

A technológiai fejlődés tendenciáinak hatása az üzem közbeni ellenőrzés hatékonyságára

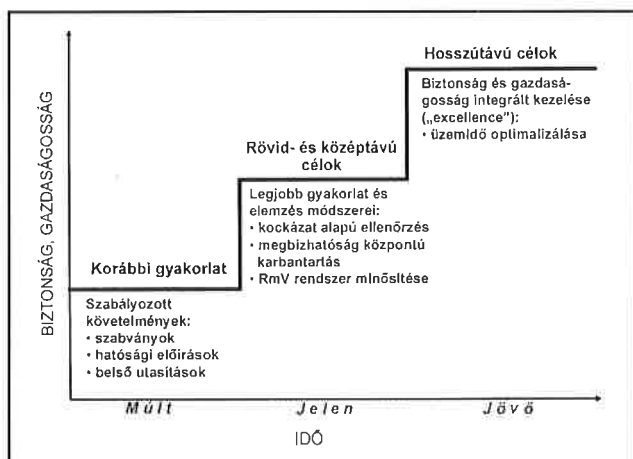
Trampus Péter*

Bevezetés

A bonyolult ipari létesítmények passzív berendezéseit (nyomástartó edények, csővezetékek, egyéb hegesztett szerkezetek) meghatározott időszakonként roncsolásmentes vizsgálattal (RmV) ellenőrzik. Az időszakos RmV-k feladata az, hogy megbízható információt szolgáltatssanak a berendezések állapotáról, azaz a folytonossági hiányok jelenlétéről, helyzetéről, méretéről és más jellegzetességeiről az adott berendezés szerkezeti integritásának elemzéséhez. A vizsgálatok alapvetően a szóban forgó ipari létesítményekkel szemben az illetékes hatóság által támasztott biztonsági követelményekkel függnek össze. Nem elhanyagolható a szerepük a berendezések megbízhatóságát, azaz a létesítmény üzembiztonságát és rendelkezésre állását illetően sem. A vizsgálatokat mindig az adott kor színvonalán és követelményeinek megfelelően kell elvégezni.

Az elmúlt évtizedekben jelentős változások indultak el és zajlanak ma is a világ gazdaságában. E változások versenyhelyzetet kényszerítenek ki az egyes iparágak, illetve technológiák között, amelyben az eredményes részvétel csak a költségek folyamatos csökkentésével és – ezzel egyidejűleg – a biztonság folyamatos növelésével valósítható meg. Ezek a változások kihatással vannak a biztonság független verifikálásáért felelős hatóságok magatartására és természetesen az ipar válaszára és így áttételesen a berendezések időszakos ellenőrzésére, illetve ezzel összefüggésben a RmV-re. Az 1. ábra az ellenőrzési (és az ezzel szoros összefüggésben lévő karbantartási) döntéshozatali folyamat fejlődését mutatja be, különös tekintettel azokra az iparágakra, amelyekben a társadalom által nem elfogadható balesetek igen alacsony valószínűséggel fordulhatnak elő (pl. energetika, vegyipar, légi közlekedés). Az ábra abból indul ki, hogy korábban ezen iparágak többségében a hagyományos és a minden részletre kiterjedő előírások, szabványok képezték az ellenőrzés és karbantartás alapját, nem pedig az optimalizált folyamatok, amelyekben a biztonság és gazdaságosság kockázati mutatói integrálhatók. A jelent, de elsősorban a jövőt, a kockázatot figyelembe vevő (*risk informed*) és a teljesítőképességen alapuló (*performance based*) technológiák jellemzik.

Jelen cikk azt kívánja bemutatni, hogy a technológiák fejlődésének változó folyamata milyen hatással van a RmV-re, illetve hogyan járul hozzá a RmV-k hatékonyságának növeléséhez.



1. ábra. A döntéshozatali filozófiájának változása ellenőrzés és karbantartás esetén

Az üzem közbeni időszakos ellenőrzések hatékonysága

Az időszakos ellenőrzések hatékonysága – kiindulva az ellenőrzés alapvető céljából – szoros összefüggésben van a vizsgált berendezés szerkezeti épségével (integritásával). Úgyszintén fontos tényezője az élettartam-gazdálkodásnak, amikor is a berendezések állapotának ismeretében kell döntenie a berendezések élettartamáról. Ne felejtjük el, hogy mindkettő – szerkezeti integritás és élettartam-gazdálkodás – együttesen szolgálja a biztonságot és a gazdaságosságot. Az időszakos ellenőrzésnek a szerkezeti integritás elemzéséhez fűződő kapcsolata kétirányú: egyrészt az időszakos ellenőrzés szállítja a megbízható adatokat a berendezésekben esetlegesen található folytonossági hiányokról és azok jellemző paramétereiről, másrészt a szerkezeti integritás elemzése állítja fel a roncsolásmentes vizsgálatok szintjével szembeni igényeket (pl. legkisebb detektálható hibaméret, a hibanagyság meghatározás pontossága, az egymást követő vizsgálatok ciklusideje).

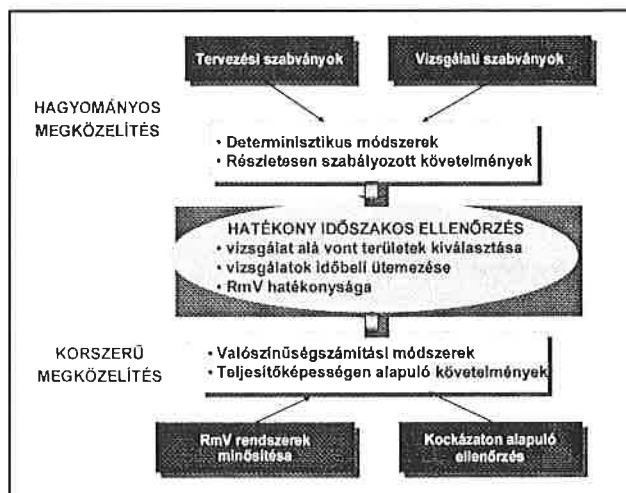
Az időszakos ellenőrzések (RmV-k) hatékonysága az előzőek tükrében az alábbi fő összetevőket kell, hogy tartalmazza [1]:

- Biztonságorientált, ésszerűen megvalósítható (realisztikus) vizsgálati terjedelem.
- Biztonságorientált, ésszerűen megvalósítható vizsgálati ciklusidő.
- A vizsgálatok terjedelmére igazolt teljesítőképességű RmV-k.

A biztonsággal kapcsolatos megfontolások nem igényelnek magyarázatot, mivel a szóban forgó iparágak nagy kockázattal járó technológiákat alkalmaznak. A terjedelem és ciklusidő realisztikus meghatározás azzal függ össze, hogy a hatékonyság komplex fogalomkörébe a gazdasági hatékonyság is beleértendő.

A hatékonyság fejlődése

Az időszakos ellenőrzések hatékonyságának fejlődése magán viseli a bevezetőben vázolt fejlődési irányt: a hagyományos és a korszerű megközelítést a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Az időszakos ellenőrzések hatékonyságának hagyományos és korszerű megközelítése

A hagyományos megközelítést a következők jellemzik:

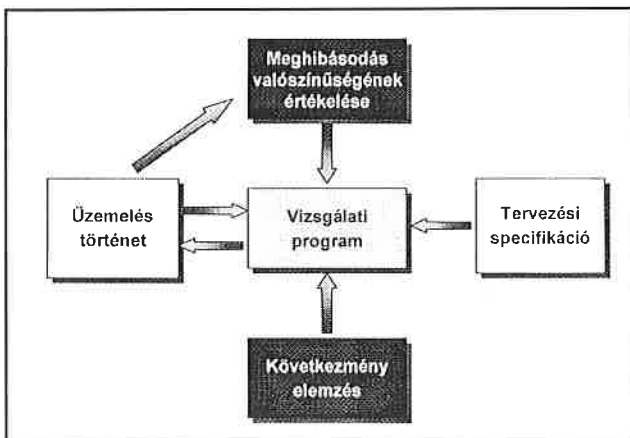
- a berendezések merev biztonsági osztálybasorolása,
- az egységes vizsgálati ciklusidő,
- a vizsgálati terjedelem a hegesztési varratokra koncentrált,
- a szabványban rögzített paraméterek a RmV végrehajtásához (pl.

* TRAMPUS Műszaki Tanácsadó BT.

érzékenység hitelesítés, feljegyzési szint ill. értékelési szint mesterséges reflektorokkal történő összehasonlítás szerint stb.).

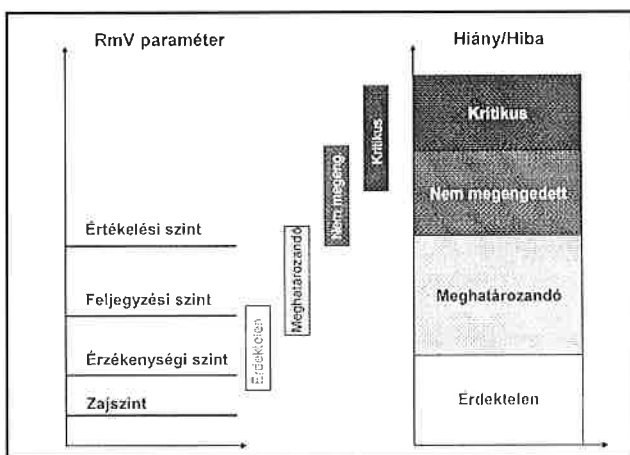
A 80-as években az addig felhalmozott az üzemi tapasztalatok alapján (bizonyos hibákat csak véletlenszerűen detektáltak, az érzékenység esetenként kicsinek bizonyult, az alkalmazott RmV technika bizonyos károsodások felderítéséhez nem volt megfelelő, a vizsgálati ciklusidő néha hosszú volt és a vizsgálatok jelentős részét a berendezések olyan részein hajtották végre, ahol nem volt károsodás) jelentős változások indultak meg. A vizsgálati filozófia elmozdult a részletes szabályozás területéről egy olyan irányba, ahol a hangsúlyt a potenciális károsodásnak kitett területekre helyezték és megkövetelték a vizsgálatok teljesítőképességének igazolását. Ebből fejlődött ki a RmV rendszerek minősítésének témaköre [2].

Ugyanebben az időszakban indult rohamos fejlődésnek világszerte a valószínűségi kockázatelemzés (*probabilistic risk assessment, PRA*) és alkalmazása az aktív berendezések biztonságának kvantitatív értékeléséhez, és próbálkozások kezdődtek a PRA módszer passzív berendezésekre történő alkalmazására is [3]. Megindult a kockázatalapú időszakos ellenőrzés (*risk informed in-service inspection, RI-ISI*) alapjainak lerakása. Egy kockázatalapú időszakos ellenőrzési program kidolgozásának lehetséges modelljét mutatja be a 3. ábra [4].



3. ábra. A kockázatalapú időszakos ellenőrzési program kidolgozásának elvi sémája

Az RmV hatékonyságának részleteire, a vizsgálati technikának a számítástechnika rohamos fejlődésével összefüggő tökéletesítésére jelen cikk nem tér ki. A jól ismert összefüggések (pl.: detektálás valószínűség függvény) helyett egy diagramon be kívánjuk mutatni a RmV jellemző paramétere és a hiány (ill. hiba) tényleges jellemzője közötti összefüggést, ami jellemző a vizsgálat teljesítőképességére (4. ábra). Az ábra bal oldalán a RmV jellemző paramétere (ami pl. ultra-



4. ábra. Az RmV-paraméter és a hiány/hiba méretének összefüggése

hangvizsgálat esetén az amplitúdó magassága vagy dinamikája, örvényáramos vizsgálat esetén amplitúdó és fázisszög stb. lehet) tűntették fel, az értékek jelképesek. A diagram jobb oldalán pedig a hiány ill. hiba valódi méretét, ami összefüggésben lehet törésmechanikai megítélésével. Egy ideális vizsgálórendszer esetében egyértelmű kapcsolat fedezhető fel a jobb és bal oldal között, ami azonban extrém nagy vizsgálattechnikai ráfordítást igényelne, továbbá ideális anyagot feltételezne. Az esetek többségében ez a kapcsolat laza és a vizsgálat teljesítőképességétől függ. A jobb és bal oldal közötti összhangot a RmV jellemzőjének tűréssel megnövelt tartománya írja le, ami az ábrázolt esetben egy meglehetősen hatékony vizsgálati rendszert jelent, miután – ugyan némi átfedéssel – a mezők jól megfelelnek a hiány/hiba hierarchiának [5].

Példa: az atomerőművi időszakos vizsgálatok fejlődése a technológiai irányzatok fejlődésének tükrében

A világ jelentős részén az amerikai előírásrendszert használják az atomerőművek berendezéseinek időszakos ellenőrzésére. Ezen előírásrendszer fejlődése többé-kevésbé jó tükröképe az időszakos RmV-kkel kapcsolatos koncepció és gyakorlat általános fejlődésének [6], ezért vázlatosan bemutatjuk ennek legfontosabb lépcsőfokait.

Az atomerőművek tervezőinek az volt az eredeti elképzelése, hogy a tervezés és gyártás során alkalmazott magasabb minőségi követelmények lehetővé teszik a passzív berendezések üzemeltetését a tervező által figyelembe vett élettartam végéig minden különösebb ellenőrzés nélkül. A 60-as évek második felében az amerikai hatóság – az üzemelési tapasztalatokat figyelembe véve – mégis szükségét érezte egy időszakonként ismétlődő ellenőrzés bevezetésének. Ekkor született meg a világ szinte valamennyi időszakos ellenőrzésre vonatkozó előírásrendszerének alapját képező és széles körben elterjedt ASME kód tizenegyedik kötetének [7] első változata, aminek az volt az alapfilozófiája, hogy a berendezések legyártott állapotukban megfelelőek. A későbbi összehasonlíthatóság érdekében viszont megkövetelték az üzemeltetés megelőző állapot rögzítését. A kód alkalmazásának első éveiben az üzemeltetés időszakában talált folytonossági hiányok elfogadhatóságának határértékei még megegyeztek a gyártásra vonatkozó határértékekkel. Ezeket csak a 70-es évek derekán váltották ki az üzemelő atomerőművekre vonatkozó elfogadhatósági értékekkel.

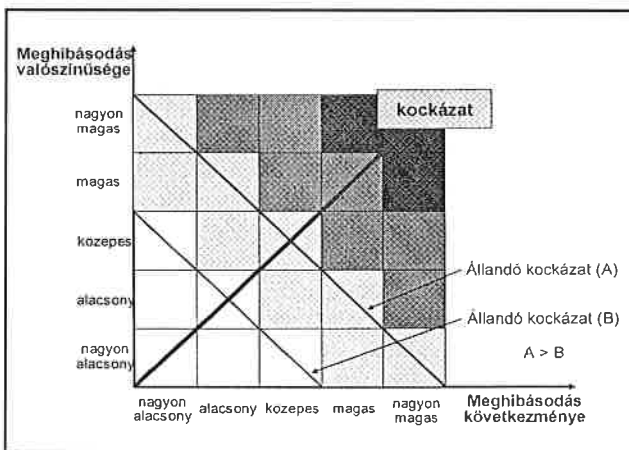
Igazodva a vonatkozó tervezési kód [8] anyagkiáradás központúságához, az ellenőrzési kód elsősorban az üzemeltetés hatására keletkezett fáradásos repedések felderítését célozta meg. Ez magyarázza az ultrahangvizsgálatnak, mint a repedés kimutatására legalkalmasabbnak vélt RmV-nak az elsődlegességét, ami nem volt összhangban a tervezési kód radiográfiai vizsgálatközpontúságával. Az ultrahangvizsgálat mellett természetesen más előnyök is születtek: könnyebb volt alkalmazni az üzemelő atomerőművek sugárveszélyes környezetében és a vizsgálat elvégzése nem igényelt hozzáférést a berendezés mindkét felülete irányából. Ez végül elvezetett annak a felismeréséhez, hogy a tervezési kód ultrahangvizsgálati követelményei nem megfelelőek.

E hiányosságok kiküszöbölésére egy nemzetközi kutatási programot hoztak létre az Európai Bizottság Egyesített Kutató Intézete és az OECD Nukleáris Energia Ügynöksége irányításával (*PISC, Plate Inspection Steering Committee*, később *Programme for Inspection of Steel Components*). A kutatási program első fázisának (*PISC-I*) a célja az alkalmazott RmV módszerek – elsősorban ultrahang-vizsgálati módszerek – érzékenységének és reprodukálhatóságának a vizsgálata volt [9]. A program az Amerikai Egyesült Államokban gyártott, reaktortartály méreteit szimuláló, mesterséges hibákkal ellátott, acél próbatestek vizsgálatán alapult. Figyelembe véve a próbatestek eredendő hiányosságait (a mesterséges hibák készítése kezdetleges volt és sok hiba használataiannak bizonyult, a próbatestek nem voltak plattírozva), továbbá az atomerőművek vizsgálatára irányuló egyre növekvő figyelmet, elindították a kutatás második fázisát (*PISC-II*). Ennek az volt a célja, hogy értékelje a RmV-k hatékonyságát, különös tekintettel a folytonosságra

hiány paramétereire (geometria, elhelyezkedés), a vizsgálóberendezés paramétereire, valamint a plattírozás hatására.

A PISC-II nevesítette a szerkezet épsége (integritása) szempontjából fontos hibakategóriákat és felhívta a figyelmet a vizsgálati technológiák optimalizálásának szükségességére. Az is világossá vált azonban, hogy mindezekon túl szükség van az eljárások teljesítőképességének igazolására valóságú környezetben. A kutatás harmadik fázisa (PISC-III) ezért azt a célt tűzte ki, hogy értékelje valóságú hibákkal ellátott, teljes léptékű reaktortartályon és egyéb primérfő berendezéseken a roncsolásmentes eljárások hatékonyságát és megbízhatóságát, beleértve matematikai modellek alkalmazását és az emberi tényező szerepét. Ez lényegében válasz volt arra az igényre, hogy a vizsgálorendszer (vizsgálati eljárás, vizsgálóberendezés és -személyzet) valamennyi kombinációját figyelembe véve bizonyított-e az, hogy a rendszer képes a feladatának ellátására. Ebből nőtt ki a **RmV rendszerek minősítése**.

Ahogy a RmV rendszerek minősítésének kifejlődéséhez hozzájárultak azok az üzemi meghibásodások, amelyek a korábban vizsgált helyeken fordultak elő (azaz bizonyították a vizsgálati elégtelenségét), úgy azon meghibásodások tapasztalatainak elemzése, amelyek a vizsgálatok alá nem vont területeken keletkeztek (azaz bizonyították a vizsgálandó területek kiválasztásának tökéletlenségét) vezetett el a témakör koncepcionális fejlődésének jelenlegi másik központi kérdéséhez, a **kockázat alapú vizsgálatokhoz**. Kockázat alatt, összefüggésünkben, a berendezés meghibásodása következményének és a meghibásodás bekövetkezése valószínűségének a szorzatát értjük, (5. ábra). Mivel a kockázatot a tengelyekre írt paraméterek szorzataként definiáltuk, a log-log léptékű ábrán a 45°-os egyenesek az állandó kockázat vonalai, amelyek világosan elválasztják egymástól a különböző kockázatu területeket. Ha csökkenteni kívánjuk a kockázatot, amire elsősorban a meghibásodás bekövetkezése valószínűségének a csökkentése útján van esély, akkor a berendezés azon tartományaira kell koncentrálnunk, ahol a meghibásodást kiváltó károsodási folyamatok a legnagyobb valószínűséggel fordulnak elő. Az időszakos vizsgálatok terjedelmének a kockázat alapján történő ártértelezése a 80-as években kezdődött és mára gyakorlattá vált, lásd pl a [4] hivatkozás 3. mellékletét. Az igazsághoz tartozik, hogy a hagyományos időszakos ellenőrzési kódok (pl. az ASME kód idézett tizenegyedik kötete, de mások is) a kockázat kvalitatív becslése alapján különböző biztonsági osztályokba sorolt berendezések esetében eltérő terjedelmű ill. ciklusú vizsgálatokat írtak elő és eltérő elfogadási szinteket határoztak meg.



5. ábra. Kockázat térkép

E két látszólag önálló terület, azaz a **vizsgáló rendszerek minősítése** és a **vizsgálati terjedelem kockázat alapú meghatározása** együttesen járul hozzá a berendezések szerkezeti épségének (integritása) biztosításához alapvetően fontos adatokat szolgáltató időszakos ellenőrzések hatékonyságának növeléséhez. Amennyiben egy berendezés meghibásodának kockázatát egy nagyságrenddel

kívánjuk csökkenteni (ami minimális célkitűzése lehet az időszakos ellenőrzésnek), akkor mindkét „hatékonyságnak” 95%-nak kell lennie, lásd az alábbi egyenletet:

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{1}{1 - 0,95 \times 0,95} = 10,2$$

ahol P a berendezés meghibásodásának 100%-os valószínűségét, P pedig azt a valószínűséget jelenti, amely egy 95%-os teljesítőképességű RmV (ez jelenthet 95%-os hibakimutatói valószínűséget) alkalmazásával és egyidejűleg 95%-os „hatékonyságú” vizsgálati terjedelem figyelembe vételével adódik.

Záró gondolatok

Az időszakos ellenőrzés (RmV) fontos része a bonyolult létesítmények passzív szerkezeti elemei, berendezései integritása elemzésének. Bizonyos nyomástartó berendezések meghibásodása akár katasztrófális következményekkel járhat. Más esetekben termelés kieséssel és tetemes karbantartási, javítási költségekkel kell számolni. Ezért elengedhetetlen a berendezések állapotának ellenőrzése, a károsodások időben történő jelzése és szükség esetén megfelelő intézkedések meghozatala. A kockázat alapú vizsgálatok előnye abban áll, hogy segítségével a vizsgálatot a berendezések károsodásnak leginkább kitett helyein és a legmegfelelőbb időben hajtják végre. E területet folyamatos fejlődés jellemzi, de már ma is jelentős mértékben hozzájárul az időszakos ellenőrzések hatékonyságának növeléséhez. A másik terület, amelyik ugyanilyen mértékben segít a hatékonyság növelésében, a RmV rendszerek teljesítőképességének igazolása, a minősítés. E terület már kiforrottabb múlttal rendelkezik, és jónéhány országban rutinszerűen alkalmazzák.

Az időszakos ellenőrzések – az előzőekben leírt biztonsági funkciójukon túlmenően – fontos szerepet játszanak a berendezések megbízhatóságának szavatolásában, azaz a teljes létesítmény (pl. erőmű) rendelkezésre állásának biztosításában. Ezzel pedig hozzájárulnak a létesítmény nyereséges üzemeltetéséhez, illetve segítenek üzemideje meghosszabbításának megalapozásában.

Hivatkozások

- [1] Engl, G. – Trampus, P.: Criteria and Recommendations for ISI Effectiveness Improvement, Proc. Joint EC-IAEA Technical Meeting "Improvements on In-service Inspection Effectiveness", Petten, The Netherlands, 19-21 November 2002.
- [2] Trampus P.: Elvárások és gyakorlat az atomerőművi roncsolásmentes anyagvizsgáló rendszerek minősítése terén, Anyagvizsgálók Lapja, 2. sz. (1999) 48-50.
- [3] Chapman, V.: Using risk as an inspection tool, Nuclear Engineering International, October (1999) 53-54.
- [4] Discussion Document on Risk Informed In-service Inspection of Nuclear Power Plants in Europe, ENIQ Report Nr. 21, EUR 19742 EN, December (2000)
- [5] Engl, G.: Stand der Wiederkehrenden Prüfung in Deutschland: Kooperation Industrie/MPA zur Prüfphilosophie, Realisierung und Verfahren, 24. MPA-Seminar, Stuttgart, 7-9 Oktober 1998.
- [6] Hedden, O. F.: Evolution of Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Transaction of the ASME, Vol. 122, August (2000) 234-241.
- [7] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI: Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, ASME, New York (1995)
- [8] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III: Nuclear Power Plant Components, ASME, New York (1995)
- [9] Summary of the Three Phases of the PISC Programme. PISC Report No. 17, March (1992)