

Hatékony időszakos ellenőrzés az üzemidő hosszabbítás tükrében

Dr. Trampus Péter

Trampus Mérnökiroda, 2060 Bicske, Zrínyi u. 20,
tel.: 06 22 262 418, fax: 06 22 565 001, trampusp@trampus.axelero.net

A cikk bevezető része az atomerőmű nyomástartó berendezései és csővezetékei időszakos ellenőrzésének a fejlődését foglalja össze, majd ezt követően bevezeti az időszakos ellenőrzési program hatékonyságának a fogalmát, és elemzi a hatékonyság összetevőinek költség érzékenységet. Végül az üzemidő hosszabbítás műszaki előkészítése keretében kidolgozott időszakos ellenőrzési program jellemzőit ismerteti, és értékeli a programot a nemzetközi fejlődési tendenciák tükrében, kiemelten kezelve az ASME kód követelményei adaptálásából adódó változásokat, a vizsgálatminősítést, és a csővezetékek kockázati szempontokat figyelembe vevő vizsgálatainak a bevezetését.

Bevezetés

Az üzemeltetés időszakában az atomerőművek nyomástartó berendezéseit és csővezetékeit meghatározott időszakonként ellenőrzik. Az időszakos ellenőrzés (*In-Service Inspection, ISI*) roncsolásmentes vizsgálatokból és tömörségi, illetve nyomáspróbából áll. Az időszakos ellenőrzés célja annak megállapítása, hogy a nyomástartó berendezések és csővezetékek alkalmasak-e a biztonságos üzemeltetés folytatására vagy szükség van-e ehhez valamilyen intézkedés meghozatalára. A vizsgálatok a berendezésekben található folytonossági hiányok jelenlétéről, elhelyezkedéséről, méretéről és más jellegzetességeiről szolgáltatnak információt az adott berendezés szerkezeti integritásának elemzéséhez.

Az időszakos ellenőrzés követelményeit kódok és szabványok¹ foglalják össze, amelyeket műszaki egyesületek, szövetségek dolgoznak ki, és amelyek általában az adott területen megfelelő tudással rendelkező szakemberek konszenzusán alapulnak. A kódoknak összhangban kell lenniük az atomerőmű biztonságos üzemeltetésére vonatkozó szabályzatokban található követelményekkel, kötelező alkalmazásukat a szabályzatok (ritkábban a vonatkozó törvények) elrendelhetik. A világon üzemelő atomerőművek többségében az Amerikai Gépészmérnökök Egyesülete (*The American Society of Mechanical Engineers, ASME*) kazánokra és nyomástartó edényekre kidolgozott kódjának (*ASME Boiler & Pressure*

Vessel Code) az időszakos ellenőrzésre vonatkozó XI. kötetét alkalmazzák [1]. Az ASME XI (de a kód valamennyi kötetét) jelentős hatást gyakorolt a világ valamennyi országának nukleáris kódjaira. Azon országokra is, amelyek önálló tervező és létesítő kapacitással rendelkeznek és azokéra is, amelyek importálták a nukleáris technológiát. Önálló időszakos ellenőrzési kódot az Amerikai Egyesült Államokon kívül csak Franciaország, Japán, Kanada, Németország, a volt Szovjetunió és Csehország dolgozott ki. Ezek – a volt szovjet kód kivételével – felismerhető módon, magukon viselik az ASME kód jegyeit. Az időszakos ellenőrzés hazai szabályozása a szovjet kódra épült.

Az időszakos ellenőrzés követelményeinek fejlődése

A vizsgálati helyek kijelölésekor eleinte azt feltételezték, hogy a hibák véletlenszerűen fordulnak elő, amit csak bizonyos mértékig befolyásolt az adott berendezés terhelési körülményeinek a figyelembe vétele (pl. sugárzás, fáradás, lokális feszültségek, átmeneti hegesztési varratok), továbbá a vizsgálati helyek csak mintegy fele esett hegesztési varratba, a többi egyéb területre (pl. plattírozás, csótartók, csavarok, öntött armatúraházak felülete). Később – amikor bebizonyosodott, hogy a meghibásodások nem véletlenszerűen következnek be – a vizsgálati helyek kijelölése fokozatosan elmozdult a random jellegtől a specifikus helyek felé. A kezdeti években általában rögzített vizsgálati ciklusidőt alkalmaztak (az ASME XI esetében 10 éves), aminek a hagyományos erőművek és petrokémiai berendezések meghibásodási gyakorisága volt az alapja. A szovjet kód az 1. biztonsági osztályba sorolt berendezésekre

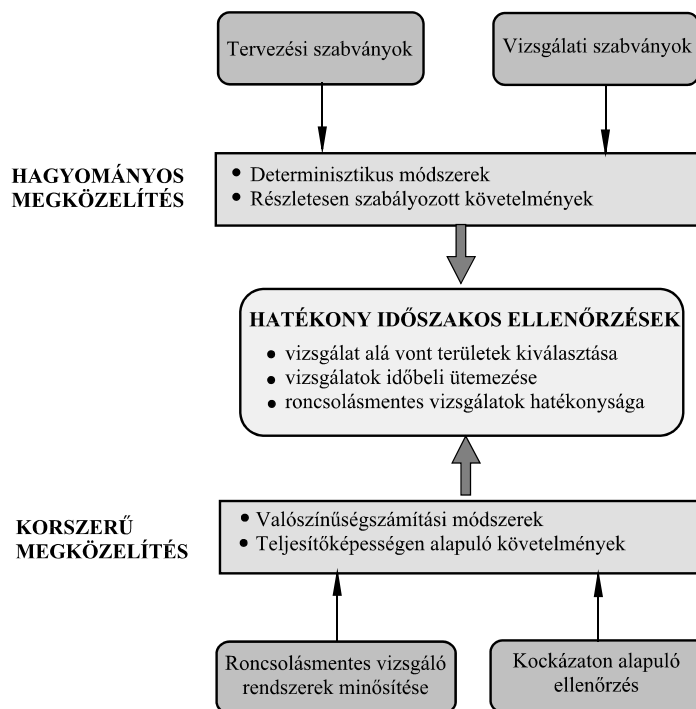
¹ A "kód" és "szabvány" kifejezés közel csereszabatos. Az ipari tevékenység jól körülhatárolt területére vonatkozó szabványok csoportját nevezik kódoknak. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a kód kifejezést használjuk.

4, a többire 8 éves ciklust ír elő. Később, az ASME XI esetében alternatív vizsgálati programot is bevezettek (az első ciklus időtartama 3, a másodiké 7, a harmadiké 13 és a negyediké 17 év), ami lehetőséget ad arra, hogy az üzemeltetés kezdeti időszakában, amikor több károsodást feltételeztek, intenzívebb vizsgálati programot hajtsanak végre.

Leszámítva az ASME XI alkalmazásának első éveit, amikor az üzemeltetés időszakában talált folytonossági hiányok elfogadhatóságának határértékei még megegyeztek a gyártásra vonatkozó határértékekkel, az elfogadási szinteket a berendezésekben található folytonossági hiányok (elsősorban repedések) stabilitásának törésmechanikai elemzése adja. Az időszakos ellenőrzés határértékeinek elvileg különbözniük kell a gyártás során alkalmazott, minőségellenőrző funkciójú vizsgálatok elfogadási szintjeinek az értékeitől. Ez nem mondható el a szovjet kód elfogadási határértékeiről. A szovjet kódnak úgy a Paksi Atomerőmű létesítésének időszakában érvényes, és a hazai szabályozásba átültetett változata [2], mint az átdolgozott és Oroszországban ma hatályos változata [3] a gyártásra vonatkozó kritériumokat tartja érvényesnek az üzemeltetés időszaka is. A vonatkozó szovjet (oros) szabályzat – következésképpen a jelenlegi hazai szabályozás – másik alapvető hiányossága az, hogy nem a folytonossági hiány méreteinek a meghatározását írja

elő, hanem annak a tulajdonságait (ultrahangos vizsgálat esetén a hiányról visszaverődő hangenergiával arányos jellemző amplitúdó nagyságát) hasonlítja össze egy ismert geometriájú mesterséges hiány hasonló tulajdonságával [4]. Ez nem teszi lehetővé az eredmények közvetlen felhasználhatóságát a törésmechanikai elemzéshez.

Az időszakos vizsgálatok eredményeinek az értékelése függvényében általában az elfogadás négy szintjét különböztetik meg: elfogadható, feltételesen elfogadható, javítandó, cserélendő. A lineárisan rugalmas törésmechanika összefüggéseit alkalmazzák a ferrites szerkezetű, a rugalmas-képlékeny törésmechanika összefüggéseit az ausztenites szerkezetű berendezések anyagában talált folytonossági hiányok értékeléséhez. A további üzemeltetésre feltételesen (azaz elemzés alapján) kiterjesztését azokra a helyekre, ahol hasonló károsodási mechanizmus működhet. Az ASME XI integráns része azoknak az eseteknek a kezelése, amikor a vizsgálat eredménye meghaladja az elfogadási szintet. A kód követelményeket fogalmaz meg az elvégzendő elemzés, valamint a javítás és csere vonatkozásában. Az időszakos ellenőrzési terv, illetve program analógiájára javítás és csere terv, illetve program elkészítését írja elő. A hazai szabályozás, ezeket az eseteket egyedi elbírálás alá helyezi, ami minden esetben egyedi hatósági döntést is feltételez.



1. ábra: Az időszakos ellenőrzés hatékonyságának hagyományos és korszerű megközelítése.

Az időszakos ellenőrzés követelményeinek a fejlődése magán viseli azokat a változásokat, amelyek az atomerőművek biztonságának független igazolásáért felelős hatóságok magatartásában játszódtak le az elmúlt

időszakban. Amíg korábban a részletre kiterjedő előírások, szabványok képezték az ellenőrzés alapját, addig ezek helyét fokozatosan átveszik az optimalizált folyamatok, amelyekben a biztonság és gazdaságosság kockázati

mutatói integrált módon jelennek meg. Az ellenőrzési filozófia a részletes szabályozás területéről olyan irányba mozdult el, ahol a hangsúly a potenciális károsodásnak kitett területeken van, továbbá megkövetelik a vizsgálatok teljesítőképességének igazolását. Ebből a gondolkodásmódból nőtt ki a roncsolásmentes vizsgáló rendszerek minősítése. Megkezdődött továbbá a valószínűségi biztonságelemzés (Probabilistic Safety Assessment, PSA) alkalmazása a passzív berendezésekre, ami megindította a kvantitatív kockázat szempontjait figyelembevevő időszakos ellenőrzés elterjedését (Risk Informed In-Service Inspection, RI-ISI). A jelen és a jövő (bizonyos esetekben múlt és jelen) hatékony időszakos roncsolásmentes ellenőrzését tehát a teljesítőképesség igazolásán alapuló és a kockázati szempontokat figyelembevevő ellenőrzési programok jellemzik, 1. ábra.

Az időszakos ellenőrzés hatékonysága

Hatékony időszakos ellenőrzés alatt azt értjük, amikor az időszakos ellenőrzés alapvető paraméterei (terjedelem és ciklusidő), valamint az alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati technika teljesítőképessége optimális egyensúlyban van a biztonság és a költségek szempontjából. Az időszakos ellenőrzés hatékonysága szoros összefüggésben van a vizsgált berendezések szerkezeti integritásának értékelésével, valamint öregedésük kezelésével. Az utóbbit az atomeróművek tervezett üzemidőn túli üzemeltetésének világméretű térhódítása indokolja. A szerkezeti integritás vonatkozásában kétirányú a kapcsolat. A roncsolásmentes vizsgálatok nélkülözhetetlen adatokat szolgáltatnak az integritás elemzéséhez (pl. a berendezésekben található folytonossági hiányok mérete, pozíciója, jellemző paraméterei, más hiányokhoz való viszonyuk). Másrészt a szerkezeti integritás elemzésének modellje állítja fel a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságával szemben támasztott követelményeket (pl. a legkisebb megtalálható hiba mérete, a hiba kimutatásának a valószínűsége, a hibanagyság és a pozíció meghatározás pontossága). Egyértelmű összefüggés van a vizsgálatok megbízhatósága és az egymást követő ellenőrzések ciklusideje között is. Az időszakos ellenőrzések nem elhanyagolható szerepet játszanak a berendezések megbízhatóságát, azaz az atomerómű üzembiztonságát és rendelkezésre állását (az üzemeltetés gazdaságosságát) illetően. Ezt az elmúlt években bekövetkezett néhány jelentős, egyes esetekben katasztrofális meghibásodás is igazolja (reaktortartály fedél bórsav korróziója, ausztenites csőív felszakadása, stb.) amelyekről részletek találhatók pl. az [5] hivatkozásban.

Az előzőek tükrében az időszakos ellenőrzés hatékonyságának legfontosabb összetevői a következők: (1) a vizsgálat alá vont területek kiválasztása az adott helyen lehetséges károsodási mechanizmusok figyelembe vételével (vizsgálati terjedelem), (2) a vizsgálat időpontjának meghatározása a károsodás kinetikájának ismeretében (vizsgálati ciklusidő), (3) az adott helyen elvégzendő vizsgálatra igazolt teljesítőképességű roncsolásmentes

eljárás alkalmazása [6]. A három tényező erős kölcsönhatásban van egymással. A 2. ábra a vizsgálati terjedelem meghatározásának a példáján mutatja be a hatékonyság költség érzékenységet. Az időszakos ellenőrzés költsége a terjedelem növelésével fokozott arányban növekszik. Úgy a „hatékony”, mint a „nem hatékony” vizsgálati terjedelem esetében látható, hogy a terjedelemnek van egy elégtelen szintje, amely esetében akár a végtelenségig növekedhetnek az erőmű költségei (a meghibásodások következtében), de ez a szint a két vizsgált esetben eltér egymástól. A „hatékony” terjedelmű időszakos ellenőrzés eredő költsége alacsonyabb, mint a „nem hatékony” terjedelmű, és az alacsonyabb értékhez ráadásul alacsonyabb százalékos terjedelem is tartozik. Hasonló módon levezethető a vizsgálati ciklusidő hatása is a költségekre.

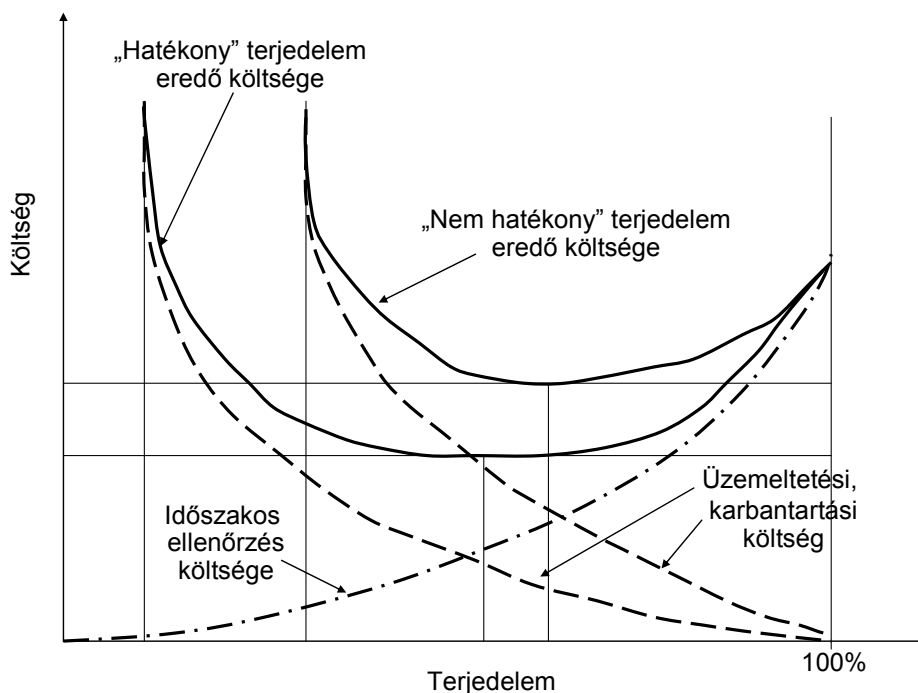
A műszaki felülvizsgálati tervek ASME szerinti átdolgozása

A Paksi Atomerómű vezetése elhatározta, hogy - az üzemidő hosszabbítás műszaki megalapozása részeként - adaptálja az ASME kódot és vonatkozó szabvány környezetét mindazon műszaki feladatok és körülmények vonatkozásában, amelyek objektíven teljesíthető követelményeket jelentenek. Az elhatározást az vezérelte, hogy az ASME kód követelményeinek figyelembe vételével történő üzemeltetés támogatás várhatóan elő fogja segíteni az időszakos ellenőrzések és próbák (továbbá a karbantartás hatékonyságának a monitorozása, illetve az elvégzésre kerülő szilárdsági ellenőrzések) közvetlen összehasonlíthatóságát az élenjáró nyugati módszerekkel és biztonsági követelményekkel, és ezáltal meg fogja könnyíteni az üzemidő hosszabbítás nemzetközi elfogadtatását. Az ASME XI követelményeinek való megfelelés lehetőséget fog teremteni az erőműnek arra is, hogy az időszakos ellenőrzések és próbák jelenlegi - 1. biztonsági osztályba sorolt berendezések esetén - négy éves ciklusidejét megnövelje. A vizsgálati ciklusidőnek a szándékozott nyolc évre történő növelése hozzá kell, hogy járjon a jelenleginél hatékonyabb és költségtakarósebb működéshez. Az ASME XI alkalmazásának az a feltétele, hogy a berendezéseket az ASME konstrukciós kód alapján tervezzék és gyártsák. Miután a Paksi Atomerómű berendezései esetében ez a feltétel nem teljesül, ezért el kell végezni a berendezések (de minimálisan a kiválasztott berendezések) tervezési felülvizsgálatát, és csak a felülvizsgálat kedvező eredménye alapján lehet alkalmazni az ASME XI követelményeit.

Az ASME kódot évtizedek óta széles körben alkalmazzák Európában is. Ennek elsődleges oka az alkalmazott nukleáris technológia (ASME konstrukciós kód alkalmazása), de vannak országok, amelyek az atomeróművek tervezéséhez, építéséhez alkalmazott kódot minőségileg jobb kóddal kívánták felváltani az üzemeltetés időszakára. Ez utóbbi országok - Csehország és Finnország - VVER atomeróműveket üzemeltetnek, tehát gyakorlatuk igazolja a Paksi Atomerómű által választott út helyességét.

Az ASME kód követelményeinek szándékolt adaptálása maga után vonja a nukleáris biztonsági hatósági engedélyeknek a megszerzését azon dokumentumok vonatkozásában, amelyek módosítása hatósági engedélyhez kötöttek. Ezek a dokumentumok a műszaki felülvizsgálati tervek, az anyagvizsgálati keretprogramok, valamint a roncsolásmentes vizsgálatok elfogadási szintjeit tartalmazó kritérium gyűjtemény. Ahogy korábban említettük, figyelembe kell venni azt is, hogy a Paksi Atomerőművet

nem az ASME konstrukciós kód szerint tervezték. A feladat megoldása során általános elvként azt lehet kijelenteni, hogy a létesítéskor hatályos előírások egyenértékűségét kell vizsgálni az ASME követelményekkel. Az adaptálás végső terjedelme a hatósági engedélyezési folyamat eredményeként fog kialakulni. Az ASME XI követelmények adaptálása elméletileg magába foglalja a hatékonyság valamennyi elemét, de ezek gyakorlatban való alkalmazása a szándékon túlmenően a rendelkezésre álló források függvénye.



2. ábra: Az időszakos ellenőrzés terjedelme és a költségek összefüggése

Következtetések

A Paksi Atomerőmű üzemidő hosszabbításának tükrében kijelenthető, hogy az ASME XI követelményeinek az adaptálása úgy az üzemeltetés biztonságának, mint költség-hatékonyságának a növeléséhez hozzájárul. Kritikusan értékelve még az is kijelenthető, hogy e nélkül a lépés nélkül nem teljesülnek a vonatkozó hatósági követelmények. Az időszakos ellenőrzések és vizsgálatok programjára és az értékelési kritériumokra a szabályzat ugyanis azt írja elő, hogy azokat „mértékadó” műszaki szabványok alapján kell meghatározni. A volt szovjet kódnak a hazai hatósági gyakorlat alapját képező kötete [2] semmiképpen nem tekinthető mértékadónak, miután nem végzik rendszeres felülvizsgálatát, aminek hiányában nem követi az integritás elemzéséhez nélkülözhetetlen törésmechanika, és roncsolásmentes vizsgálat területén bekövetkező fejlődést. Ez a tény az erőműre nézve kényszerítő körülmény, és kétséget kizáróan indokolja az ASME kód követelményeinek az adaptálását.

Az ASME XI elfogadási szintjei harmonizálnak az üzemidő hosszabbítás műszaki igényeivel. A kód szerint a roncsolásmentes vizsgálatok eredményeit egy olyan módon megfogalmazott kritérium rendszerrel kell összevetni, ami közvetlenül lehetővé teszi a detektált folytonossági hiányok esetlegesen szükséges törésmechanikai értékelését, és így az eredmények teljes mértékben ki tudják szolgálni a berendezések további üzemelésre történő alkalmasságáról vagy javításáról, illetve cseréjéről hozandó döntéseket. A biztonság növeléséhez hozzájárul a nyomáspróba paraméterek enyhítésének lehetősége. Az ASME XI biztonsági filozófiája szerint az időszakos nyomáspróbák helyett a roncsolásmentes vizsgálatok adják a nyomástartó berendezések biztonságos üzemeltetésének a biztosítékát. A nyomáspróba egyrészt nem ad jelzést az esetleg meglévő folytonossági hiány jelenlétéről (feltételezve hatékony roncsolásmentes vizsgálatok végrehajtását), másrészt az üzemi nyomás értékét lényegesen meghaladó próbanyomás káros az anyagszerkezetre nézve (halmozódó károsodás) és ronthatja a próbát követő roncsolásmentes vizsgálat megbízhatóságát.

Az ASME adaptálás várható gazdasági eredménye becsülhető. A vizsgálati ciklusidő négyről nyolc évre történő növelésének a hatása éves szinten a négy blokkra vonatkoztatva 2 és 4 milliárd forintra tehető, részleteket lásd a [7] hivatkozásban. A hatékony roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazásának gazdasági eredményét egyelőre nehéz számszerűsíteni. Kétségtelen azonban, hogy a jobban megtervezett, és nagyobb megbízhatóságú vizsgálatok (vizsgálatminősítés) csökkentik a vizsgálatok ismétlésének a valószínűségét, a hibás eredmény következtében esetlegesen bekövetkező váratlan meghibásodások számát, és az ezzel együtt járó javítási költségek összegét, illetve a termelés kiesés negatív hatását. Amennyiben a jelenlegi, determinisztikus módon meghatározott ellenőrzési program vagy annak egy része átdolgozásra kerül a kockázati szempontok figyelembe vételével, további biztonsági és gazdasági előnyök jelentkezhetnek.

Az ASME XI követelmények alkalmazása szemléletváltást követel meg a vizsgáló személyektől. A jelenleg alkalmazott rendszerben a vizsgáló személyzet alapvetően minőségellenőrzés jellegű értékelést végez, a vizsgálat eredményeit ennek megfelelő módon értelmezi, fogalmazza meg és dokumentálja. A vizsgálatok eredménye és a detektált folytonossági hiányoknak a további üzemeltethetőségre vonatkozó veszélyessége között nincs egyértelmű korreláció. Az ASME XI követelményrendszerét ezzel szemben úgy fogalmazták meg, hogy az megköveteli a vizsgáló személytől a folytonossági hiányok jellemző befoglaló méreteinek és a felülettől való távolságuknak a meghatározását, ami lehetővé teszi az eredmény közvetlen felhasználhatóságát egy esetleges törésmechanikai elemzéshez.

Irodalomjegyzék

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect. XI: Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, 2001, ASME, New York.
- [2] PK 1514-72: Ellenőrzési szabályzat az atomerőművek, kísérleti és kutató reaktorok berendezéseinek és szerkezeteinek hegesztett kötéseire és felrakó hegesztésére. Goszortekhnadzor, Moszkva, 1972.
- [3] PNAE G-7-010-89: Atomerőművi berendezések és csővezetékek hegesztés ellenőrzésének szabályzata. Goszatomnadzor, Moszkva, 1999.
- [4] Trampus P.: Gondolatok az atomerőművi roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlesztése kapcsán, Anyagvizsgálók Lapja, 15 (2005) 71-74.
- [5] IAEA Technical Meeting on Recent Material Degradation and Related Managerial Issues of NPPs, Working Material, Vienna, 2005.
- [6] G. Engl, P. Trampus: Criteria and Recommendations for ISI Effectiveness Improvement, Proc. Joint EC-IAEA Technical Meeting on Improvements in ISI Effectiveness, Petten, 2002.
- [7] P. Trampus, S. Rátkai, D. Szabó: Economic Benefit of Upgrading the In-Service Inspection System of Pressurized Components at Paks Nuclear Power Plant, Proc. Int. Conf. on Welded Structures, Miskolc, Hungary, 2008 (under publishing).