

A TriAs rendszer megbízhatóságának elemzése

Fücsök Ferenc* – Palásti József**

Bevezetés

A VVER 440 típusú atomreaktorok külső vizsgálórendszerét a Paksi Atomerőmű Rt. az elmúlt években nagy mértékben átalakította és fejlesztette [lásd 53. old.]. A fejlesztésben a PA Rt.-én kívül spanyol és magyar közreműködők vettek részt. A fejlesztést pénzügyileg is támogatta a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség. A fejlesztés eredménye lett a TriAs rendszer. A rendszer egy éve üzemel, az első tapasztalatok már lezárhatók [lásd 55. old.] Természetesen felmerülő kérdés, hogy az új, még nem teljesen ismert és bejáratott rendszer mennyire megbízható. A megbízhatóság ellenőrzése az ultrahangos rendszer korrekt hitelesítésével nem biztosítható, hiszen a gépi vizsgálat több alkotóelemből áll. A rendszerhez tartozik a mechanikai mozgató szerkezet, az ultrahangos vizsgálóegység, az értékelő szoftver valamint az üzemeltést és értékelést végző személyzet is.

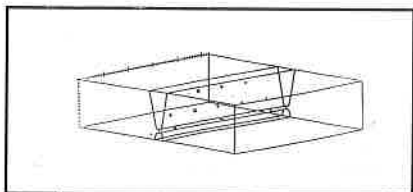
Az egész rendszer megbízhatóságának egyfajta elemzéséhez az Erőkar Rt. által gyártott, TR1 jelű, műhibás etalonot használtuk fel. A vizsgálatot először úgy végeztük el, hogy más vizsgáló módszerek és rendszerek eredményeivel hasonlítottuk össze a TriAs mérési eredményeket, erről számolt be ez a cikk. Az elemzés folytatásának szánjuk, hogy az évente megismételt vizsgálatok eredményeit egymással is összehasonlítsuk, ezzel biztosítva a rendszer hatékonyságának állandóságát.

A TR1 etalon ismertetése

A TriAs rendszer fejlesztésének kezdetén már nyilvánvalóvá vált, hogy szükség lesz a reaktortest egy darabjának modelljére. Ez a modell el is készült, és pontos mása lett a reaktor hegesztési varratának és környezetének. A reaktortest azonos anyagból készült és azonos átmérőjű henger ívét tartalmazza. A hegesztési varrat alakja, és a hegesztés technológiája és a belső ív felületét borító plattírozás is azonos a paksi reaktorokéval.

A hegesztési varratba 13 db különböző méretű térfogatos hiba elhelyezését terveztük. A külső felületről számított első sorban 3 db gömbszerű zárványt helyeztünk el, a második sorban nagyobb gömbök voltak, a harmadik sorban pedig salakcsíkok, kötési- és gyökhibák.

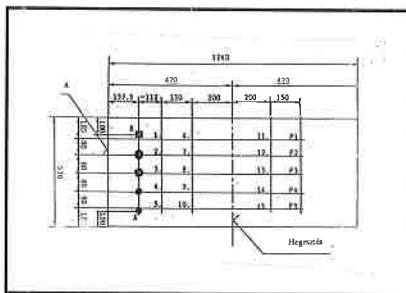
A tervezett hibák elhelyezkedésének térbeli vázlatát a 1. ábrán mutatjuk be. A hegesztés kivitelezése közben sajnos sok természetes hi-



1. ábra. A hegesztés tervezett hibái

ba is belekerült a varratba. Ezek a kézi vizsgálatokat nehezítették, de a gépi vizsgálat értékelése közben hasznos tapasztalatokat adtak.

A plattírozás elvégzése előtt 20 db repedésmodellt vágtunk szikraforgácsolással az alapanyagba, és elkészítettünk 5 db kis méretű leválás modellt is. Sajnos a plattírozás is tartalmaz nem tervezett hibákat. A plattírozás alatti hibák elhelyezkedésének vázlatát a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra. A plattírozás alatti repedésmodellek helye

A TR1 etalon részletes ismertetését már egyszer megtettük [1], ezért most a további részletezéstől eltekintünk.

A modell elkészítésénél kitűzött célok a következők voltak:

- elkészíteni a reaktortest és hegesztési varratának 1:1 arányú részletét, különböző típusú és méretű műhibákkal,
- előállítani különböző méretű, mélységű és dőlési szögű plattírozás alatti repedésmodell,
- ellenőrizni a hegesztési varrat hibáira és a plattírozás alatti repedések kimutatására kidolgozott vizsgálati technológiát.

A TriAs rendszer elindítása után kiderült, hogy a modell más, további célokra is alkalmas:

- a vizsgálószemélyzet gyakoroltatására inaktív körülmények között,
- a reaktorvizsgálatok előtt és után a komplett rendszer működőképességének bizonyítására és ezzel a megbízható működés ellenőrzésére,
- a külső és belső vizsgálatok közti kapcsolat megteremtésére.

A modellt, a pontosabb megismerésért több, különféle módszerrel és eszközzel vizsgáltattuk meg. Az ilyen, többrésztvevős vizsgálatot round-robin tesztnak nevezzük. A mi vizsgálatunk végén kiderült, hogy nem lehet az összes eredményt összehasonlítani, ezért csak mini round-robin tesztnak (MRRT) nevezhetjük kísérletünket.

A MRRT-ben résztvevők és a használt módszerek és eszközök:

Erőkar Rt. kézi vizsgálat
Paksi Atomerőmű Rt. TriAs vizsgálórendszer
Skoda Co. SKIN vizsgálóberendezés

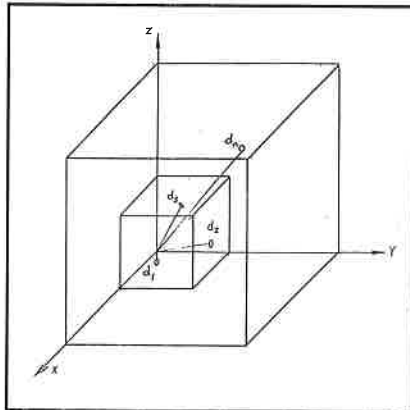
A kézi és a TriAs vizsgálat a külső, domború oldalról sugározta be a modellt, a SKIN berendezés a belső oldalról. Így lehetőségünk volt a külső és belső vizsgálatok eredményeinek összehasonlítására is.

A MRRT eredményeinek értékelése

A már felsorolt célok miatt a modellt még nem lehetett szétbontani, ezért nem ismerhetjük a benne lévő természetes és mesterséges hibák valódi helyét. A roncsolásmentes round-robin tesztek végén szét szokás darabolni a munkadarabokat, és ezzel az eredménnyel összehasonlítani a résztvevők méréseit. Ezt a módszert eddig még nem használhattuk, ezért más megoldást kellett keresni az értékeléshez. Az összehasonlítás módszere a következő volt:

A reflektorok jellemző adatait, a koordinátákat és az egyenértékű átmérőket átlagoltuk. Ezt a műveletet elvégeztük az összes reflektorra. Az így kapott eredményeket tekintettük a reflektorok valódi helyének és méretének.

Ez után a valódi hely koordinátái körül 1, 2, 3... n mm tűréssel egy tűrés kockát hoztunk létre, és megszámoltuk, hogy hány darab regisztrátum esik a kockán belülre. A 3. ábra mutatja a számítógép által végzett művelet geomet-



3. ábra. A tűrés kocka és növelése

riai vázlatát. Ezekre a regisztrátumokra kiszámítottuk az átlagos szórását. A számításához felhasznált formula:

$$S^2 = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 + (z_i - z_m)^2 + (d_i - d_m)^2$$

Ahol:

n = a regisztrátumok száma a tűrés kockában.

x_i, y_i, z_i = a reflektor mért koordinátája.

x_m, y_m, z_m = ugyanazon reflektor átlagos koordinátája.

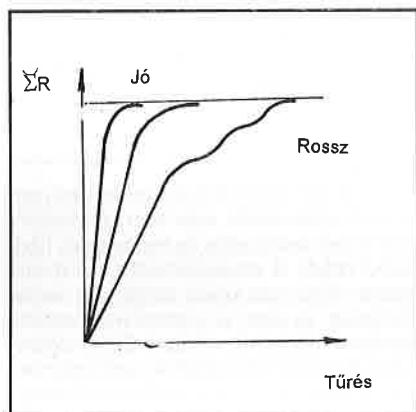
d_i = a reflektorral egyenértékű körtárcsa átmérője.

d_m = a reflektorral egyenértékű körtárcsa átlagos átmérője.

Ez után a tűrés függvényében ábrázoltuk a tűrés kockán belülre esett hibák számát és az átlagos szórását. Mivel mindegyik módszer különböző számú regisztrátumot készített, a hibák számát a módszer maximális számú regisztrátumának százalékában fejeztük ki. Így lehetett

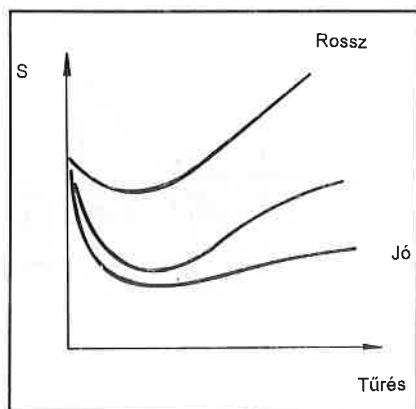
* Erőkar Rt. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Laboratórium
** Paksi Atomerőmű Rt. Anyagvizsgáló Osztály

összehasonlítást végezni az észlelt regisztrátumok számától függetlenül.



4. ábra. A regisztrátumok elvi változása a tűrés függvényében

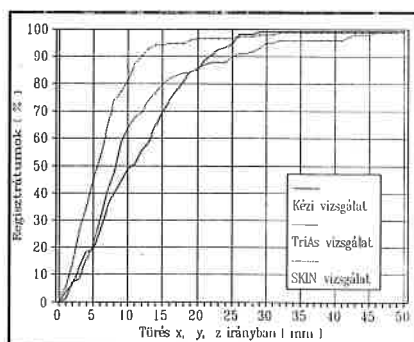
A 4. ábrán látható elvi görbék mutatják be a hibák számának változását a tűrés függvényében, az 5. ábra pedig bemutatja a megfelelő vagy a nem kielégítő pontosságú vizsgálatok átlagos szórását a tűrés függvényében. Ha összehasonlítjuk a MRRT értékelésének eredményeit az elvi görbékkel minősíthetjük a külön-



5. ábra. Az átlagos szórás elvi változása a tűrés függvényében

böző vizsgálatok pontosságát, és korrekt összehasonlításokat tehetünk.

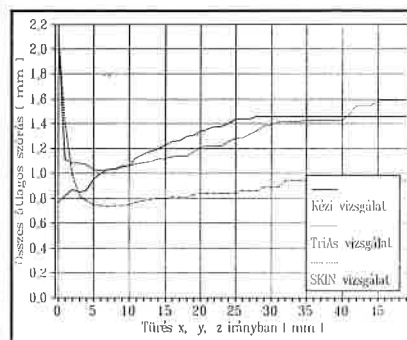
A 6. ábrán látható görbék a következőket mutatják: a párok száma a SKIN-teszt esetén növekszik a legmeredekebben. Feltételezzük, hogy ez a módszer a legpontosabb a három vizsgálat közül a helymeghatározás szempont-



6. ábra. A regisztrátumok száma a tűrés függvényében

jából. A kézi vizsgálatok görbéje kisebb tűrések-nél, 26 mm-nél éri el a 95%-os megfelelést, míg a SKIN-teszt 35 mm-nél. A TriAs-teszt jellemző görbéje meredeken emelkedik, nincs lényeges különbség a SKIN-teszthez viszonyítva, de a 80%-os egybeesés után lassan emelkedik és csak 45 mm-nél éri el a 95%-ot. Véleményünk szerint ez az újonnan fejlesztett és még nem bejáratott rendszer jellemzője. Kismértékű finomítás után minden bizonnyal közelebb kerül a már bejáratott SKIN módszer eredményeihez.

A 7. ábrán látható átlagos szórás eredményei alátámasztják a fenti megállapításokat. A legkisebb szórása a nagy mérési tapasztalatokkal rendelkező SKIN-rendszernek van. A TriAs rendszer szórása 1,5-2-szeres, de abszolút értékben nem nagy, alig haladja meg a $\pm 1,5$ mm-t.



7. ábra. Az átlagos szórás a tűrés függvényében

Mint az várható volt, a kézi vizsgálatok szórása a legrosszabb.

A cikk elején említettük, hogy a SKIN vizsgálat belülről a TriAs vizsgálat pedig kívülről vizsgálja a reaktort, így megállapíthatjuk, hogy a külső felület felüli vizsgálati módszer az etalon hibáinak feltárásában közel egyenértékű a belső vizsgálat megbízhatóságával és pontosságával.

Az értékelés új lehetőségei

A vizsgálatok eredményeinek értékelése nehézségekbe ütközik, akkor, ha sok mérési adatot kell figyelembe venni. Ezt a problémát már akkor észleltük, amikor a 8 csatornával vizsgáló TriAs rendszer eredményeit értékeltük.

A 6. ECNDT konferencián több előadó foglalkozott a multi-szenzoros roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek értékelésével és az adatfúzió néven ismert módszert ajánlották a megoldásra [2].

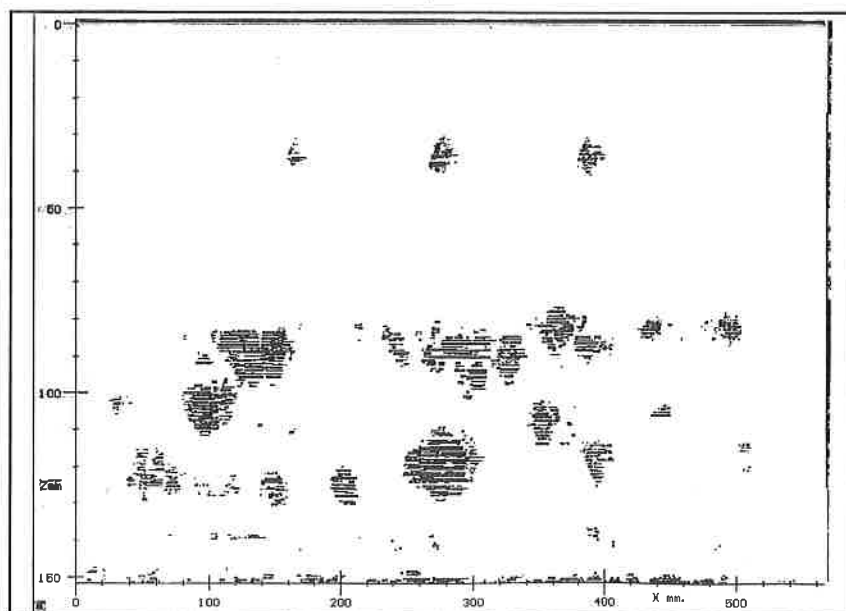
Az adatfúzió a több érzékelő által szolgáltatott információ együttes, egyidejű felhasználását jelenti, hogy együtt biztosítsák egy feladat teljesítését. Az adatfúziót napjainkban sok helyen alkalmazzák különféle célokra. Például a robotok vezérlésénél, alakfelismerő programoknál, roncsolásmentes vizsgálatok értékelésénél, célkövetésnél használják fel a megbízhatóság növelésére.

Az egyféle érzékelő által szolgáltatott információ általában korlátozott és gyakran kicsi a pontossága. Több szenzor alkalmazása az egyik módja annak, hogy növeljük az érzékelés pontosságát és megbízhatóságát. Emellett további információt biztosít a felhasználónak arról a környezetről ahol az érzékelő működik.

A légtér ellenőrzésére használt radarok adatintegrálása és fúziója jó példa az említettekre. Egy radar szolgáltatott információ alapján észlelhetjük, hogy a légtérben egy repülő tárgy van. Két radar használata esetén meghatározhatjuk a repülőgép helyzetét, magasságát és sebességét is. A két adathalmaz összevetésével a kezelő értékesebb és megbízhatóbb adatokhoz juthat.

Mint az várható volt, az érzékelők számának növelése nagymértékben növelte az adatmennyiséget, ami hatékony és gyors adatfeldolgozást követel meg. Különböző fúziós stratégiákat dolgoztak ki az adatfeldolgozásra. Ezek közül természetesen nem mindegyik alkalmas a roncsolásmentes vizsgálatoknál használatos érzékelők jeleinek feldolgozására.

A felhasználható módszerek közül a statisztikai átlagolás látszik a legegyszerűsőbbnek, ha azonos típusú vizsgálat, például ultrahangos vizsgálófejek adatait kell feldolgozni.



8. ábra. A TRI etalon hegesztésének keresztmetszete adatfúziós értékeléssel.

Ha valamilyen jelértékelő szoftver vagy a radiológiai vizsgálat kétdimenziós képet szolgáltat, akkor a képek pixelenként vonhatók össze. Ez a módszer segít kezelni azt az esetet, ha több vizsgálat képei elárasztják az értékelő szakembert.

A TriAs rendszer jelfeldolgozó szoftverét az ULISES programot a spanyol Tecnomat cég szállította. A reaktor vizsgálatára, így a TR1 etalon hegesztési varratának vizsgálatára is nyolc csatornát használtunk. E nyolc csatorna értékelése után nyert C- és D-képeket vontuk össze egy-egy képpé pixelenként statisztikai átlagolással. A keresztmetszeti, D-kép átlagolásának eredményét a 8. ábrán mutatjuk be. A kép jól

mutatja, hogy a tervezett műhibák mellett számos természetes hiba is van a varratban. Az átlagolás során az is kiderült, hogy a módszer zajszerűsége is kiválóan alkalmas.

Természetesen elkezdtük a munkát más fúziós módszer kipróbálására is. A fuzzy-logic elméletre alapozott módszer biztat a legjobban használható eredménnyel, mert az alkalmazott technikák és technológiák megbízhatóságát is figyelembe veszi.

Összefoglalás

Az elvégzett elemzések bizonyították, hogy a TriAs rendszer alkalmas a reaktortest megbíz-

ható és rekonstruálható vizsgálatára. Az eredmények összevethetőek a reaktor belső vizsgálatának eredményeivel. A modell elemzésénél használt módszerek, különösen a megfelelő adatfúziós elemzés, alkalmazhatóak lesznek a reaktortest vizsgálatánál is, és eszközei lehetnek egy szakértői rendszernek.

952 057 003/160

Irodalom

- [1] Fücsök Ferenc–Palásti József: A reaktortest-modell ultrahangos vizsgálatai, Gép 1994. március 44–48. old. (á. 7. h. 3.)
- [2] X. E. Gros, P. Strachan, D. Lowden, I. Edwards: NDT Data Fusion. Proc. of 6th ECNDT 24–28 October 1994. Nice, France pp. 355–359.

Reaktortartály-vizsgálatok eredményeinek értékelése

Dr. Pinczés János*

Bevezetés

A reaktortartály külső vizsgálatánál alkalmazott USZK rendszer kiváltása a TriAs rendszerrel új lehetőségeket teremt a tartályok állapotának figyelése terén (lásd az 55. oldalon). Az USZK rendszer alapvető feladata a tervező által veszélyesnek ítélt hibák felderítése volt, (lásd az 51. oldalon).

Az USZK alkalmazásakor az anyagvizsgálónak az ultrahangos (UH) képernyő alapján azonnal döntenie kellett a reflexió további „sorsáról”. A rendszer csak kézi adatregisztrációra volt alkalmas.

A TriAs vizsgálatok során alkalmazott UH vizsgálófejek, illetve az automatikus gépi adatgyűjtés eredményeként hatalmas mértékben megnőtt a tartályok állapotáról rendelkezésünkre álló információ, (lásd az 53. és az 55. oldalon). Az eddigi „hibakereső” vizsgálatot felváltotta az állapotfigyelő vizsgálat. A TriAs rendszerre jellemző igen jó jel/zaj viszony lehetővé teszi a viszonylag kis méretű reflexiók felderítését is, ami megfelelő alapot szolgáltat a reflexiók statisztikai feldolgozásához. Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy speciális kritériumok alapján célszerű kiszűrni az egyértelműen megjelenő reflektorokat a felvételen szereplő egyéb jelek közül (lásd az 55. oldalon). Ez azért lényeges, mert másképp kell értelmezni az egyszeri vizsgálatok során keletkező információt, illetve a többszörösen igazoltan jelenlévő reflektorokra jellemző adatokat.

A reflektorok jellemzői

Amikor reflektorokról (reflexiókról) beszélünk, általában azok egyedi jellemzőire gondolunk. Ilyen egyedi jellemzők:

- a reflektor jellege (típusa);
- a reflektor mérete;
- a reflektor helye;
- a reflektor „életrajza”.

Hibakereső eljárások esetén a reflektor fejlődésére vonatkozóan általában nem rendelkezünk információval. Állapotfigyelő vizsgálatok során ez a négy jellemző közel azonos rangra emelkedik.

Állapotfigyelés során új tényezőként jelennek meg a reflektorhalmazok jellemzői. A vizsgált területen elhelyezkedő reflektorok alapvető csoportosított jellemzői:

- a reflektorok mennyisége;
- a területen belüli eloszlásuk;
- nagyság szerinti eloszlás;
- a csoportok „életrajza”.

Az állapotfigyelésre, állapotértékelésre kiépülő adatbázis – a jelenlegi elképzeléseink szerint – a fenti jellemzők köré csoportosítva működhet sikeresen.

Az állapotfigyelés alapvető feltételei

A reflektorok, reflektorcsoportok jellemzőinek pontos feltérképezéséhez elengedhetetlen a következő feltételek megléte:

- megfelelő mennyiségű vizsgálat;
- fejlett vizsgálóeszközök;
- fejlett vizsgálati technológia;
- gépi alapértékelés;
- statisztikai kiértékelési rendszer.

Ezen feltételek jelentős része rendelkezésre áll a reaktorvizsgálatok során. Hosszabb távon (4–5 év) az automatikus gépi vizsgálatokra alapozva kiépíthető egy komplex számítógépes adatbázis, amely gyors és megbízható adatszolgáltatásra képes.

Az eddigi eredmények összegzése

A TriAs rendszerrel végzett közel két éves munka során sok tapasztalatot sikerült összegyűjteni. Jelenleg ezen tapasztalatok általánosítása, pontosítása folyik.

A reflektorok egyedi jellemzőivel kapcsolatban a következő tapasztalatokat szűrtük le:

1. Eddig (1995. március) csupán egyetlen varrat van, amelyet a TriAs rendszerrel, két egymást követő évben vizsgáltunk (1993 és 1994). Lényegében csak ezt a varratot vehetjük alapul – a reflektorok általunk megfogalmazott kritériumai miatt (lásd az 55. oldalon) – a részletesebb értékeléseknél. Ugyanakkor megállapítható, hogy az itt feltárt összefüggések jellemzőek a többi varratnál eddig „csak” reflexióként kezelt jelekre is.

2. A különböző, egymástól teljesen független vizsgálatok – (pl. külső és belső vizsgálat, illetve két különböző évben végzett TriAs vizsgálat) – során kapott koordináták, az egyértelműen reflektorként jelölt jelek esetén, jó megfelelést mutatnak. A fentebb említett varratnál található két reflektor (11. és 41. sorszámuak) fontosabb adatait az 1. táblázat tartalmazza. A 11. számú reflektort gyakorlatilag 7 független vizsgálat során regisztráltuk. Ezen reflektor elhelyezkedésére vonatkozóan szemléletes képet ad az 1. ábra, ahol X-Y koordináta-rendszerben, illetve a 2. ábra, ahol X-Z koordináta-rendszerben láthatóak a táblázatbeli adatok. Az 1983-as adatok a beszállításkor végzett kézi vizsgálat eredményeit tükrözik. A gépi vizsgálatok között fellelhető koordináta-eltérések alapvetően a kiindulási koordináták felvételekor elkövetett apróbb hibákra vezethetők vissza. A 2. ábrán látható, hogy a viszonylag nagy mélység és a különböző besugárzási szög ellenére a mélységkoordináták (Z) között minimális eltérés tapasztalható.

Az itt bemutatott eltérések (pontosság) jellemzőek az eddig elvégzett többi vizsgálat során is. Erre alapozva foglalmaztuk meg a reflektorokra vonatkozó kritériumokat is.

* Paksi Atomerőmű Rt.