



## C15-Kampányhosszabbítás a Paksi VVER-440-es blokkokban

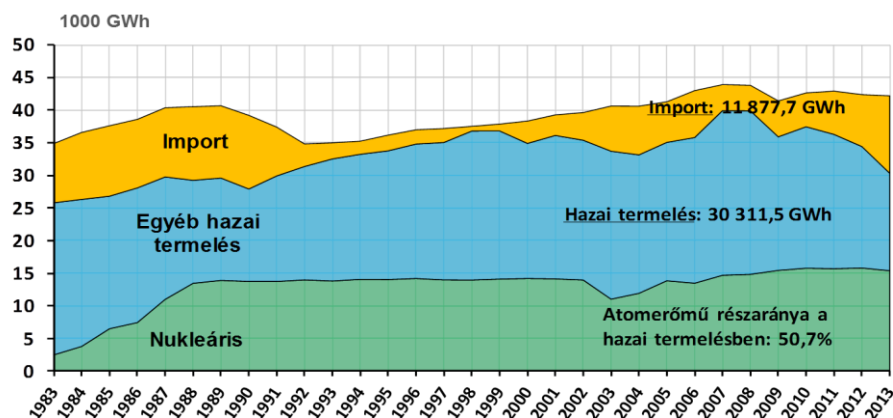
Az Energetikai Szakkollégium Bánki Donát emlékfélévének hatodik előadására 2014. november 6-án került sor, ahol az érdeklődők a VVER-440-es blokkokban tervezett kampányhosszabbításról, így a C15-s projektről, a nukleáris biztonság fenntartásáról/növeléséről, környezetvédelmi, valamint gazdaságossági szempontokról hallhattak.

Előadónk Czibula Mihály volt, a 15 hónapos Üzemelési Ciklus Bevezetés Végrehajtási Kiemelt Projekt vezetője a MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-nél.

### Czibula Mihály előadása

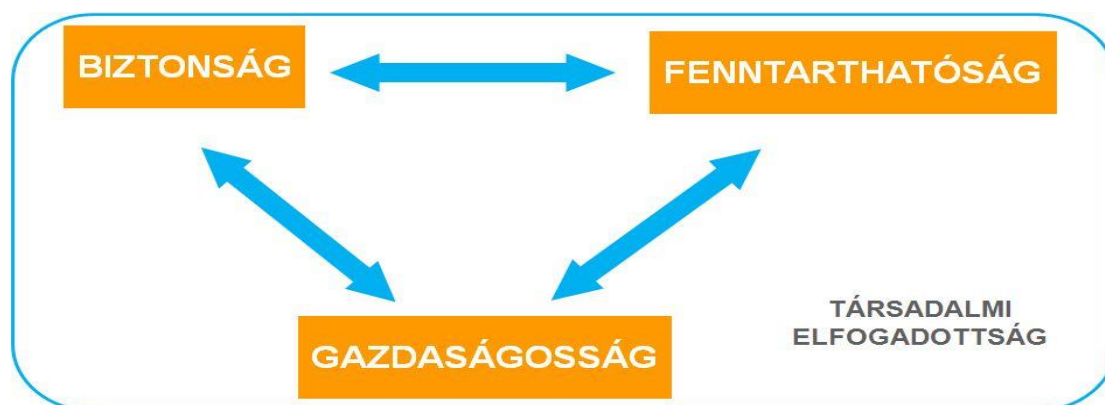
#### Az MVM Paksi Atomerőmű szerepe a hazai villamosenergia-szektorban

Czibula Mihály bevezetőjében rövid előadást hallhattunk a Paksi Atomerőmű múltjáról, Magyarország egyetlen atomerőművéről, amely a jelenlegi 2000 MW beépített teljesítményével kiemelkedik a hazai termelők közül. Ezt bizonyítja, hogy a legnagyobb részarányban jelenik meg a hazai villamosenergia-termelésben (2013-ban 50,7% volt), részesedésének értéke pedig folyamatosan emelkedő tendenciát mutat 2003 óta, valamint a jelentősége a bruttó hazai fogyasztást tekintve is számottevő (2013-ban 36,4%). A blokkokat 1982 és 1987 között csatlakoztatták a hálózatra 30 éves tervezett üzemidővel, azonban a jelenlegi műszaki állapotuk ennek további 20 évvel történő meghosszabbítását teszi lehetővé.



1. ábra: A hazai villamosenergia-fogyasztásának alakulása 1983-2013

A Paksi Atomerőmű működésének megkezdése óta gondosan ügyel arra, hogy a stratégiai döntéseit a biztonság, a környezet védelme és a gazdaságosság együttes figyelembevételével, valamint a társadalmi elfogadottság szem előtt tartásával hozza meg. A műszaki átalakítások alapját a következő mottó képezi: „Jövőképünk a nukleáris biztonság mindenkori elsődlegessége mellett – műszakilag megalapozottan és optimális költség szinten a lehető leghosszabb ideig – a villamos-energia termelés maximalizálása.”



2. ábra: Stratégiai döntés átgondolásának szükséges lépcsői

### **Kihívások, követelmények és az ezekre adott válaszok**

Az atomenergia felelős felhasználása során különösen fontos arra törekedni, hogy egy-egy műszaki átalakítás során a létesítmény nukleáris biztonsága semmiképpen se romoljon. Egy-egy ilyen beavatkozás hatását PSA analízis (Probabilistic Safety Assessment) segítségével határozhatjuk meg, amely során különböző kezdeti eseményekből kiindulva meghatározzuk egy potenciális veszélyhelyzet kialakulásának kollektív valószínűségét.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ajánlásai szerint üzemelő blokkokra a zónasérülés valószínűsége egyéves üzemidő alatt nem haladhatja meg az  $5 \times 10^{-4}$ , tervezett újabb blokkokra a  $10^{-5}$  értéket. Az MVM Paksi Atomerőmű elkötelezett a nukleáris biztonság növelése mellett. Ennek érdekében működésének kezdete óta folyamatosan modernizálja rendszereit, biztonságnövelő intézkedéseket valósít meg, megteremtve az alapot a jelen biztonságos működéséhez és a jövőbeli innovációk megvalósításához.

Kevés publicitást kapott, hogy az erőmű első üzemeltetési kihívásával 2004-ben került szembe, abban az évben, amikor Magyarország csatlakozott az Európai Unióhoz, ugyanis többek között az atomerőmű körül is komoly vizsgálatok zajlottak az uniós működés fenntarthatóságának érdekében. A kihívás komolyságát korábbi nemzetközi példákkal is igazolhatjuk, mivel hasonló ellenőrzések során szlovákiai és bulgáriai VVER típusú blokkokat is üzemem kívül helyeztek (Kozloduy 1-4 (2007) és Bochnice V-I (2004)).

A 90-es évek elején felismerték, hogy a tervezés a maga pozitív tulajdonságai ellenére sem elégítette ki az akkori minőségbiztosítási és dokumentáltsági igényeket. A megoldandó probléma miatt célul tűzték ki az atomerőmű biztonságának nyugati szemlélettel való újraértékelését. A folyamat Pakson 1991 és 1994 között futott, AGNES projekt néven (Advanced, General and New Evaluation of Safety). Mindez alapot nyújtott az 1995 és 1999 között lezajlott biztonságtechnikai fejlesztések sorának (PSA alkalmazásának bevezetése, földrengésvédelmi megerősítés, reaktor védelmi rendszer rekonstrukció, biztonsági rendszerek megbízhatóságának növelése, tűzvédelmi rendszer fejlesztése).

Korábban említést tettünk arról, hogy minden egyes fejlesztés lehetőséget biztosíthat a jövő innovációinak. A fejlesztések folytonosságából ez egyértelműen látszik, hiszen az AGNES projekt a biztonságtechnikai fejlesztéseknek, ez utóbbiak pedig a teljesítmény növelésének teremtették meg az alapjait. Ennek köszönhetően 2009-re a blokkok elérték az 500 MW villamos energia teljesítményt.

A nukleáris rendszer átalakításai szükségessé tették az atomerőművekre vonatkozó műszaki szabályozáson belül a részletes műszaki követelményeket tartalmazó nemzeti szabványok körének bővítését, így egyes fejlesztésekkel párhuzamosan sor került az Amerikában is használatos ASME (American Society of Mechanical Engineers) szabványrendszer bevezetésére, a tervezési alapok ASME szerinti megfelelésének igazolására.

#### **Gd-2\_4.7 üzemanyag**

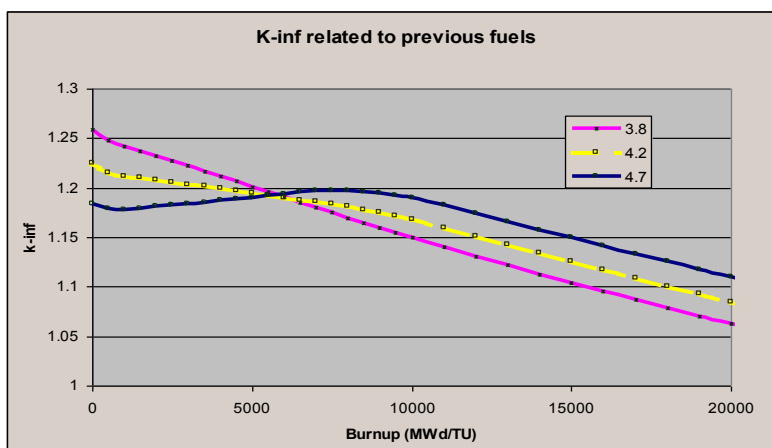
Jelenleg az erőmű 4,2%-os átlagdúsítású Gd-2n típusú fűtőanyaggal üzemel, melynek szállításáról az orosz TVEL üzemanyaggyártó céggel való szerződéses kapcsolat gondoskodik. A kínálatban 2009-től kezdtek megjelenni a magasabb dúsítású kazetták. A teljesítménynövelést követően a Paksi Atomerőmű Reaktorfizikai Osztálya vizsgálta a lehetséges üzemanyag opciókat és zónaelrendezéseket. Az üzemanyag elemzések célja egy, a biztonságot figyelembevevő, a jelenleg alkalmazottnál gazdaságosabb üzemanyag konfiguráció kidolgozása volt. A vizsgálatok eredménye az lett, hogy a nagyobb dúsítás ellenére nem a teljesítménynövelés irányába lenne jó elindulni, hanem a kampány meghosszabbítása lenne a legkedvezőbb megoldás. A tervezés során figyelembe kellett venni azt a tényt, hogy az MVM PA Zrt. nagyjából 2 évre elegendő tartalék üzemanyaggal rendelkezik, azaz olyan üzemanyagot kellett tervezni, ami lehetővé teszi a készletek felhasználását.

Az elemzések eredményeként egy 4,7% átlagdúsítású 6 Gd tartalmú pálcát tartalmazó kazetta 15 hónapos üzemeltetési ciklusban történő alkalmazása látszott célszerűnek. Az erre alapozott 415 napos egyensúlyi töltet kampányonként 102 friss üzemanyag-kazettát igényel, az eddig használt 84

db helyett. Az új típusú kazettaalkalmazás a kiégett fűtőelemek mennyiségének mintegy 3%-os csökkenését eredményezi, melynek mértéke a tartalékok felhasználásával tovább redukálható, csökkentve ezzel a környezetet ért terhelést. A Gd-2\_4.7 típusú üzemanyag kazetta magyar innováció, az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Reaktor Fizikai Osztályának terve.

Korábban kifejtettük, hogy minden műszaki átalakítás követelménye, hogy az aktuális nukleáris biztonsági szintet megőrizze, jobb esetben pedig tovább növelje. Ezért az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Reaktorfizikai Osztályának a fejlesztés során gondosan kellett ügyelnie arra, hogy a teljes üzemidőre vetített neutron fluencia ne legyen magasabb, mint a 4,2%-os átlagdúsítású üzemanyag alkalmazása során kalkulált érték.

A kifejlesztett kazettával lassabb kiégést sikerült elérni amellet, hogy a kampány során fellépő maximális neutronfluxus késleltetve jelenik meg, a régi kazettatípusokhoz képest alacsonyabb neutron-terhelés jelentkezik a reaktortartály falán. A szimuláció eredményét a következő diagramon láthatjuk.



3. ábra: A sokszorozási tényező alakulása a kiégés függvényében

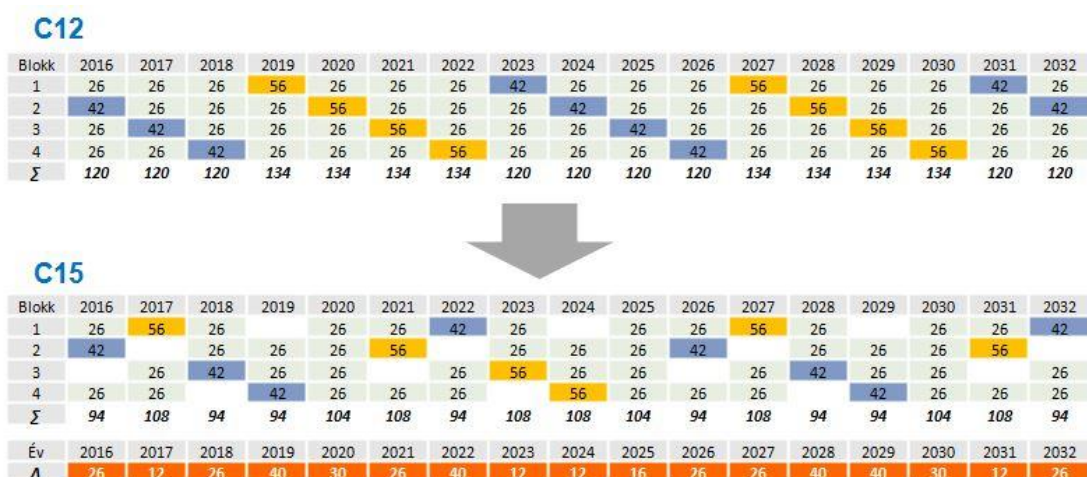
A gyártótól megrendelt tesztkazetták tesztüzeme 2014. november 4-én kezdődött a 3. blokkban 365 napos kampányban.

### C15 üzemeltetési ciklus

A Gd-2\_4.7 üzemanyag alkalmazása, valamint a 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése az atomerőmű üzemeltetését érintően alapvetően három fontosabb változást jelent. Korábban említettük a tartályfalat érő fluxus változását, valamint a fűtőelem átrakási ciklusának 12 hónapról 15 hónapra változását. A harmadik érintett terület az ellenőrzési programok ciklusidejének jellemzően 8 évről 10 évre való változása, melyre az ASME rendszer adaptálása teremteti meg az alapokat. Az erőmű egyéb üzemviteli paramétereiben az átalakítás nem eredményez változást. A C15 bevezetése szakterületek széles bázisának együttműködését igényli, ennek összetettségét szemlélteti a következő ábra:

Fontos megemlíteni, hogy a módosított üzemanyag bevezetése nem kerülhetett ellentmondásba az Üzemidő Hosszabbítás megalapozásaival, így a korlátozott időtartamra érvényes biztonsági elemzések (KIBE) egy része felülvizsgálatra szorult. Az érintett területek közé tartozik a fővízkör ridegtörés elleni védelmét biztosító nyomás-hőmérséklet határgörbék ellenőrzése normál üzemhez, nyomáspróbához és üzemzavari állapotokhoz, repedésterjedés vizsgálata, reaktortartályok PTS (pressurized thermal shock), reaktor belső szerkezetek anyagtulajdonság változásának elemzése, valamint HELB (High Energy Line Break) elemzések elvégzése. Mindemellett felülvizsgálatot igényeltek a szilárdsági és a fluencia számítások, valamint a terheléskatalógus.

A 15 hónapos kampány bevezetésével 5 év alatt blokkonként 1 főjavítás megtakarítható, ez évente 12-40, átlagosan 25,88 nappal, vagyis közel 2%-al növeli az erőmű rendelkezésre állását, ezáltal a megtermelt villamos energia mennyiségét, ami közel 80.000 magyar háztartás áramigényét jelenti. A csökkenő karbantartási munkavolumen következtében kevesebb lesz a kollektív dózis, a keletkező radioaktív hulladék mennyisége, így a pozitív anyag vonzat mellett a környezeti terhelés mértéke is alacsonyabbá válik.



4. ábra: A C12 és C15 ciklusok összehasonlítása

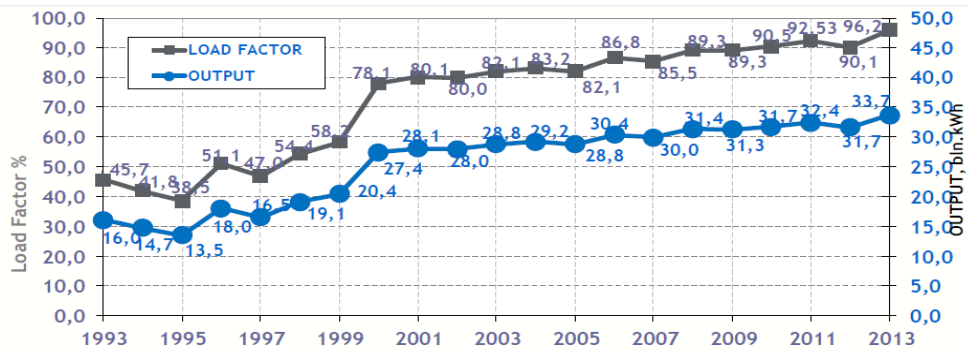
## Nemzetközi tapasztalatok

A jelenleg üzemelő VVER-440-es blokkok mindegyike 12 hónapos kampánnyal üzemel, így a paksi típust tekintve precedens nélküli átalakításról van szó. Más reaktortípusoknál, nyugati típusú PWR-ek esetén pl. Krsko-ban 1981-től üzemelő atomerőmű üzemanyagciklusát 2004-től növelték meg 12 hónapról 18 hónapra. Az orosz tervezésű VVER-1000-es balakovo-i erőmű 3 blokkján 2009-től hajtottak végre ciklushosszabbítást. A blokkok termelési eredményei kedvezőek, a blokkok

VVER-440 atomerőmű	Blokk	Ciklus
Novovoronyezs	2 db	12 hónap
Kola	4 db	12 hónap
Rovno	2 db	12 hónap
Loviisa	2 db	12 hónap
Paks	4 db	12 hónap
Bochunice	2 db	12 hónap
Dukovany	4 db	12 hónap
Mochovce	2 db	12 hónap
Metsamor	1 db	12 hónap
Összesen	23 db	-



rendelkezésre állása az elvártak szerint nőtt, a jelentésköteles események száma nem változott.

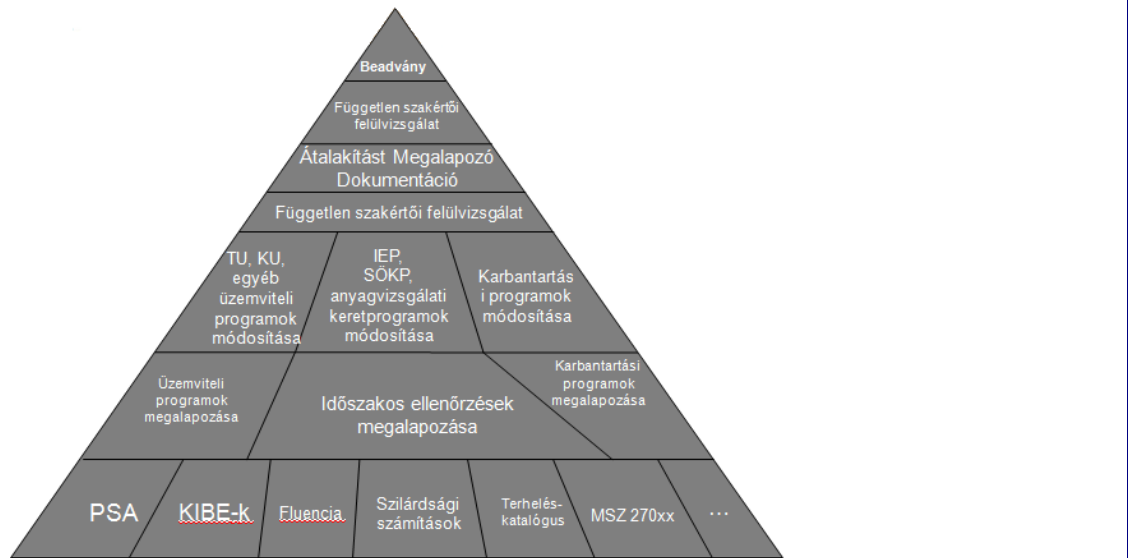


5. ábra: Balakovo-i erőmű termelése és rendelkezésre állása 1993-2013

A 3. generációs atomerőművek, így Paks II. is már tervezetten 18 hónapos kampánnyal kezdi meg működését.

### Engedélyezés és ütemezés

Az engedélyezés során egyfajta piramis lépcsőn kell felfelé lépdelni. Ennek logikai struktúráját a következő ábrán olvashatjuk:



6. ábra: C15 OAH engedélyezés logikai struktúrája

A piramis szerkezet következtében minden esetben szükség van a következő lépés megalapozására, így az átalakítás menete csak lassan folyhat. Elismerésre méltó, hogy az időigényes folyamatok ellenére kevesebb, mint másfél év leforgása alatt a projekt a tesztüzem elindításáig juthatott a 3-as blokk esetében. A teljes bevezetéshez kapcsolódó engedélyezési eljárások tervezett ütemét a következő ábrán olvashatjuk.

## A projekt főmérlege

**Biztonság:** Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Reaktorfizika Osztályán kifejlesztett Gd-2\_4.7 elnevezésű üzemanyag tartályfalat érő neutronfluxusa kisebb. A blokk leállások és visszaindulások számának csökkenése miatt csökken a magasabb CDF-ű üzemállapotok száma. A tranziens állapotok számának csökkenésének következtében a reaktortartályt érő terhelések száma szintén csökken.

**Fenntarthatóság:** Az 5 éves ciklus alatt elhasznált fűtőelemek száma a 15 hónapos kampány esetében kisebb, valamint a ritkább karbantartási munkálatok következtében csökken a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyisége.

**Gazdaságosság:** A 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetésének következtében a gazdasági előnyök több részletben is megnyilvánulnak. A magasabb rendelkezésre állás miatt növekszik az éves villamosenergia-termelés mértéke, a stabil működésből adódóan az energiaellátás biztonsága javul. 2%-os villamosenergia-termelésnövekedést feltételezve a C15 bevezetéséből származó éves haszon átlagosan 4 Mrd Ft-ra tehető.

Megyeri Szabolcs  
az Energetikai Szakkollégium tagja