nukleáris opciót, és - a meglévő atomerőművek élettartamának meghosszabbítása és teljesítményének növelése mellett - új atomerőművi blokk építését tervezik. Finnországban parlamenti döntés született a kiegészítő üzemanyag tartós tárolójának létesítésére. A kelet-közép-európai régióban az elmúlt évtizedben a nehézségek ellenére is fejlődött az atomenergetika. A szomszédos országokban határozott törekvések tapasztalhatók a nukleáris energetika fejlesztése területén, ami azt eredményezi, hogy Közép-Európában legalább hat, a paksihoz hasonló blokk üzemeltetését tervezik körülbelül 2030-ig. Összességében: a hetvenes-nyolcvanas évekre jellemző atomerőműves építkezés, ha a tempó összességében csökkent is, főként a Távol-Kelet országában (Japán, Korea, Kína) folytatódik, s igen komoly törekvések vannak világszerte a nukleáris energetika pozícióinak megtartására.

Az EU Bizottság által a múlt év novemberében kiadott Zöld Könyv megállapításaiból kitűnik, hogy az atomenergetika fejlesztése nélkül nem lehet szó a környezetterhelés csökkentéséről, és az energiaimport függőség jelenlegi szintjének megőrzéséről. Az atomenergetika a legjelentősebb, ipari méretű, CO<sub>2</sub>-mentes villamos energiatermelési mód, amely jelentősen hozzájárulhat Európa energiaellátásának biztonságához, tekintettel az uránkészletekre, amelyek a kőolaj- és földgázkészletektől eltérően nem a világ politikai krízisközpontjaiban vannak. A nukleáris hulladék kezelése és végleges elhelyezése valóban megoldásra váró kihívást jelent, de ez a kihívás sem elsősorban műszaki, gazdasági, hanem politikai döntéshozatali és kommunikációs jellegű.

Az USA és az EU tapasztalatai azt mutatják, hogy az atomerőművek jól szerepelnek a liberalizált piacon. A már jó ideje működő atomerőműveket alig terhelik a beruházási költségek, az atomerőművek teljes üzemköltsége alacsony, s az üzemanyag nem domináns költségtenyező. Ez utóbbinak köszönhető a nukleáris energetika termelői költségének stabilitása: a nukleáris üzemanyag árának igen valószínűtlen megkétszereződése is csak -20% növekményt eredményezne a termelt energia önköltségében.

A hazai termelők között az atomerőmű termeli a legalacsonyabb költségen a villamos energiát. 2000-ben az átlagos értékesítési ár 5,63 Ft/kWh volt, ami a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba való befizetés jelentős növekedése ellenére is, 2001-re csak 6,32 Ft/kWh-ra emelkedett. Ez az érték fele a más hazai erőművek értékesítési árának és negyedrésze az átlagos fogyasztói árának. Nemzetközi összehasonlításban is megállja helyét a hazai atomerőművi villamosenergia-termelés, hiszen az átlagos értékesítési ár a külföldi, 2 \$cent/kWh körüli termelési átlagár körül mozog. A 2003. január 1-jén a Magyarországon is bekövetkező részleges piacnyitás után az iparág új modell szerint működik tovább. A jelenlegi árak alapján, figyelembe véve, hogy a Paksi Atomerőmű, a többi villamosenergia-termelőtől eltérően, már fizeti az externális költségeket is, az várható, hogy a Paksi Atomerőmű megőrzi versenyképességét a liberalizált, nyugatra nyitott piacon is.

Ilyen feltételek között a Paksi Atomerőmű számára három stratégiai célt lehet és kell kitűzni:

1. Az atomerőmű biztonságát a hazai követelményeknek és a nemzetközi elvárásoknak megfelelő szinten kell tartani. Jelenleg egy átfogó biztonságnövelő-program megvalósítása folyik a Paksi Atomerőműben. Az a cél, hogy a program végére a zónasérülés éves gyakorisága az 1/100000 nagyságrendű legyen, ami megfelel a fejlett országokban üzemeltetett, hasonló korú atomerőművi blokkokkal szemben támasztott követelménynek. Az atomerőmű biztonsága azonban nem statikus. Késznek kell lenni arra, hogy az új felismerések és tapasztalatok új követelményeket generáljanak, amelyekre meg kell találni a megfelelő válaszokat.

2. Növelni kell a reaktorok teljesítőképességét a biztonsági elemzések és a főberendezések terhelhetősége által megengedett mértékben. Ez jelentősen növelheti az atomerőmű versenyképességét. A szekunderköri korszerűsítésekkel, a kondenzátor-rekonstrukció és a turbina-retrofit eredményeként a blokkok villamos teljesítménye ma már eléri a 470 MW-ot. Kihasználva a VVER-440/V213 reaktor tartalékait, kedvező tulajdonságait, a reaktor hőteljesítménye, így a blokk villamos teljesítménye is biztonságosan mintegy 7-9%-kal tovább növelhető. A villamos teljesítmény reaktoronként 500-510 MW lehet, a kapacitásnövekedés a négy reaktor esetében elérheti egy átlagos gázturbina 150 MW-nyi teljesítményét.

3. A reaktorokat a műszaki, gazdasági és a biztonsági követelményeknek megfelelően minél hosszabb ideig üzemben kell tartani hatékony élettartam-gazdálkodással. A PA Rt. 2000-ben a megvizsgálta az atomerőmű élettartam-hosszabbításának lehetőségét és alternatíváit, az alternatívák műszaki és üzleti megvalósíthatóságát. Az alábbiakban bemutatjuk ennek a vizsgálatnak legfontosabb eredményeit.

### **Az élettartam-hosszabbítás előfeltétele**

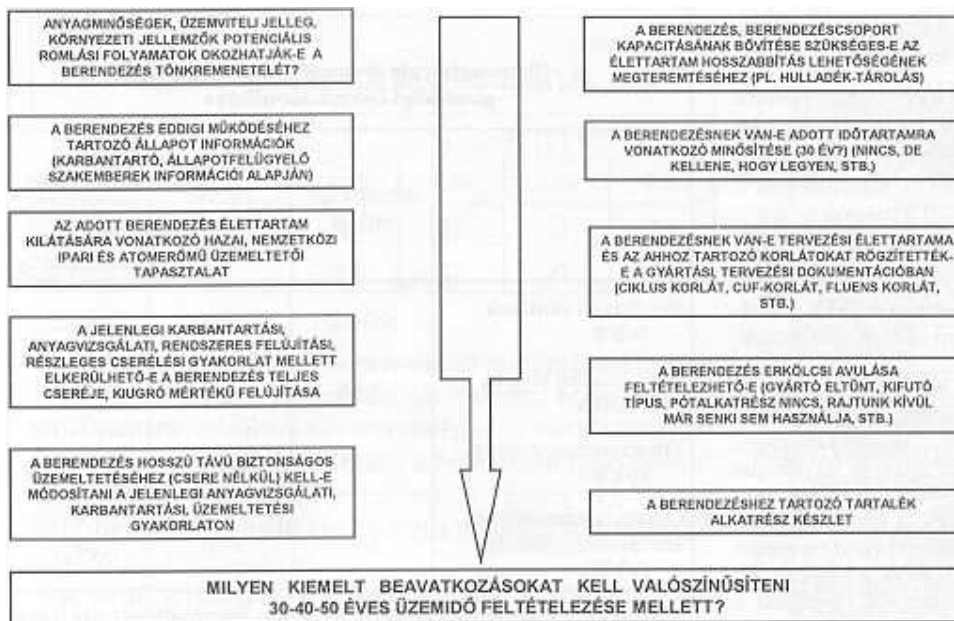
Az erőmű élettartamát azoknak a berendezéseknek az élettartama határozza meg, amelyeknek fontos biztonsági vagy üzemeltetési funkciójuk van és nem cserélhetőek, vagy csupán olyan nagy költség árán, amely ésszerűen nem vállalható.

Nyilvánvaló, hogy a tervezett élettartam végéig, az utolsó üzemi napon is, valamennyi berendezésnek és az erőműnek összességében teljesítenie kell a biztonsági követelményeket.

Az élettartam-gazdálkodás az élettartam szempontjából kritikus berendezésekre kidolgozott rendszer, amely a berendezések öregedését figyelembe véve meghatározza a karbantartások, felújítások terjedelmét, módszereit, ütemezését és költségeit az erőmű technikailag elérhető leghosszabb - a tervezett vagy a meghosszabbított - élettartamának elérése érdekében. Az optimális élettartam a műszaki korlátok és lehetőségek, illetve a gazdaságosság elemzésével határozható meg.

1993-ban, az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatokkal, az üzemeltetési engedély időszakonkénti meghosszabbításának rendszerét vezették be Magyarországon is, az európai nukleáris biztonsági szabályozási gyakorlatnak megfelelően. A tízévenkénti felülvizsgálatok során az üzemeltetési engedély feltételeként igazolni kell, hogy az öregedési folyamatok ellenére a biztonsági szempontból fontos berendezések működőképeseek. E követelmények miatt a szisztematikus öregedés-kezelési tevékenység a Paksi Atomerőműben mintegy nyolc éve kezdődött. Ez az atomerőműben a kezdetektől folyó tevékenység kiteljesedése: a reaktortartály-anyag neutron-besugárzás okozta elridegedése ellenőrzésének, az eróziós-korróziós jelenségek monitorozásának, a műszaki felülvizsgálatok gyakorlatának.

A reaktorok Időszakos Biztonsági Felülvizsgálata során megtörtént az élettartam szempontjából kritikus, biztonsági szempontból fontos berendezések meghatározása. A paksi reaktorok élettartamát a reaktortartály szabja meg, bár a tartály kritikus jellegét a már bevált hőkezelési eljárásokkal jelentősen csökkenteni lehet. Jóllehet a világon már számos gőzfejlesztőt kicseréltek, mégis valószínű, hogy a paksi VVER-440/213 reaktortípus beépítési sajátosságai miatt a gőzfejlesztők cseréje csak extrém nagy költségekkel valósítható meg, így a Paksi Atomerőműben a gőzfejlesztők is az élettartamot korlátozó berendezés csoportba tartoznak. Triviális, de fontossága miatt mégis meg kell említeni, hogy az élettartam szempontjából a tartály jelenti az abszolút korlátot. Ezekről a szerkezetektől és berendezésektől megfelelő öregedés-kezelés mellett elvárható, hogy az erőmű tervezett élettartamáig üzemeljenek, de tőlük függ, és bennük van az élettartam-hosszabbítás lehetősége is. A többi berendezés, komponens, s nagy tömegben beépített elem megfelelő állapotát (karbantartással, felújításokkal, cserével) fenn kell tartani, hogy azok ne váljanak az erőmű működésének akadályává. Megtörtént a kritikus berendezések öregedési folyamatainak feltárása, az állapotváltozás nyomon követésének és a lehetséges korrekciós intézkedéseknek meghatározása. A gépészeti berendezések esetében meghatározó mechanizmus a ciklikus fáradás, ezért követni kell a tényleges ciklusszám alakulását. A legtöbb öregedési folyamat következménye nyomon követhető a műszaki felülvizsgálatok eredményei alapján. A kritikus komponensek öregedés-kezelésén, monitorozásán túl, az atomerőműben minden szakterületen folyik a szerkezetek, berendezések és komponensek állapotának felügyelete, ezzel biztosítva a nagyszámú (ámbár cserélhető) rendszerelemek megkövetelt műszaki szintjét.



Az állapotfelmérés és műszaki felülvizsgálat szempontjai.

Korszerű számítógépes támogatással folyik a kritikus komponensek öregedési folyamatainak monitorozása, az adatgyűjtés.

A tudatos öregedés-kezelés már az eddigi átalakítások, cserék során is teret nyer. Erre példa a turbina-kondenzátorok cseréje, ami - lévén az új kondenzátorok rozsdamentes acél csövezésűek - lehetővé teszi a gőzfejlesztők lokális korróziós hajlamát fokozó elrakódás ütemét lényegesen csökkentő, magas pH-jú szekunder körü vízüzem bevezetését.

Az élettartam-gazdálkodás műszaki-tudományos kérdéseinek tisztázására folyik évek óta komoly kutatómunka több intézményben. E tevékenység lehet az alapja a hazai szakértők műszaki-tudományos kompetenciája elismertetésének.

Az már 1992-ben felismerhető volt, hogy a beépített biztonság, minőségbiztosítás, biztonsági elkötelezettség, és biztonságnövelés, az üzemközbeni ellenőrzések, karbantartások más iparágakat jóval felülmúló rendszeressége (néhány komoly, de kezelhető problémától eltekintve) lehetőséget ad az atomerőmű élettartamának növelésére. Azt legfeljebb politikai, gazdaságpolitikai, társadalmi és befektetési szempontok korlátozhatják [1].

2000-ben megtörtént az élettartam-hosszabbítás megvalósíthatóságának komplex műszaki-gazdasági vizsgálata, amely ezt a feltételezést teljes mértékben megerősítette.

### **A vizsgálat menete**

Az élettartam-hosszabbítás műszaki-gazdaságossági megvalósíthatóságának vizsgálata három részfeladatból állt:

- Az atomerőművek élettartam-hosszabbításával kapcsolatos ismeretek, különösen az USA-ban felhalmozódott tapasztalatok és engedélyezési eljárás feldolgozása [2].
- Az atomerőmű szerkezetei, rendszerei és komponensei műszaki állapotának felmérése, az élettartam-hosszabbítás műszaki, biztonsági korlátainak megállapítása és a biztonsági, illetve termelési funkciók fenntartásához szükséges beruházási költségek becslése [3].
- Az élettartam-hosszabbítás üzleti modelljének kifejlesztése, amellyel elemezni lehetett az erőmű élettartam-hosszabbítási alternatívák versenyképességét [4].

Az alábbiakban az utóbbi két részfeladat eredményeit taglaljuk.

#### **Az erőmű műszaki állapotának felmérése**

Az erőmű állapotának felmérése a szerkezetek, rendszerek és komponensek nagyszámú, reprezentativitáshoz feltétlenül elégséges halmazán történt. Az elemzés közel 500 szerkezet, rendszer és berendezés élettartamkilátásaira, az ellenőrzési, karbantartási, állagmegóvási gyakorlatra, az öregedéssel, romlási folyamatokkal kapcsolatban összegyűlt tapasztalatokra terjedt ki. Minden berendezés esetében felmértük, lehet-e az erőmű eddigi gyakorlatának megfelelő cserékkel, felújításokkal, eseti kiváltásokkal (az ehhez tartozó rendszeres költségek árán) az elvárt biztonsági szintet, rendelkezésre állást biztosítani, vagy kiugró beruházási költségekkel kell számolni az élettartam-hosszabbítás alternatíváitól függően. Az állapotfelmérés és műszaki felülvizsgálat szempontrendszerét az *ábra* mutatja be.

Megállapítottuk, hogy:

- A Paksi Atomerőmű 50 éves üzemen tartását műszaki akadály vagy teljesíthetetlen biztonsági határ nem korlátozza.
- A Paksi Atomerőmű ellenőrzési, karbantartási, rendszeres felújítási gyakorlata a legtöbb berendezés esetében lehetővé teszi az élettartam-hosszabbítást kiugró költség nélkül.
- A berendezések, rendszerek kis hányadánál (az élettartam-hosszabbítás mértékétől függően) szükség lesz rekonstrukcióra komolyabb beruházásra, mivel az öregedés okozta hatások javításának lehetősége korlátozott, vagy jelentős erkölcsi avulással kell számolni. Egyes berendezések, rendszerek esetén (például szabályozó és biztonsági védelmi kazetták hajtásai, ezek közbenső rúdjai stb.) az üzemidő növeléséhez készletváltásra, más esetekben pedig kapacitásbővítésre van szükség (mint például a hulladékártóroló esetében).

Az élettartamot korlátozó berendezések közül a reaktortartályok és a gőzfejlesztők (fokozott jelentőségük miatt) külön említést érdemelnek. A Paksi VVER/213 típusú reaktortartályok anyaga a neutron-besugárzásra, illetve az ezáltal okozott ridegedésre kevésbé érzékeny, mint más, hasonló reaktorok tartályai. Így a reaktortartályok tovább üzemeltethetők a biztonságot és az élettartam-hosszabbítás gazdaságos voltát nem veszélyeztető intézkedésekkel és költségekkel.

- A 3-4. reaktornál a reaktortartályok semmilyen beavatkozást, módosítást, következképp semmilyen kiugró többlet költséget nem igényelnek még 50 éves élettartam esetén sem.
- A 2. reaktornál a reaktortartály élettartamának meghosszabbításához csak az üzemzavari zónahűtési tartályok felfűtésére van szükség a kis valószínűséggel bekövetkező, nyomás alatti termikus sokk (PTS) tranziensek okozta hőfeszültség-szintek csökkentésére. Erre kipróbált és nem túlzottan költséges műszaki megoldások léteznek.
- Az 1. reaktornál az 50 éves élettartam esetén az üzemzavari zónahűtési tartályok felfűtésén túl -50%-os esélye van annak, hogy az aktív zóna melletti 5/6-os hegesztési varrat ridegtörési hőmérsékletének csökkentésére hőkezelést kell alkalmazni. A hőkezelés a VVER erőművek gyakorlatában (Finnországban, Szlovákiában) sikerrel alkalmazott, nem költségkritikus eljárás.

A paksi gőzfejlesztők esetén is számolnunk kell a hőátadó csövek feszültségkorróziójával. Ha az időközben bevezetett, a gőzfejlesztők szekundéroidali védelmét szolgáló beavatkozásokat (kondenzátorcsere, réztelenítés, 100%-os kondenzátisztító kiiktatása stb.) is figyelembe vesszük, akkor a paksi reaktorblokkok 50 éves élettartama esetén nagy biztonsággal kizárhatjuk is a gőzfejlesztők cseréjét. A szekundéroidali lokális korróziós folyamatokat azonban a megváltozott vízüzem esetén is kontrolálni kell, minimalizálni kell az eróziótermékek gőzfejlesztőbe való behordását, például a nagynyomású előmelegítők cseréjénél a szerkezeti anyagok helyes megválasztásával.

### **Input adatok az üzleti értékeléshez**

Az erőművi berendezések elvárt biztonságossági szintjét folyamatosan fenntartó karbantartási, állagmegőrzési, időszakos felújítási, szakaszos cserélési gyakorlathoz tartozó úgynevezett szintentartó beruházási költségeket az erőmű 1994-2000. évi gyakorlata és tényadatai alapján határoztuk meg. A tényadatot az előre nem specifikálható (például biztonságnövelő) tételek miatt, konzervatív módon -35%-kal megnöveltük, ez lett az üzleti elemzés inputja. A fentiekben említett műszaki állapot-felmérés megadta, hol kell az elvárt biztonságossági szintet, rendelkezésre állást jelentős beruházással biztosítani a meghosszabbított élettartam alatt. Ez úgyszintén az üzleti elemzés input adata lett.

### **Az élettartam-hosszabbítás gazdasági értékelése**

Az élettartam-hosszabbítás üzleti modellezése a bevételekre, a kiadásokra és a finanszírozásra terjedt ki.

A bevételek a villamosenergia-termelésből és értékesítésből származnak. Feltételeztük, hogy a Paksi Atomerőmű rendelkezésre állása a jelenlegi kiemelkedő szinten tartható. A kezdeti időszakban az értékesítés a hosszú távú áramvásárlási szerződés alapján, 2010-től pedig a már teljesen liberalizált árampiacon versenykörülmények között zajlik.

A hosszú távú áramvásárlási szerződés időszakát felváltó versenypiaci árképzés alapjául a kombinált ciklusú gázturbinás erőművek (CCGT) adatait használtuk, mivel ezek várhatóan domináns szerepet kapnak az energiatermelésben. Feltételeztük, hogy a jelenlegi kapacitás kihasználási szint is megtartható, mivel nem számoltunk az üzemszüneti pontnál, az atomerőmű tipikus költségeinek fajlagos értékénél (3,67 Ft/kWh, 1999-ben) alacsonyabb versenypiaci áramárral.

A makrogazdasági tendenciák becslésénél mértékadó forrásokat, például a Gazdaságkutató Intézet által prognosztizált adatokat használtuk. Figyelembe vettük a Paksi Atomerőmű specifikus műszaki és gazdasági adatait, mint például a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba való befizetési kötelezettséget, vagy az eredetileg tervezett 30 éves élettartamhoz kapcsolódó biztonságnövelő beruházások már folyó vagy eltervezett tételeit, s az élettartam-hosszabbítás engedélyeztetési eljárásának várható költségeit.

Az iparág jellemző adatait, mint például az iparági tőkeköltségre vonatkozó adatokat, a CCGT létesítési és működési költségeire vonatkozó adatokat nemzetközi forrásokból (például International Energy Agency: Projected Costs of Generating Electricity) vettük.

Az input adatok és a változónak tekintett paraméterek esetében konzervatív feltételezésekkel éltünk, például moderált gázár prognózist vettünk alapul, továbbá a beruházások időpontját a felmerülés időszakának legelejére ütemeztük.

Feltételeztük, hogy az élettartam-hosszabbítás beruházásai az osztalékkal csökkentett termelődő működési pénzáramokból és leginkább hitelekkel finanszírozhatók. A hitelek felvétele a mérleg-főösszeg 50%-ig megengedett.

<i>1. táblázat</i>			
<b>A villamosenergia-termelés alternatíváinak gazdasági összehasonlítása</b>			
	széntüzelésű erőmű	kombinált ciklusú gáztüzelésű erőmű	Paksi Atomerőmű, 20 év élettartam-hosszabbítás
Beruházási kiadások Ft/kW	340 000	160 000	58 000
Karbantartási költség Ft/kWh	1,32	0,71	2,84
Primérenergia-költség* Ft/kWh	3,38	5,67	0,83
Összes üzemeltetési és karbantartási költség Ft/kWh	4,70	6,38	3,67

\* Prognózis közepes energiaárak esetén, a közelmúltbeli gázár-tendenciák nélkül.

### **Az üzleti értékelés eredményei**

A kiemelt jelentőségűnek feltételezett változókra (földgáz áralakulás, beruházások felmerülésének időpontja, típusévi költségek szintje) érzékenységteszt-vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy programunk megtérülését leginkább a földgázár, illetve azon keresztül a villamos energia értékesítési ár alakulása befolyásolja. Miután a földgázár nehezen prognosztizálható, azt a teljes időszakra változtathatóként állítottuk be.

Az élettartamhosszabbítás-program gazdaságosságát kétféle összehasonlításban vizsgáltuk:

- A programok értékelésekor általánosan alkalmazott nettó jelenérték és belső megtérülési ráta-kritériumok mellett, amelyeket érzékenységvizsgálataink keretében vizsgáltunk, elvégeztünk egy olyan beruházás gazdaságossági számítását, amely az atomerőmű-élettartam meghosszabbításra vonatkozó beruházási döntést állítja szembe az alternatívaként megvalósítható (ugyanolyan teljesítmény egyenértéken figyelembe vett) CCGT létesítési beruházással.
- Megvizsgáltuk, mekkora a nettó jelenértéke, illetve a belső megtérülési rátája az élettartam-hosszabbítás megvalósításának, az erőmű leállításával összehasonlítva.

A pénzügyi modell alapján elvégzett gazdaságossági számítások legfontosabb végkövetkeztetései az alábbiak.

#### *Élettartam-hosszabbítás versus helyettesítő CCGT létesítés*

Az alternatív beruházásként figyelembe vett CCGT létesítéshez képest mind a fajlagos beruházási kiadások terén, mind pedig a működési költségek esetében sokkal előnyösebb a Paksi Atomerőmű élettartam hosszabbítása. Amennyiben a meghosszabbított üzemidő alatt a villamosenergia-értékesítési reál-árszint 4,52 Ft/kWh felett alakul, a CCGT építéséhez képest előnyösebb az atomerőmű élettartamának meghosszabbítása mellett dönteni. A rendkívül jelentős gazdaságossági tartalék oka az, hogy az élettartam-növelés a CCGT létesítéshez képest kisebb beruházási kiadásokat igényel és a közvetlen üzemköltségek az atomerőmű esetében alacsonyak (*1. táblázat*). Itt kell hangsúlyoznunk, hogy a modellben nem tételeztünk fel reálértéken változást a nukleáris fűtőanyag árában az 1999-es évi szinthez képest. Ez utóbbi azonban az eredményeket még akkor sem változtatja meg, ha a természetes urán ára két-háromszorosára nőne.

<i>2. táblázat</i>				
Az élettartam-hosszabbítási program üzleti jellemzői				
hosszabbítás mértéke	ha az áramár, Ft/kWh			
	5,85	6,50	7,50	8,50
10 éves, hozam, %	8,5	17	19	25
20 éves, hozam, %	8,5	17	20	28

#### *Élettartam-hosszabbítás versus az atomerőmű leállítása*

Miután a pénzügyi elemzés azt mutatta, hogy a program finanszírozásához nincs szükség saját tulajdonosi forrás bevonására (tőkeemelésre), a befektetett tőke értékeként azt az összeget szerepeltettük, amely az erőmű 2017-ben történő leállítása esetén a tulajdonosokat illetné saját tőkéjük értékeként.

A nettó jelenérték kritérium alapján a 2000. évi földgáz-árszintnél 30%-kal alacsonyabb árat feltételező, 5,85 Ft-os áramár mellett válik nem megtérülővé az élettartam-hosszabbítás (mind



a 10, mind a 20 éves élettartam-növelés esetén). Az erőmű leállítása helyett az élettartam-hosszabbítás megvalósítása 5,85 Ft/kWh feletti reál áramár (2000. éves szint) felett már gazdaságosabb. A 2. táblázat az élettartam-hosszabbítási program jövedelmezőségét mutatja be a tervezési élettartamon túli 10, illetve 20 évvel történő meghosszabbítás esetén. A táblázat adatainak összehasonlításából a 20 éves élettartam-hosszabbítás előnye egyértelműen látszik.

A táblázatban a teljesítménynövelés nincs számításba véve. Mivel a teljesítménynövelés nem jár arányosan ugyanakkora üzemeltetési és karbantartási költségnövekedéssel, végeredményben az a megtermelt villamos energia egységárának csökkenését is okozza.

Vannak még költségcsökkentési lehetőségek az üzemanyag-gazdálkodásban. A friss üzemanyag beszerzés diverzifikálása, második szállító megjelenése az atomerőmű számára kedvező árverseny kialakulását eredményezheti, valamint lehetőséget nyújt a stratégiai készlet szintjének csökkentésére, ezzel a pénzügyi terheknek az ellátási biztonságot nem veszélyeztető mérséklésére.

### **Előkészítő program**

A tervezett élettartamon túli üzemelés lehetőségének megteremtéséhez - a jelenlegi öregedés-kezelési- és élettartam-gazdálkodási-program folytatásán túl - számos feltételnek kell teljesülni. Ennek megteremtése, az élettartam-hosszabbítás műszaki-biztonsági megalapozása és engedélyeztetése egy előkészítő program feladata, amely 2001. októberében indult. A program produktuma a tervezett élettartamot 20 évvel meghaladó üzemeltetés nukleáris biztonsági engedélyezéséhez szükséges dokumentumok, a szükséges egyéb hatósági engedélyek, szakhatósági állásfoglalások, az üzemeltethetőséget megalapozó elemzések és az üzemeltethetőséget biztosító élettartam-gazdálkodási-program. Az élettartam-hosszabbítás műszaki-biztonsági előkészítése, megalapozása és engedélyezése komplex, 2001-2007. között megvalósítható, hosszú távú feladat, amely a hazai műszaki-tudományos háttérintézmények közreműködésével, a külföldi tapasztalatok figyelembevételével oldható meg. A feladat műszaki és engedélyezési szempontból kapcsolódik a teljesítmény-növeléshez, és a Végleges Biztonsági Jelentés korrekciójára irányuló munkához is.

A Paksi Atomerőmű tervezett élettartamon túli üzemeltetéséhez élettartam-elemzésekkel igazolni kell a meghosszabbított üzemidőre berendezések, komponensek megfelelőségét, ki kell dolgozni, és működtetni kell egy olyan komplex élettartam-gazdálkodási-programot, amely biztosítja a szerkezetek, rendszerek és komponensek megkövetelt funkcióját, lényegében egy kortalan állapotot.

Az élettartam-gazdálkodási-program olyan irányítási rendszer és gyakorlat bevezetését jelenti, amely meghatározza az öregedési folyamatok ellenőrzését, monitorozását, valamint ennek és a kitzűzött élettartamnak függvényében, az élettartam-gazdálkodási-program üzleti modellje alapján, az öregedési folyamatok optimális kezelését, azaz a karbantartás, a műszaki felülvizsgálatok, inspekciók rendszerét, a szinten tartás, a felújítások és a beruházások műszaki tartalmát és időzítését. A program meghatározza a kitzűzött élettartamot garantáló üzemviteli magatartást is.

A fentiek megvalósítása érdekében az alábbi főbb műszaki feladatokat kell végrehajtani:

- az élettartam-gazdálkodás terjedelemben tartozó rendszerek, szerkezetek és komponensek meghatározása,
- adatbázis létrehozása és feltöltése az állapotértékelés, monitorozás, maradó élettartam meghatározás céljára,
- a maradék-élettartam; élettartamkorlát elemzése,
- az inspekciós, anyagvizsgáló, monitorozási tevékenység, illetve a teljes a karbantartási gyakorlat elemzése az adekvát állapot-felügyelet, a funkciók és a minősített berendezés-állapot fenntartása céljából,
- az élettartam-hosszabbítással összefüggő biztonsági elemzések.

A tervezett élettartamon túli üzemelés feltételeinek és követelményeinek megvalósítása az élettartam-gazdálkodási-program bevezetésével kezdődődik és gyakorlatilag a reaktorok végleges lezárásáig tart.

## **A siker feltételei**

Az élettartam-hosszabbítás elengedhetetlenül szükséges feltétele, hogy az atomerőmű teljesítse a további tartós üzemeltethetőség alapvető biztonsági feltételeit. Ez a most folyó biztonságnövelő-program sikeres befejezésén túl a biztonság folyamatos prioritását követeli meg az üzemeltetőtől. Az atomerőmű biztonsága, az üzemeltető biztonsági elkötelezettsége kedvező értékelést kapott a csatlakozási folyamat előkészítése során az EU Bizottságtól éppúgy, mint más EU fórumoktól, szakmai szervezetektől. Az élettartam-hosszabbítás egyúttal azt is jelenti, hogy a 2020-as évek biztonsági kihívásaival is szemben kell nézni.

Az erőmű nukleáris biztonsága mellett, ma különös aktualitása van az erőmű fizikai biztonságának, védettségének. Hasonlóan más veszélyes ipari létesítményekhez, az atomerőműveket sem tervezik háborús cselekményekre vagy óriás repülőgépek becsapódására. Az atomerőműveknek mégis jó esélyük van ilyen jellegű események súlyos környezetszennyezés nélküli elviselésére, mivel azokat a technológiai eredetű üzemműködéseken túl, jelentős külső hatások, mint például földrengések, nehéz terhek lezuhanása, tüzek, elárasztás stb. elviselésére tervezik. Az atomerőmű személyzetének a baleseti helyzetre való felkészültsége döntő szerepet játszik az esetleg bekövetkező rendkívüli események következményeinek csökkentésében. A Paksi Atomerőmű fizikai védelme megfelel a nemzetközi konvencióknak és normáknak. A World Trade Center támadása után bevezetett szigorú intézkedések a lehető legnagyobb mértékben csökkentik az atomerőmű veszélyeztetésének lehetőségét, illetve hatékony információs és technikai feltételeket biztosítanak a következmények korlátozására. A létesítmény őrzésvédelme, a biztonsági övezet, a repülési tilalmi zóna egyaránt a fokozott védelmet szolgálja. Az atomerőművek szerepe jelentősen változhat a megváltozott környezetben. Egyfelől növekednek a védelmi feladatok, mivel potenciális célpontként szerepelhetnek a terrorizmus listáján. Másfelől közép- és hosszútávon az atomerőművek stabilizáló szerepe növekedik, hiszen ezek az erőművek függetlenek a politikai kríziszónákban termelt fosszilis energiahordozóktól. Az atomerőmű őrzésére vonatkozó állami tevékenységek nem terhelik jelentős rejtett költségekkel a nukleáris alapon megtermelt villamos energiát, mivel a terrortámadások általános kockázata miatt más polgári, állami és ipari létesítmények védelme gyakorlatilag ugyanazokat az intézkedéseket igényli.

Nem feltétel, de igen kedvező műszaki (sőt gazdasági) körülmény a reaktorteljesítmény növelése, ami az élettartam-hosszabbítással párhuzamosan valósul meg, s ami jelentősen fokozza a versenyképességet, és jobb megtérülést biztosít mindkét program számára. A meghosszabbított élettartam alatt még az üzemanyag-fejlesztések várható eredményeiből is lehet profitálni.

Az engedélyezés, a szabályozási környezet, követhető szabályok kialakítása az élettartam-hosszabbítás megvalósításának igen fontos feltétele. Meg kell említeni, hogy folyik az az adatgyűjtő- és telephely-jellemző-program, amely a környezetvédelmi és vízjogi engedélyezés alapját képezi. A nukleáris biztonsági engedélyezés a jelenlegi jogi keretek között lehetséges, az alacsonyabb szintű, részletes szabályozás kidolgozása 2002-ben befejeződik. Az új Villamosenergia Törvény nem gördít engedélyezési akadályokat a Paksi Atomerőmű élettartamának meghosszabbítása elé.

Az élettartam-hosszabbítást az is indokolja, hogy a Paksi Atomerőmű elfogadottsága igen jó, tartósan több mint 70%. Ez és a régió egyértelmű támogatása adja az élettartam-hosszabbítás társadalmi alapját. Nagy érdeklődés tapasztalható az élettartam-hosszabbítás iránt, észlelhető az érdekeltség és az elkötelezettség növekedése az érintettek körében, határozott a támogatás a lakosság részéről.

Az élettartam-hosszabbítás kedvező nemzetközi fogadtatása érdekében magas szintű eszmecserék folytak nemzetközi fórumokon. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség kész támogatni a Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbítását, ami elősegíti a program legitimitációját a nemzetközi szakmai körök előtt.

Az atomerőmű üzemeltetése nem függetleníthető a kiegészítő üzemanyag és a radioaktív hulladék problémájától. A kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolása a telephelyen lévő tárolóban 50 évre megoldott. Ma a világon intenzív kutatófejlesztő munka folyik a kiegészítő üzemanyag optimális kezelésének, illetve a nagyaktivitású hulladék végleges elhelyezésének megoldására. Ennek meg lesz az eredménye, ezért ma a világon mindenütt a kivárási stratégiáját követik. Ezzel a kérdéskörrel megfelelő szinten kell foglalkozni hazánkban is. A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezését a világon technikailag megoldottnak tekintik. A hazai tároló telephelyének kijelölése és a tároló létesítése stratégiai jelentőségű feladat. A tároló elkészültéig a Paksi Atomerőműnek meg kell oldania a hulladék üzemi területen való kezelését és átmeneti tárolását.

Az atomerőmű öregedése nem csak műszaki kérdés. Az atomerőmű üzemeltetői, de a műszaki-tudományos háttér intézmények személyi állománya is öregedik, az átlagéletkor feltűnően az ötven év irányába tolódott el. Ezt a folyamatot a háttérintézményeknél némileg késleltette a biztonságnövelő-program tudás és humán erőforrás igénye, de az elöregedés problémája így is általános jellegű. A Paksi Atomerőmű humán stratégiája és humán erőforrás fejlesztése hivatott a távlati szakember igény és szaktudás biztosítására, de a humán erőforrás és szaktudás biztosításának kérdése nem csak egy cég, hanem az ország műszaki-tudományos és oktatási potenciáljának aktivizálását, revitalizálását is jelenti.

## **Összefoglalás**

A gazdasági-politikai körülmények miatt szükség van arra, hogy a hazai villamosenergia-piacon megőrizzük a nukleáris energetika pozícióját. A nemzetközi tendenciákat követve és a paksi reaktorok műszaki biztonsági adottságait kihasználva ezt a Paksi Atomerőmű élettartamának meghosszabbításával lehet megvalósítani. Ennek biztonsági és műszaki megvalósíthatóságát és egyértelmű üzleti előnyeit a vizsgálatok igazolták. Az élettartam-hosszabbításra elvi döntés született, egy előkészítő program keretében készül az élettartam-hosszabbításhoz szükséges öregedés-kezelési és élettartam-gazdálkodási-program, illetve az engedélyezési dokumentáció amely igazolja, hogy a hazai hatályos nukleáris biztonsági és környezetvédelmi előírások, s a nemzetközi normák szerint a Paksi Atomerőmű legalább ötven évig üzemeltethető, s a hazai villamosenergia-termelés biztonságos, tiszta forrása marad.

## **Irodalom**

1. T. KATONA, J. BAJSZ: *PLEX at Paks: making virtue out of necessity* - Nuclear Engineering International (June 1992)

2. *A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításának megvalósíthatósági elemzése, 1. rész - VEIKI, 2000*

3. *A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításának megvalósíthatósági elemzése, 2. rész: A berendezések műszaki állapotának előzetes értékelése, táblázatok - VEIKI, 2000*

4. *A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításának megvalósíthatósági elemzése, 3. rész: A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításához tartozó üzleti terv modell kifejlesztése - VEIKI, 2000*