

C15 PROJEKT AKTUALITÁSA

2021. 03. 11.

BEVEZETÉS

Az Energetikai Szakkollégium Bátor Béla emlékfélévének harmadik előadása az online térben, a Szakkollégium Twitch csatornáján ([twitch.tv/eszkorg](https://www.twitch.tv/eszkorg)) került megrendezésre, melynek címe a "C15 projekt aktualitása" volt. Az előadás során Cibula Mihály segítségével a nézők hallhattak többek között a projekt műszaki megvalósításáról, annak megalapozásáról, hogy miként biztosítható a ritkábban végrehajtott karbantartások, időszakos ellenőrzések mellett is a nukleáris biztonság szinten tartása.

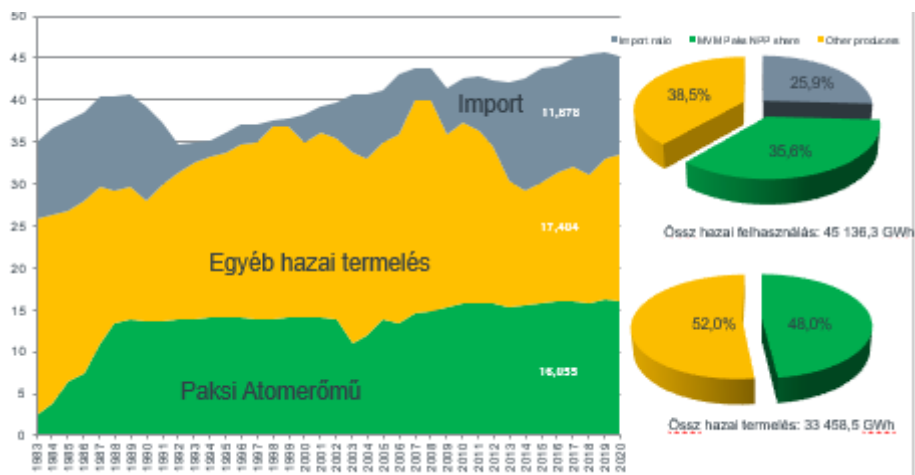
Cibula Mihály mérnöki diplomájának megszerzése után szakmai munkáját az MVM Paksi Zrt. Anyagvizsgálati Osztályán kezdte 1998-ban, mint anyagvizsgáló mérnök. Tevékenységei közé tartozott az ultrahangos és örvényáramos anyagvizsgáló technológiák és eljárások fejlesztése. 2003-tól több amerikai erőmű gőzfejlesztő hőátadó cső örvényáramos vizsgálatának adatértékelésében vett részt szakértőként, ezenkívül programozói és rendszertervezői tevékenységet folytatott a DACAAM öregedéskezelési adatbázis kidolgozásában Finnországban, Örményországban, és Pakson. 2006 és 2012 között már vezető mérnökként folytathatta munkáját a MVM Paksi Zrt. Anyagvizsgálati Osztályán, amely időszak alatt anyagvizsgáló minősítési eljárásokat folytatott le, valamint részt vett az ENIQ módszertan bevezetésében, mindemellett az időszakos ellenőrzésekkel kapcsolatos feladatokat és programokat koordinálta a Paksi Atomerőmű üzemidő hosszabbítását célzó kiemelt projektben. 2013 és 2018 között töltötte be a kiemelt-projekt vezető szerepét a cégnél, a 15 hónapos Üzemelési Ciklus Bevezetés Végrehajtási Kiemelt Projekt vezetőjeként. 2017 óta kiemelt-projekt vezető a Termelési Alrendszer Működésfejlesztés Kiemelt Projektben.

Az előadás 60 perces volt, amely után 15 perc állt a nézők rendelkezésére, hogy kérdéseiket feltehessék.

ÁTTEKINTÉS

A Paksi Atomerőmű 4 db VVER-440 típusú nyomott vizes blokkal rendelkezik, amelyeket 1982 és 1987 között helyeztek üzembe. Nagy megbízhatósággal, biztonságos üzemvitellel állítja elő a villamosenergiát hazánkban. A korszerűsítések eredményeképpen a blokkok egyenkénti teljesítménye 2009-re 440 MW-ról fokozatosan 500 MW-ra növekedett. A hazai villamosenergia-termelés közel felét (2020-ban 48,0% volt) adja az atomerőmű, ebből is nagyon jól látszik a jelentősége.

A Paksi Atomerőmű, működési elvét tekintve hasonló módon szolgáltat energiát, mint a többi, valamilyen fosszilis tüzelőanyagot használó erőmű. Egy vízzel telt reaktorban Urán235 tartalmú fűtőelem kötegeket helyeznek el, amelyek a reaktor indulását követően neutronokat kezdenek el magukból kibocsátani, amik más atommagokba ütközve további hasadást indítanak. Ezt hívják láncreakciónak. A bóros víz tartja korlátok közt a láncreakciót, illetve szabályzó rudakkal szabályozzák a neutron mennyiséget és a hőteljesítményt. A víz felforr a reaktorban, a nagy nyomás miatt áramlik a gőzfejlesztők felé, a gőzfejlesztőben a víz felmelegíti a gőzfejlesztő hőátadó csöveken keresztül a gőzfejlesztő köpenyben lévő vizet, ahol gőz képződik. Ez a gőz

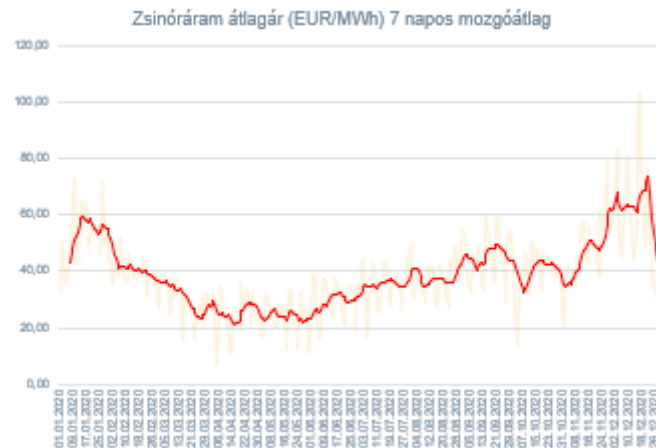


1. ábra: A hazai villamosenergia-fogyasztásának alakulása 1983-2020

meghajtja a turbinát, a turbina a generátort, a végén pedig a generátorkapcsokról levehetővé válik a villamos teljesítmény. A fűtőelem egy kulcskérdés az atomerőmű működése kapcsán. Minél hatékonyabb egy fűtőelem, annál hatékonyabb az egész rendszer. Az C15 projekt innovációja nagyrészt a fűtőelem módosításáról szól.

A társadalomban mindig jelentős volt a nukleáris ipartól való félelem, ezért a nukleáris biztonsággal kapcsolatos fejlesztések folyamatosak. Ezek az innovációk nemzetközi kutatóintézetekkel támogatottan zajlanak, mindig a legújabb technológiákat alkalmazzák. Egy olyan terület van, amiben nehezebb innovációs előrelépéseket tenni, viszont ez az a terület, amiben nincs is komolyabb előrelépés az elmúlt 50 évben, ez pedig az anyagtudománynak a magas nyomású és szerkezeti acélokat illető területe. Önmagában a nukleáris ipar kihívások előtt áll, erről kommunikálnak is. A fenntartható fejlődéssel kapcsolatban folyamatosan meg kell felelniük a villamos energia árak változásának, a megújuló energetikai technológiával lépést tartva versenyezniük kell. Ez mind arra mutat, hogy innoválni kell. A villamosenergia ára a piaci liberalizáció eredményeképpen, illetve a megújuló technológiák térhódítása eredményeképpen csökkenő tendenciákat mutat, azonban évszakos változásokat látni lehet. Az atomerőmű önköltségi ára most olyan mértékű, hogy a völgyidőszakban

versenyképesek, az azon túli időszakban pedig extra profitot termelnek. Összességében a nukleáris ipar pénzügyi háttere stabil.



2. ábra: Villamos energia ár 2020

(Forrás: <https://www.hupx.hu>)

A magyar villamosenergia termelés közel felét a Paksi Atomerőmű látja el. Ez a globális felmelegedés szempontjából nagyon pozitív, ugyanis a nukleáris iparnak nincsen CO₂ kibocsátási következménye.

Az innováció kereteit egy vállalati stratégiában kell körvonalazni. A Paksi Atomerőmű küldetése a biztonságos, megbízható, olcsó és környezettudatos villamosenergia-termelés. Az innováció az, ami a biztonságot egy magasabb biztonsági szintre, a környezetvédelmet egy magasabb környezetvédelmi szintre, a gazdaságosságot egy magasabb gazdaságossági szintre emeli. A fejlesztések a társadalmi elfogadottság tekintetében is fontosak. A Paksi Atomerőmű számára az innováció a stratégiai célokon értelmezett hozzáadott értéket jelenti.

A nukleáris ipar rendelkezik az innovációk megvalósításának képességével. Az innováció első lépése a kreatív ötlet megszületése, ami általában csapatban történik. A kreatív ötlethez sok minden szükséges, például oktatási háttér, specifikus szakértelem, tudásmenedzsment, innovációs kultúra, motivációs rendszer. Ezután a cég végez egy értékelemzést, a döntési rendszeren keresztül pedig eldöntik az ötlet sorsát. A következő lépés a megvalósítás, a műszaki menedzsment dönt a megvalósításokról. Az újításokat projekteknél valósítják meg.

A nukleáris ipar nagyon erős az összefogást illetően. Ez egy olyan iparág, ahol nem versenyeznek egymással, hanem támogatják egymást a cégek, szervezetek, ugyanis a biztonság záloga a nyílt és tudásmegosztó kultúra.

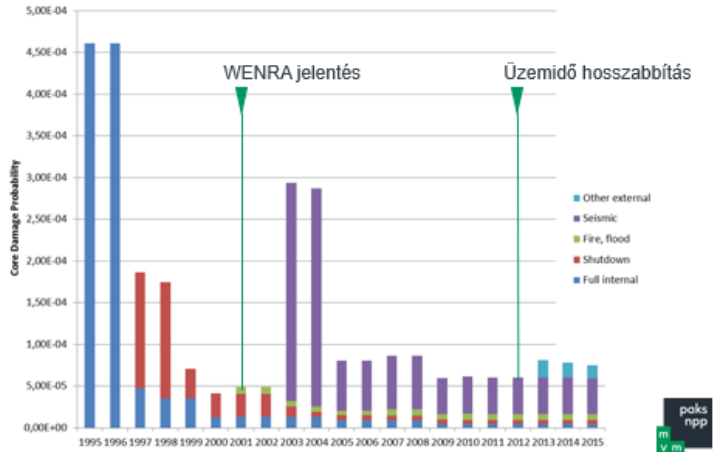
A biztonságot érintő innovációk folyamatosak voltak. Az új technológiákat folyamatosan beépítették a rendszerbe, ezáltal az Európai Unióhoz csatlakozás előtt az ellenőrzési feltételeknek tökéletesen megfelelt a Paksi Atomerőmű. A tervezett üzemideje 30 év volt, azonban 2012 és 2017 között megtörtént az üzemidő hosszabbítás, így újabb 20 évvel tovább működhet az atomerőmű. A múlt innovációi

teremtik meg az alapot a jelen biztonságos működéséhez és a jövőbeli innovációk megvalósíthatóságához.

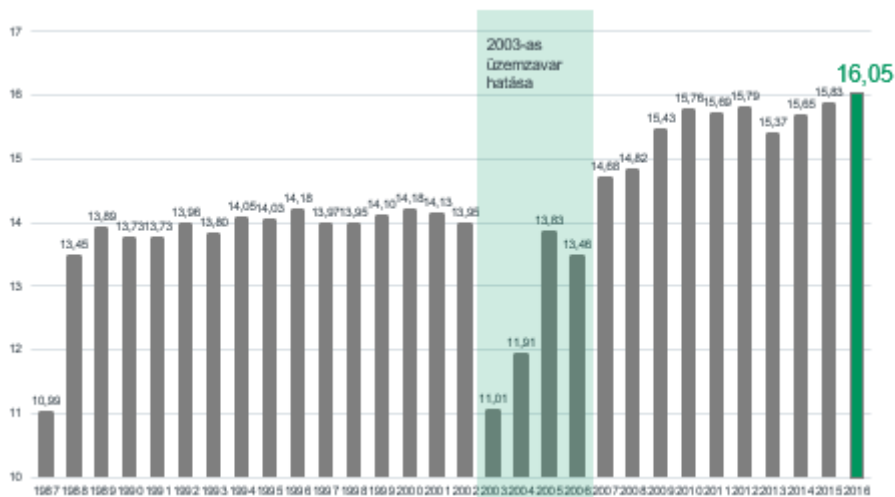
Különböző módszertanokkal mérni lehet egy atomerőmű biztonságát és beavatkoznak a mérések eredményeképpen azokon a pontokon, amik a biztonság szempontjából kritikusak. A rendszerek meghibásodása termelés kiesési kockázatot jelent, azonban a megfelelő módszerekkel ezek

azonosíthatók, redundánssá tehető, kezelési programok alkalmazhatók rá, ennek következtében a kockázatok csökkenthetők. Mindig egy kockázatelemzési módszertant követ egy elemzési projekt, ami eredményeképpen egy műszaki átalakítási projekt pedig a gyenge pontokat javítja.

VVR440-nek hívják a blokkot és azért nevezték el így, mert eredetileg 440 MW villamosenergia teljesítményre tervezték. A versenyképességet jelentő innovációk első fázisában a határfokot emelték 470 MW-ra. Majd 2002 és 2009 között egy üzemanyag innovációs projekt eredményeképpen 500 MW-ra nőtt. 2002-ben bevezették az ASME szabványrendszer alkalmazását. Ez képezte az alapját az üzemidő hosszabbítás megalapozó számításainak, ami 2017-ig tartott. Jelenleg folyamatban van egy további üzemanyag fejlesztés, egy SLIM kazetta bevezetés, ami szintén nagy nemzeti érdeklődés mellett fut a Paksi Atomerőműben és további, elsősorban üzemanyagköltségi megtakarítás eredményeket hozhat.



3. ábra: Innovációk biztonsági hatása (PSA)

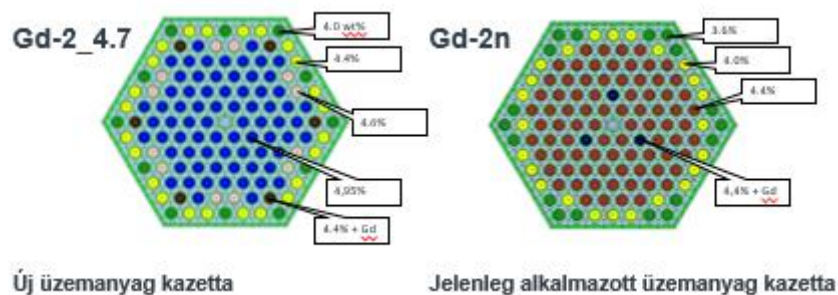


4. ábra: Villamosenergia termelés 1987-2016

A villamosenergia termelés a 80-as évektől szignifikánsan nőtt. Ez jól mutatja, hogy a hatékonyságot növelő projektek eredményei pozitívan hatottak.

2010 és 2011 körül, amikor végeztek egy teljesítménynövelési fejlesztéssel, úgy vélték, hogy ebben az ún. 2. generációs üzemanyagban, ami gadolíniumot (Gd) tartalmaz,

még további lehetőségek vannak. Azt találták, hogy lehetne készíteni egy olyan üzemanyagot, ami tovább tudna üzemelni. Az atomerőművek ugyanis úgy működnek, hogy berakják az üzemanyagot a reaktorba, ez nagyjából 11 hónapig termel hőt, majd ezt követően „kimerül”. Ezután szétszedik a reaktort, megcsinálják az időszakos ellenőrzéseket, karbantartásokat és kicserélik a fűtőelemet. Ez az időszakos ellenőrzés 1 hónapot vesz igénybe. Ezután visszaindítják a blokkot és megy minden tovább. Összesen ez egy 12 hónapos kampány. Számítások útján arra jöttek rá, hogy tudnának egy olyan üzemanyagot tervezni, ami nem 11 hónapig működne a reaktorban, hanem 14 hónapon keresztül. Így a 15 hónapos ciklussal hatékonyabban tudna működni az atomerőmű. Magyarország nem rendelkezik nukleáris üzemanyaggyártás kapacitással, ezt Oroszországban gyártatták. A gyártást megelőzően közel 100 opció vizsgálata történt meg. Először 12 db tesztkazettát kezdtek el használni egy reaktorban egy tesztüzem erejéig. A tesztciklus tökéletesen működött és így lehetőség nyílt a többi megalapozó számítás eredményeképpen, hogy elindítsák a 15 hónapos kampányra való teljes átállást. A Paksi Atomerőmű mindig két évre elegendő fűtőelem tartalékkal rendelkezik, amit jogszabály is előír. Ezt a mennyiséget egy nagyobb teremben tárolják. Így egy fűtőelem fejlesztési projektnek mindig figyelembe kell vennie a meglévő fűtőelem mennyiséget. Olyan fűtőelemeket, olyan zónákat kell tervezni, ami a régi fűtőelemekkel kompatibilisen tudja a reaktort működtetni.



5. ábra: Pálca elrendezés

Az ábrán látható innováció mutatja azt az üzemanyag kazetta pálca elrendezést, ami a C15 projekthez szükséges fűtőelem. Ennek a kulcseleme a szélső, sötétbarna színnel ábrázolt kazetta, ami gadolíniumot tartalmaz. A gadolínium egy olyan elem, ami a neutronok moderálására, befogására alkalmas egészen addig, amíg ki nem ég. Ennek alkalmazásával hosszabb időn keresztül kitartani képes fűtőelemet tudnak előállítani. A kazettának az elsődleges innovációja a gadolíniumnak a megfelelő pozícióban való alkalmazása és némileg a pálcákban lévő urán-dioxid tartalomnak az emelése, ennek eredményeképpen tudtak olyan fűtőelemet kialakítani, ami hosszabb kampányra is elég.

A Paksi Atomerőmű stratégiája többek közt a környezetvédelmi kérdésre is épül. A nukleáris ipar radioaktív hulladékanyagot termel, ezek közül is a legszignifikánsabb a kiégett fűtőelem. A kiégett fűtőelemek száma a teljes üzemidőre vonatkoztatottan csökkent a C15 projekt által. Ugyan egy kampányban több fűtőelemet kell felhasználni, mint korábban, de öt éves vizsgálatra levetítve kevesebb fűtőelemet kell kidobni. A C15 projekt fejlesztései miatt 4 kampány tesz ki 5 évet, míg korábban ugyanerre az időtartamra 5 kampányra volt szükség. Ez egy jelentős szám, ami

csökkentette 5 évre vonatkoztatottan a fűtőelem felhasználást, ebből következik, hogy a kiégett fűtőelem tárolókból eggyel kevesebb blokkot kell megépíteni.

A Gd-2_4.7 üzemanyag alkalmazása, valamint a 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése az atomerőmű üzemeltetését érintően három alapvető változást jelent: Gd-2_4.7 üzemanyag alkalmazása, a folyamatos blokk üzem 3 hónappal nő, az időszakos ellenőrzések és karbantartások ciklusideje jellemzően 8 évről 10 évre változik (12 hónap egész számú többszöröseiről 15 hónap egész számú többszöröseire).

Nagyon sok szakterületet érintettek ezek az újítások. Először is igazolni kellett, hogy ez a blokk további

üzemre képes. Ennek az egyik alapját a konstrukciós

számítások adták, illetve a

terheléskatalógus. A szilárdsági

számításokban igazolták azt, hogy azok a fizikai

körülmények, amikben az

atomerőmű működik, azok megfelelően biztonságosak. A C15 bevezetése a

szilárdsági számításokat illetően pozitív eredményre futott. A terheléskatalógus az,

amiben a tranzienseknek a tény, illetve a jövőre vetített számát találhatjuk. A tranziensek

elsősorban a blokk indításkor és a blokk leálláskor keletkeznek, akkor fűtik fel a rendszereket és helyezik

nyomás alá, illetve veszik vissza azt, valamint a nyomáspróbák alatt. Ha a blokkokat ritkábban indítják el, ez azt jelenti, hogy a teljes

üzemidő alatt is ritkábban kell újra indítani, a nyomáspróbákat ritkábban hajtják végre, ebből az következik, hogy a tranziensek száma csökken. Ha a tranziensek száma csökken, akkor a szilárdsági számítások eredményei is kedvezőbb végeredményekre

jutnak, illetve ezzel összefüggésben a repedésterjedési számítások, amiben az elsődleges faktor maga a tranziens, azok is kedvezőbb eredményeket adnak.

A kockázat monitor a zónaolvadással kapcsolatos összefüggéseket jeleníti meg a különböző üzemállapotokban. Az atomerőműveknek ez a zónaolvadási kockázat egy

alapvető mérőszáma, amire vonatkoztatják a különböző konfigurációs állapotait az atomerőműnek. Az ábrán is jól látható, hogy normál üzemben a kockázatok sokkal

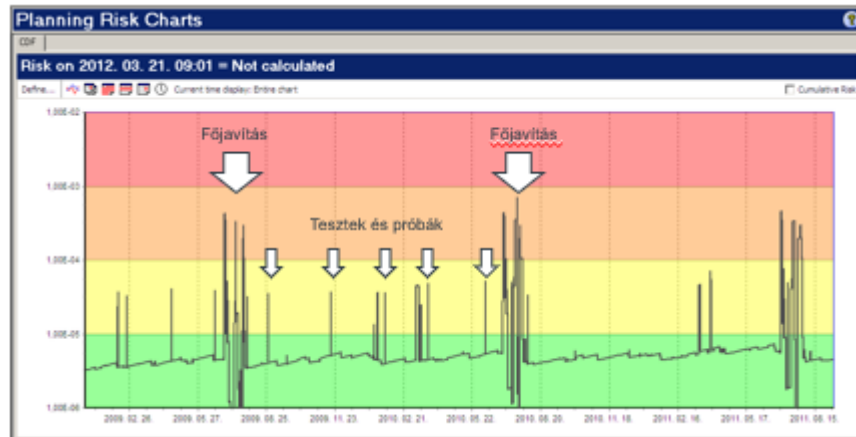
alacsonyabbak, mint a blokk indulási és a blokk állási állapotokban, valamint azokban a tesztelési állapotokban, amikor a tesztelések miatt az üzem közben kivesznek egy-egy

rendszert az üzemi működésből. Ezek a rendszerek olyan biztonsági rendszerek, amik üzem közben

nincsenek használatban, viszont rendelkezésre kell állniuk egy esetleges esemény lekezelésére. Mivel nincsenek használatban, ezért nem is lehetnek az ott dolgozók biztosak a működőképességükben, ezért ciklikus teszteket hajtanak

rajtuk végre. A főjavítási állapotok idején, amikor szintén üzemképtelenek a rendszerek, szintén magasak a kockázatok. A C15 miatt, mivel hosszabbak a kampányok, ezek a

magas kockázatú



6. ábra: PSA kockázat monitor

állapotoknak az időtartama a teljes üzemidőre vonatkoztatva kevesebb lett. A normál blokk üzeme a teljes üzemidőre hosszabb, így a nukleáris kockázat kedvezőbb, mint egy 12 hónapos ciklusban.

Azáltal, hogy ritkábban állítják le a reaktort, több a villamosenergia termelésben töltött idő. Az atomerőmű üzemanyagköltsége nagyon kicsi a teljes költséghez képest: 10-20% között költenek üzemanyagra, és 80% fölött van, a fix üzemeltetési költség, ami akkor is jelentkezik, ha az atomerőmű nem termel áramot. Emiatt egy atomerőműnél kulcskérdés, hogy mindig üzemben legyen, tehát a főjavítások számának minimálisnak kell lennie. A C15 projekt megvalósítása által 5 év alatt blokkonként 1 főjavítás megtakarítható, ez évente 12-40 db-ot jelent, valamint átlagosan 25,88 nappal, közel 2%-kal növeli az erőmű rendelkezésre állását. A főjavítások munkavolumene a C15 bevezetésének következtében a ciklikus karbantartási munkák vonatkozásában csökken. Minél nagyobb egy blokk névleges hőteljesítménye, annál nagyobb lehetőség van az üzemanyaggal kapcsolatos fejlesztések terén. A nyugati erőművek is megcsinálták a saját üzemidő hosszabbításukat, 18, esetenként 24 hónapos ciklusokkal is működnek. Azonban a 12 hónapnál hosszabb üzemelési ciklust VVER-440 blokkok esetében sehol nem valósítottak meg.

A C15 műszaki megvalósítása kihívás volt minden résztvevő számára. Ez a projekt nagyon nagy munka volt. Ez a papírmunka mennyiségében is megmutatkozik: az átalakítás megalapozó dokumentáció 230 oldal, a megalapozó dokumentumok száma közel 30.000. Ezek a dokumentumok igazolták a műszaki átalakításnak a működőképességét. Természetesen ezeket a hatóságok engedélyezési eljárásokon keresztül ellenőrizték a bevezetés előtt, majd a megvalósítás után is értékelni, elemezni kellett az átalakításokat.

a. ÖSSZEFOGLALÁS

Az MVM csoport éves árbevétele növekedett a projekt következtében, ennek egy része a megtermelt villamosenergia többletből, a másik része a karbantartási költségcsökkentésből állt. Az eredményeket összefoglalva megállapítható, hogy a C15 projekt több szempontból is pozitív hatást eredményezett. Közel 2%-kal több lett a várt termelés, a nem radioaktív hulladékok mennyisége 5%-kal csökkent, ugyanis a projekt által kevesebb főjavítást kell beütemezni, a tranziensek száma 20%-kal csökkent, ami az atomerőmű élettartamára hatott pozitívan, a kiégett fűtőelemek mennyisége 3%-kal, a ciklikus munka volumene 15%-kal csökkent, a kollektív dózis, vagyis az ott dolgozók sugárterhelése 20%-kal csökkent, a radioaktív hulladék 10%-kal csökkent, ezenkívül a túlóra is 10%-kal csökkent. Az fejlesztések, újítások egymásra épülnek, így alakítanak ki együttesen egy innovációs kultúrát.

Források:

Az atomerőmű működése:

<http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx>

A C15 projekt bevezetése:

http://www.atomeromu.hu/hu/Documents/C15_prospektus-PRINT3.pdf

<http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/c15/Lapok/default.aspx>