

Beszámoló a 15. Roncsolásmentes Vizsgálatok Világkonferenciájáról



Dr. Balaskó Márton¹ – Fücsök Ferenc² – Takács Nándor³ – Kecskés Péter⁴ – Dr. Trampus Péter⁵

Általános áttekintés

A roncsolásmentes vizsgálatok világszervezete az ICNDT (International Committee for Non-Destructive Testing) minden negyedik évben rendez meg világkonferenciáját (WCNDT). Az Olasz Roncsolásmentes Vizsgálók Egyesülete (AIPnD) rendezhette meg a 15. WCNDT konferenciát 2000. október 15. és 21. között Rómában.

Az egyhetes rendezvényen nemcsak a különböző szekciók munkájára jutott idő, hanem egy szakmai világhiállítás megrendezésére, az ICNDT két és az európai EFNDT egy közgyűlésére, valamint több munkacsoport találkozására is. A következőkben megpróbálunk beszámolni a konferencia mellett megrendezett fontosabb eseményekről és válogatást adunk – érdeklődésünknek megfelelően – a rendezvény szakmai munkájából is.

A szakmai munkán kívül a legfontosabb események a konferencia előtt és alatt megrendezett ICNDT-közgyűlések voltak.

A 26. közgyűlést a konferencia előtt egy nappal rendezték. Giuseppe Nardoni, a házigazda olasz egyesület elnöke megnyitó üdvözlésében méltatta a világgazdaság egységességi törekvéseit, aminek egyik jele az ICNDT erősödése. Ez után megemlékezett az elmúlt közgyűlés óta elhunyt tagokról, név szerint Prof. Pawlowski, Prof. Schnitger, Mr. Soevik és Prof. Konkoly urakról, akikre emlékezve a jelenlévők egy perces felállással tisztelegtek.

Nardoni elnök röviden ismertette azt a munkát, amelyet a 15. WCNDT megszervezése, az ICNDT titkárságának létrehozása, az újság rendszeres megjelenítése és az ICNDT új alapszabályának kidolgozása érdekében elvégeztek. A közgyűlés érdemi munkája az új alapszabály megvitatásával kezdődött, ami csak a finanszírozás kérdésein akadt meg. Az ICNDT ezentúl nemcsak a világkonferenciák megszervezésével foglalkozik, hanem önálló szervezetként is működik. A szervezet titkárságot tart fenn és aktívan dolgozik a roncsolásmentes vizsgálatok szakma haladásáért és egységéért. Ehhez a munkához a szervezet anyagi forrását az ICNDT Fund biztosítja, amelybe a világkonferenciát és a regionális konferenciákat rendezők a haszon 25%-át fizetik majd be. Ezért az ICNDT nem fog tagdíjat szedni. A finansziális kérdések hosszú vitát váltottak ki és az alapszabály e részletét nem is sikerült lezárni.

Természetesen az eddigi legfontosabb tevékenységet, a négyévenkénti világkonferenciák szervezését folytatja az ICNDT. A 2004-es konferenciát a kanadai szövetség Montrealban rendezte. Egy ilyen nagy rendezvényre alaposan fel kell készülni, ezért a 2008. évi világkonferencia rendezési jogáról is határoztak, mégpedig ezt Kínának ítélték (miután a másik pályázó, Dél-Afrika az ülésen visszalépett). Így 2008-ban Sanghaiban lesz a 17. WCNDT.

Két díjat alapított és osztott ki első ízben az ICNDT: a Röntgen Award elismerésben az American Society for NDT, míg a Pawlowski Award elismerésben az AGFA részesült. A díjakat a konferencia megnyitóján Nardoni elnök úr adta át, méltatva a két szervezet tevékenységét.

A 27. közgyűlést október 19-én rendezték, amelyen a jelenlévők egyhangúlag elfogadták Szlovákia, Pakisztán, Líbia, Nigéria, Írország és Uruguay tagfelvételi kérelmét. Ez után négy évre megválasztották a

szervezet tisztségviselőit. Az ICNDT elnöke: G. Nardoni, titkára: M. Farley, míg a 16. WCNDT konferencia elnöke: D. Marshall, titkára pedig S. Bond lett.

Több kisebb ügy is napirendre került, melyek megvitatásánál felszínre kerültek a regionális csoportok érdekei is, esetenként nagy vitát gerjesztve. Nem volt vita azon a javaslaton, hogy a következő közgyűlést 2002-ben Barcelonában, a 8. európai konferencián legyen.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az ICNDT római ülései a szervezet jelentős fejlődését és erősödését eredményezték, ezért továbbra is érdemes részt vállalnunk a világszervezet aktív munkájában, ahol Magyarországot – a hagyományoknak megfelelően – a Gépipari Tudományos Egyesület képviseli.

A konferencia alatt több regionális csoport vagy munkabizottság tartott ülést. Ezek között számunkra legfontosabb az EFNDT közgyűlése volt, ahol hazánkat a Marovisz képviselte. A közgyűlés legfontosabb eseménye a D. Schnitger professzor halála miatt megüresedett elnöki pozíció betöltése volt. Az EFNDT új elnöke: Roger Roche a francia szövetség (COFREND) vezetője lett.

Az előadások mellett világszínvonalú szakmai kiállítás adott izelítőt a berendezésgyártók, a szolgáltató és az oktató cégek kínálatából: 18 ország 97 cége állított ki valamilyen terméket. A legnagyobb léptékű fejlődés, mint azt az elmúlt évtizedben megszokhattuk, a számítógéppel támogatott vizsgálóeszközök területén volt. A korszerű számítógépek nagy sebessége lehetővé teszi, hogy a képfeldolgozó szoftverek elfogatható idő alatt végezzenek például egy radiogram értékelésével. Szembetűnő ennek az alkalmazásnak a fejlődése.

Feltétlenül meg kell említeni a konferenciának otthont adó Rómát, az örök várost. A konferencia rendezői éltek a lehetőséggel, és a nyitó fogadás, a koncert és a díszvacsora helyszíneinek kiválasztásával elkápráztatták a résztvevőket. A Szent év rendezvényeire tekintettel pedig az egész konferencia részt vett egy pápai audiencián, ami vallási meggyőződésre való tekintet nélkül, minden résztvevőnek maradandó élményt és emléket adott.

A 15. WCNDT-ről röviden

A 27. közgyűlésen kapott tájékoztató szerint a konferencián 2144 fő jelent meg. Ebből teljes díjat fizető 640, hallgató és nyugdíjas 147 fő volt. A kiállításra további 362 bejegyzett személy is ellátogatott, ahol az érdeklődőket 730 kiállító várta. Tiszteletbeli vendég 58 fő volt, a többi kísérő, rendező.

A konferenciára több mint 750 előadást neveztek be és fogadtak el a rendezők. Becslések szerint ebből 700 körül el is hangzott, köztük 7 magyar szerzőtől. Az előadások több párhuzamos szekcióban, hat napon keresztül zajlottak, melyekről egy rövid cikkben átfogó képet adni nem lehet. Ezért ki-kik csak a saját szakterületéről számol be, bízva abban, hogy ezek összessége áttekintést ad a roncsolásmentes vizsgálatok jelenlegi állásáról és jövőbeli fejlődéséről.

A beszámoló készítésénél nagy segítségünkre volt a 15. WCNDT kiadványa, amely a szakma történetében először egy CD-n jelent meg. A lemezen 663 cikk található, ennyien küldték be a többször módosított határidőre munkájukat. Az elektronikus kiadványt könnyű áttekinteni, statisztikákat készíteni, és tetszőleges lekérdezéseket készíteni. A CD lemezt a német NDT.net cég adta ki, melynek honlapján december elejétől a teljes lemez ingyen hozzáférhető (<http://www.dnt.net>).

Érdemes volt statisztikát készíteni a cikkek módszerek szerinti megoszlásáról. Az 1. ábra szemléletesen mutatja szakmánk fejlődésének fő tendenciáit. Látható, hogy még mindig tart az a tendencia, hogy

¹ KFKI Atomenergia Kutató Intézet, Budapest

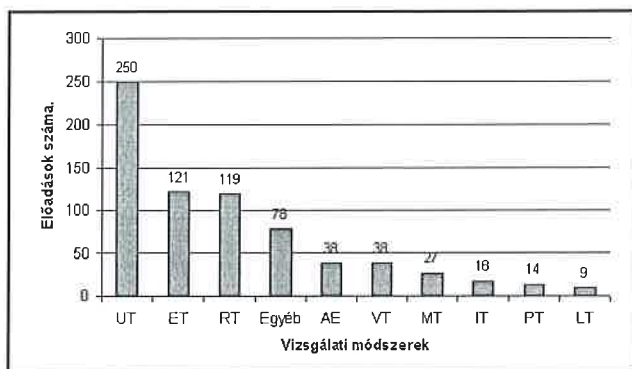
² Budapesti Erőmű Rt., Budapest

³ Debreceni Egyetem, Szilárdtest Fizika Tanszék, Debrecen

⁴ Ke-Tech Kft., Budapest

⁵ Nemzetközi Atomenergia Ügynekség, Bécs

legtöbb problémát az ultrahangos vizsgálatok körében kell megoldani. Külön említést érdemel, hogy az örvényáramos és radiográfiai témák közel azonos száma együttesen sem érik el az ultrahangos cikkek számát. Érdekes továbbá, hogy az ipari termográfia (IT) 19 előadással külön szekcióban szerepelt, ami fejlődését és alkalmazásának bővülését mutatja.



1. ábra. Az előadások téma szerinti megoszlása a 15. WCNDT-n

Érdekességek a nukleáris ipari szekcióból

A nukleáris ipari szekció 36 előadást és posztert tartalmaz. Ezzel szemben a konferencián csak 32-nek a szerzői jelentek meg személyesen. Ez – a konferencia valamennyi szekcióját és az azokban bejelentett illetve elhangzott előadások számát tekintve – mérsékelt érdeklődésnek tekinthető, és nem nehéz észrevenni az összefüggést az érdeklődés visszafogottsága, valamint az atomerőművek társadalmi és politikai elfogadottságának az utóbbi időszakban bekövetkezett meggyengülése között. Megfigyelhető volt, hogy a korábban szinte kizárólag atomerőművi anyagvizsgálatokkal foglalkozó cégek és intézetek kiterjesztették működési területüket és sorra megjelentek pl. a hagyományos energetikai iparban, a vegyiparban vagy a repülőgépgyártásban.

Figyelembe véve azt, hogy a nukleáris iparnak a társadalom által megtört kockázata általánosságban igen alacsony, továbbá, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatok alkalmazása bizonyíthatóan hozzájárul e kockázat alacsony szinten tartásához, illetve folyamatos csökkentéséhez, a nukleáris ipar mindig hajtóereje volt a roncsolásmentes vizsgálati technológiák fejlődésének. Az előadások egy részében ismertetett új alkalmazások, fejlesztések mégis az atomerőmű üzemeltetés és karbantartás gazdaságosságának a növelése érdekében történtek, ami igazolja azt a versenyhelyzetet, amit a villamosenergia-piac egyre általánosabbá váló felszabadítása gerjeszt.

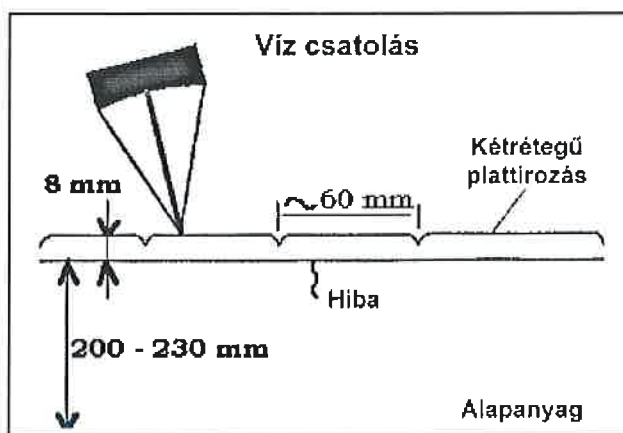
A nukleáris ipari szekció vezető témakörei az alábbiak voltak:

- A reaktortartály és a belső berendezések ultrahangos (UH) vizsgálata.
- Gőzfejlesztő hőtáradó csöveinek örvényáramos vizsgálata.
- Vizsgálórendszerek minősítése.
- Auszteni csővezetékek hegesztési varratának UH vizsgálata.
- Vizsgálati adatok feldolgozása, az adatbázis kezelése.
- A vizuális vizsgálatok hatékonyságának növelése.
- Roncsolásmentes vizsgálatok szerepe a fűtőelem-gyártás folyamatában.
- Roncsolásmentes vizsgálatok a radioaktív hulladékok kezelése során.

Részletesebb ismertetésre négy előadást választottam ki, önkényesen. A kiválasztásban az vezetett, hogy az ezen előadásokkal fémjelzett témakörök tűntek számomra a legidőszzerűbbeknek ma Magyarországon, figyelembe véve az országot – még sokáig – egyetlen atomerőművének a biztonságos és megbízható üzemeltetése és karbantartása által támasztott igényeit, a hazai atomerőművi roncsolásmentes anyagvizsgálattal foglalkozó intézetek műszaki felkészültségét és részvételük súlyát a hazai (és esetlegesen külföldön végzendő) vizsgálatokban,

valamint a szakterület nemzetközi fejlődési irányzatait. A választott témák olyanok, amelyekben a bemutatott megoldások nem csak a nukleáris iparban alkalmazhatók.

Francia szerzők tartottak előadást nyomott vizes reaktortartály övzónájában a plattírozás alatt képződött repedések vizsgálatáról [1]. A francia atomerőművek reaktortartályainak rutinszerű időszakos UH vizsgálata során repedésekre utaló indikációkat észleltek néhány tartály övzónájában. A szerkezeti integritás ellenőrzése arra az eredményre vezetett, hogy e repedések jelenléte – szélsőséges körülmények között – veszélyeztetheti a reaktortartályok biztonságos üzemeltetését. Ez a vizsgálati eredmény arra kényszerítette az üzemeltetőt (a Francia Villamosműveket), hogy sürgősen olyan vizsgálati eljárást fejlesszen ki, amely alkalmas a szóban forgó repedés jellegű hiányok megbízható kimutatására és méretük kielégítően pontos meghatározására. A keresendő folytonossági hiányok merőlegesek voltak a tartály belső felületére és a névlegesen 8 mm vastagságú rozsdamentes plattírozás alatt helyezkedtek el. Mélységük legvalószínűbb mérete 6 mm, hosszúságuké kb. 20 mm. Irányítottáguk vagy párhuzamos a szalagplattírozás irányával vagy arra merőleges. A plattírozás felülete esetenként durva, megmunkálás nélküli. A vizsgálati geometria a 2. ábrán látható.



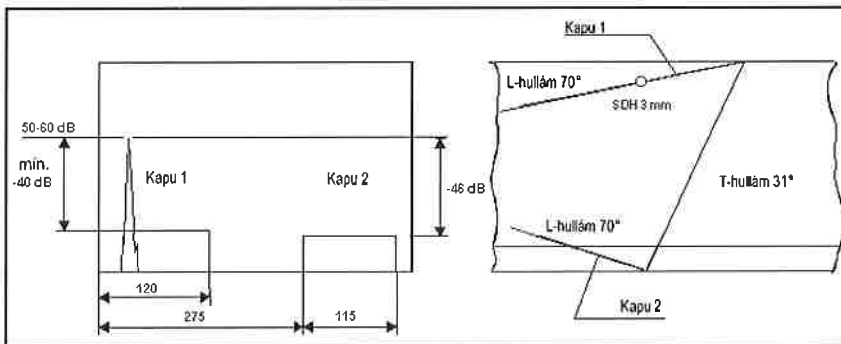
2. ábra. A vizsgálati geometria vázlatja

A vizsgálat fejlesztést végző Intercontrole (Franciaország) cég a szükséges műszaki adatok összegyűjtése után, valamint a vizsgálat célkitűzéseinek (a hibakeresés valószínűsége és a hibaméret meghatározás pontossága) ismeretében UH szimulációs kísérleteket végzett, majd ez után kezdett hozzá modelleken a laboratóriumi vizsgálatokhoz. Végül öt fókuszáló UH vizsgálófejből álló fejcsoportot és az immerziós technika alkalmazását választották. Négy fej az ötből 2,5 MHz frekvenciájú 63°-os szögfej volt, amelyek a vizsgálandó mélységtartományt (a felület alatt 7 mm-től kiindulva egészen 25 mm-ig) két-két egymásra merőleges síkban és ellentétes irányban vizsgálták, az ötödik, merőleges vizsgálófej a plattírozás mélységét volt hivatott mérni. A vizsgálófej csoportot az egyébként használatos manipulátorra szerelték fel.

Az UH adatgyűjtő rendszer A-, B-, C- és D-képek valósidejű megjelenítésére volt képes, a kiértékeléshez a CIVAMIS® szoftvert használták. A repedések jellemzése a repedéscsúcs diffrakcióján alapult (TOFD). A feladatot nehezítette az, hogy egyes tartályok belső felülete megmunkálatlan volt. Ilyenkor megfelelő korrekciókat kellett alkalmazniuk a méréshez. Az eljárást minősítették a hatályos francia időszakos ellenőrzési kód (RSEM, 1997 kiadás) szerint, a kb. 60 beágyazott valószínűségi repedést, valamint 24 elektroeróziós megmunkálással készített hornyot tartalmazó etalon felhasználásával. Az első vizsgálatot 1999-ben a Tricastin atomerőműben hajtották végre és találtak is néhányat a keresett típusú folytonossági hiányból. A valódi repedésmérettel elvégzett szerkezet-integritási ellenőrzés igazolta, hogy ezek a repedések nem terjedőképesek, azaz nem jelentenek elviselhetetlen kockázatot a reaktortartály üzemére nézve.

A Loviisa atomerőmű reaktortartályainak külső UH vizsgálatáról és a vizsgálórendszer minősítéséről számolt be finn szakemberek egy csoportja [2]. A finn nukleáris biztonságtechnikai hatóság 1996-tól megköveteli az időszakos ellenőrzéseknek az Európai Nukleáris Hatóságok közös álláspontja szerinti minősítését. A finn atomerőművet üzemeltetők a vizsgáló cégekkel és a VTT műszaki kutató központtal együttműködve kidolgozták a minősítés rendszerét, ami az európai (ENIQ) módszertant követi. E szerint minden egyes feladathoz egyedi minősítő testületet állítanak fel. A minősítés szigorúsága nem egységes, hanem a vizsgálandó berendezés biztonsági osztályba sorolástól és időszakos ellenőrzésének a szerkezet épségének (integritásának) biztosításában játszott szerepétől függően három különböző fokozatú lehet. A folyamat egyes összetevőire különböző fokozat állapítható meg. A reaktortartály esetében a vizsgálószemélyzet és a vizsgálóberendezés minősítését normál fokozatúnak, a vizsgálóeljárás és a műszaki igazolás minősítését emelt szintűnek, az összevont vizsgálati feladatok közös minősítését pedig a legmagasabb fokozatúnak írták elő. A minősítés terjedelmébe tartozott az övzóna hegesztési varratának tengelyétől mért ±100 mm-ig, valamint a külső felülettől mért 30 mm-ig, illetve a belső felülettől mért 40 mm-ig terjedő tartomány.

A külső illetve a belső felület alatti tartomány vizsgálatára 4–4 UH vizsgálófejből álló, de egymástól eltérő fejcsoportot terveztek. A külső tartomány vizsgálatára ikerkristályos 70°-os TL fejeket alkalmaztak (3. ábra), a belső felület alatti tartomány vizsgálatát 41°-os transzverzális fejekre bízta. Tecnatom (Spanyolország) tervezésű Sumiad III vezérlőegységgel és Masera UH adatgyűjtővel dolgoztak, az elemző vizsgálatokhoz az IzfP (Németország) SAFT készülékét használták.



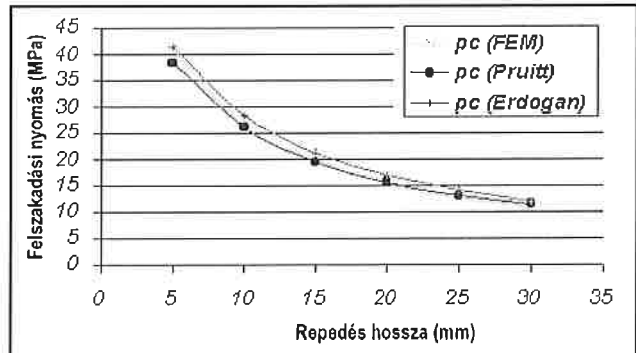
3. ábra. A külső tartomány vizsgálati sémája

A műszaki igazolásban kiemelt helyet foglalt el a vizsgálati körülmények, pl. a tartály falhőmérsékletének a figyelembevétele. Ugyancsak fontos szerepet játszott az ellenőrző testek minősége, különös tekintettel a plattírozás valóságú modellezésére. Az első minősítés legfőbb tapasztalata az volt, hogy szinte minden lépéssel késésben voltak (a megfelelő dokumentáció elkészítésével, a minősítő testület tagjainak kinevezésével, a vizsgálati eljárás, a műszaki igazolás valamint a gyakorlati vizsgálat eredményeinek kiértékelésével). Mindezek ellenére a minősítés sikeres volt.

A WWER típusú atomerőművi gőzfejlesztők hőátadó csöveinek károsodási (más szóval dugózási) kritériumaival foglalkozott Stanic előadása [3]. A gőzfejlesztő hőátadó csövek szerkezeti épségének ellenőrzéséhez ismerni kell az aktív károsodási mechanizmusokat, a keletkezett folytonossági hiány jellemző paramétereit, az örvényáramos vizsgálat bizonytalanságait, valamint a károsodás kinetikáját (a hiány növekedésének a sebességét). A VVER atomerőműveket üzemeltető országok többségében a károsodás (dugózás) kritériumát a hőátadó cső falvastagság-csökkenésének viszonylagos értékével hozzák összefüggésbe, ami a károsodási mechanizmus hiányos ismerete esetén lehet csak elfogadható eljárás.

A meghibásodásokat tartalmazó hőátadó csövek kiértékelése, továbbá az elemző örvényáramos technikák (pl. forgó tekercs) alkalmazása azonban hozzásegíthet az ún. alternatív dugózási kritériumok alkalmazásához. A szerkezet épségét (integritását) elemezhetjük analitikus

úton, kísérleti módszerekkel vagy numerikus (véges elemes) módszer segítségével. Az elemzés során figyelembe kell venni az üzemelés feltételeit is (pl. normál üzem, nyomáspróba vagy üzemzavari állapot). A 4. ábra kristályközi feszültségkorrozíós repedésekre mutatja be példaként a felszakadási nyomás – különböző módszerekkel számított – értékeit. Az egyezés igen jó.



4. ábra. A felszakadási nyomás értékeinek összehasonlítása különböző közelítések esetén

Auszenites acél csőívben lévő hófáradási repedések UH vizsgálatáról francia szerzők számoltak be [4]. A Franciaország legmodernebb reaktortípusával (N4) rendelkező Civaux atomerőmű első egységében, a remanens hőelvonó rendszer egy kb. 250 mm átmérőjű auszenites acél csőívében üzem közben szivárgást fedeztek fel, amit egy, a cső-

falon teljes egészében átmenő repedés okozott. A meghibásodást követő átfogó intézkedések kiterjedtek egyebek között a csővezeték, továbbá a hasonló üzemeltetési paraméterekkel működő más rendszerek csővezetékei nyomvonalának módosítására, hogy a korábban uralkodó és a hófáradási repedések keletkezését és terjedését előidéző komplex termohidraulikai viszonyokat kedvezőbbé tegyék. Ebben a műszaki intézkedés sorban fontos helyet foglalt el egy UH vizsgálati technológia kidolgozása. Ezt a technológiát a hasonló, új csővezetékek üzembe helyezés előtti ellenőrzéséhez és természetesen a későbbi időszakos

vizsgálatok során tervezték használni.

Az UH vizsgálati technológia kidolgozása során jelentős szerepet játszottak a kivágott, repedt csőívben lefolytatott vizsgálatok (roncsolásmentes, majd roncsolásos). Ezek alapján határozták meg a fejtipusokat és a feljegyzési szinteket az üzembe helyezés előtti, valamint az időszakos vizsgálatokhoz. A cső tengelyével párhuzamos illetve arra merőleges irányú letapogatással végzett vizsgálatokhoz 45°-os lehasadó ill. 60°-os, a falvastagságtól és a hanggyengüléstől függően 2,25 és 3,5 MHz frekvenciájú transzverzális fejeket használtak. Az időszakos ellenőrzéshez tervezett rendszert minősítették, ami magában foglalta a műszaki igazolást, az UH vizsgálati technológiát és a gyakorlati vizsgálat programját. A programot a vizsgálat teljesíthetőségének igazolása egészítette ki, ami abból állt, hogy a Chooz és a Civaux N4 atomerőmű csővezetékeiből származó és valóságos repedéseket tartalmazó darabokat végrehajtották az UH vizsgálatokat, majd a darabokat roncsolásos vizsgálatnak vetették alá és a mért hibaméretet összehasonlították a feltárt repedés valóságos méretével. A sikeres minősítést követően a vizsgálatok 2000-ben kezdődtek meg.

Üzleitő a radiológiai témákból

A sugárzásos vizsgálati technikákat (röntgen-, gamma- és neutronradiográfia, valamint tomográfia) használó kutatók 84 publikációt tettek közzé. Ebből mintegy 30 előadás a nagyteremben rendezett radiográfiai

szekcióban hangzott el, további 15 pedig a COST 524 project által szervezett neutron műhely (workshop) ülésen, amelynek magyar vezető elnöke volt. A többi közlemény más tématerületek (repülőtechnikai, nukleáris ipari, anyagtulajdonságok mérése szekció és egyebek) között szerepelt.

A sugárforrások tekintetében nem tapasztaltunk áttörést. Egyedüli újdonságként angol kutatók előadásából [5] tudtuk meg. Kifejlesztették a második generációs ^{75}Se izotópcsaládot. A ^{75}Se sugárforrásokat az előnyeik – a 217 keV átlagenergia, és a 120 napos felezési idő – tették méltó versenytársává az ^{192}Ir -nek. Elterjedésének ütemét kissé lelassította, hogy az elemi Se nagyon mérgező, illékony és korrózív anyag. Az új ^{75}Se Sentinel forrást olyan tartós, megbízható tokozásban forgalmazzák, amelybe $3 \times 3 \text{ mm}^2$ fókusz méretű és 3 TBq (80 Ci) aktivitású sugárforrás is behelyezhető. Fő alkalmazásként az \varnothing 50–85 mm-es acélcövek hegesztési varratainak vizsgálatát jelölték meg, amihez Agfa F6 film és Structurix RCF fluoreszcens fényerősítő felhasználását ajánlották.

A sugárzásos vizsgálati technikák detektor rendszerében, amely magában foglalja a scintillátort és a képmegjelenítő egységet, sok újdonságot ismertettek. Ukrán kutatók [6] olyan kétszintű röntgensugárzást érzékelő rendszert ajánlanak, ahol a 70 keV alatti energiatartományt ZnSe(Te), míg az ez fölötti tartományt CsJ(Tl) scintillátorral észlelik. Ugyancsak ők [7] javasolnak új, félvezető scintillátorokat és scintoelektronikus érzékelőket a különböző energiájú neutronsugárzásokkal végzendő radiográfiai munkákhoz.

Egyre jobban elterjednek a scintillátorral egybe épített, félvezető digitális detektorok, amelyek közvetlenül elektronikusan leolvashatók. Japán [8] és francia [9] kutatók mutatták be ezeket az eszközöket (Flat-panel), amelyeket $30 \times 40 \text{ cm}^2$ -es méretben gyártanak. Az elemi érzékelő felületek (pixel) $127 \mu\text{m}^2$ méretűek és több mint hét millió darab van belőlük a scintillátorhoz illesztve. A kiolvasó elektronika analóg-digitál alakítója 12 bites. A detektálható röntgensugárzás energiatartománya 25 – 450 kV közötti. Azonos képminőség mellett, ha egy D7 filmen 60 másodperc az optimális exponálási idő, ezzel a technikával csupán 2 másodperc. A kiolvasási idő az adatkorrekcióval együtt mindössze 5 másodperc. A törlési idő elhanyagolható. A törlött lemez újra exponálható. Ez az eszköz komoly vetélytársa lehet az imaging plate technikának, bár annak is folyik a továbbfejlesztése, javul a felbontása és csökkenti a képfeldolgozási időket, amint azt az amerikai Fuji cég [10] közleményéből megtudhatjuk. Az elektronikus képalkotó rendszerek további családját alkotják a radioszkópiai összeállítások. Ezek képérzékelői, a nagy érzékenységű (CCD) kamerák, szintén sokat fejlődtek a félvezető technológiák haladására következőkben.

Természetesen a hagyományos filmtéchnika hívei sem télenkedtek. Az Agfa Gevert cég [11] szakembere széles körű áttekintést nyújtott napjaink filmes rendszereiről. Indiai kutatók [12] ugyanezen technika kritikus kérdéseit elemezték.

A nem film alapú alkalmazások oly sokoldalúak, hogy azokat ezen írás keretében nem lehet ismertetni. Csupán egy általános áttekintést tudunk nyújtani és néhány érdekes megoldás felvillantására vállalkozhatunk. Általános tendencia az elektronikus képalkotó rendszerek elterjedése az iparban. Ez nemcsak a fejlett ipari országokra jellemző, hanem például Indonéziában is üzembe helyeztek ilyen rutinminősítő készüléket. A régészek és művészettörténészek is ilyen technikákkal vizsgálják a műtárgyakat, festményeket Olaszországban.

Az elektronikus képérzékelők fejlődése hatalmas lendületet adott a tomográfiai alkalmazásoknak. A sugárzásos technikákkal végzett munkákról számot adó publikációknak majdnem 40%-a foglalkozik a háromdimenziós képek előállításával kapcsolatos kérdésekkel. Átvilágításra egyaránt alkalmazzák a röntgen-, gamma- és neutronsugárzást. A detektorok érzékenységének növekedése az ipar számára is elfogadható (20–30 perc) idejűre csökkentette a tomográfiai felvételek expozíciós idejét.

A különböző roncsolásmentes anyagvizsgálatokkal foglalkozó sza-

kemberek egyre gyakrabban alkalmazzák a különböző vizsgálati technikákat ugyanazon termék sokoldalú elemzésére. Ilyen komplementer mérésről számoltak be angol kutatók [13], akik ultrahanggal, radiográfiával és szerográfiával vizsgálták a repülőgépek bonyolult és sokféle anyagból álló alkatrészeit. A franciák FFresnex projektje [14] pedig arra irányult, hogy a 35 mm falvastagságú csövek nagy megbízhatóságú hegesztéseit egyidejűleg ellenőrizzék radiográfiával és ultrahanggal.

Az európai neutron-radiográfusokat tömörítő COST 524 projekt önálló szekcióban nyújtott áttekintést a szakterületen folyó munkáról. A projekt egyik munkacsoportja felmérést végzett a kontinens neutron-radiográfiai mérőhelyeiről [15]. A szerző megállapítása szerint a Budapest kutatóreaktornál kiépített radiográfiai mérőállomás a világon egyedülállóan tudja megvalósítani a vizsgálandó tárgyak neutron-, gamma-, és röntgensugarakkal való átvilágítását, és a többi standardizációs paraméter tekintetében is a világ élvonalában tartják számon.

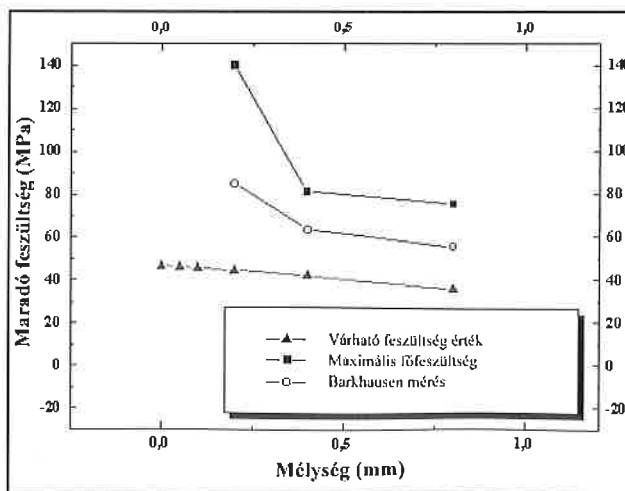
Az európai kutatók érdeklődése fokozatosan a neutrontomográfia felé irányul [16]. Ez a különleges, háromdimenziós képet szolgáltató módszer sok, technikailag érdekes részlet feltárására alkalmas. Magyar kutatók az ipari szabályozástechnika egyik alapvetően fontos eszközét, a termosztátot vizsgálták neutron-radiográfiával, vibrációs diagnosztikával és neutroindiffrakcióval [17], [18]. A kombinált vizsgálatok eredményeként sikerült magyarázatot adni a termosztátok törésére.

Színesítette a radiológiai szekció munkáját a belga és német szakembereknek a harmadik évezred sugárvédelmi kérdéseiről tartott előadása [19] az ISO 3999-1:2000 szabvány ismertetésével. Az új szabvány a gamma sugárforrás tartókkal szembeni követelményekről és a tartók vizsgálatáról rendelkezik. A korszerű tartónak ki kell bírni, hogy 9 m-ről leejtjük, vízszintesen majd függőlegesen rázzák, az elemeit és tartozékait meghatározott feszültségű húzó igénybevételnek teszik ki stb. Sajnos arról nem volt szó, hogy ezeknek a követelményeknek megfelelő tartók mennyivel drágábbak.

A Barkhausen-zaj alkalmazása

A mechanikai feszültség meghatározása

Mivel a Barkhausen-zaj érzékeny a minta feszültségi állapotára, ezért megfelelő hitelesítési eljárás után alkalmas mind a külső, mind a maradó feszültségek meghatározására is, ráadásul a gerjesztő tér frekvenciájának változtatásával a feszültségek különböző mélységekben is meghatározhatóak. Maradó feszültség mérésekor a hitelesítés többféleképpen is történhet, például ismert nagyságú feszültséget adunk a mintára és nézzük a Barkhausen-zaj változását. Ekkor feltételezzük, hogy a maradó feszültségek és a külső feszültségek hatása a Barkhausen-zajra megegyezik. Egy másik hitelesítési módszernél külön-

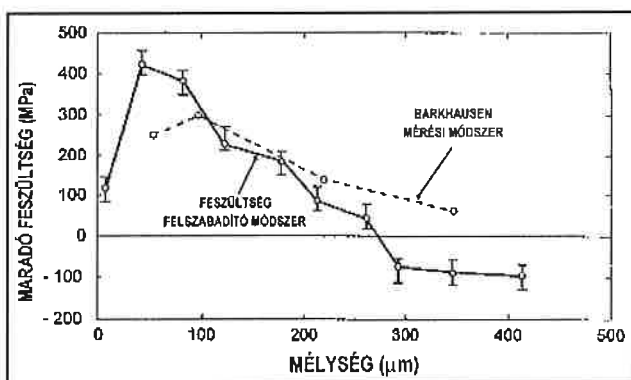


5. ábra. Maradó feszültség meghatározása lyukfúrásos és Barkhausen-módszerrel

böző maradó feszültség állapotú mintákat veszünk és valamilyen más alkalmas módszerrel (például röntgendiffrakció) határozzuk meg a maradó-feszültségek nagyságát. Ebben az esetben fontos; hogy más mikrostrukturális paraméter ne változzon a különböző mintákban.

Az előbbi hitelesítési módszerre egy példa található brazil kutatók munkájában [20]. Ők a mintadarabra különböző nagyságú mechanikai terhelést adtak és mérték a Barkhausen-zaj átlagértékének (RMS érték) változását, valamint nyúlásmérő bélyeg segítségével a tényleges feszültségértékeket. A hitelesítő görbék felvétele után a mintadarabbal megegyező szerkezetű mintákon lehetővé vált a maradó feszültség meghatározása. Itt ellenőrzés képen lyukfúrásos technikával határozták meg a maradó feszültség értékeket. A Barkhausen- és a lyukfúrásos technikával meghatározott maradó feszültség értékek láthatók a 5. ábrán.

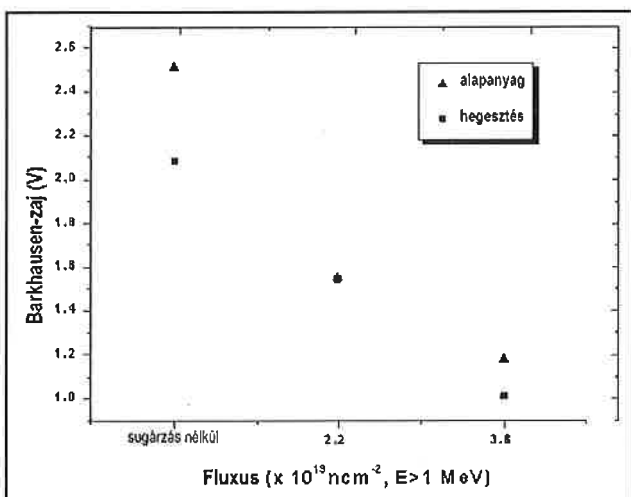
Az említetthez hasonló módszerrel határozták meg szlovén kutatók [21] a C45E jelű acélban hőkezelés után visszamaradó feszültségeket. A mérési eredmények a 6. ábrán láthatók, ahol a Barkhausen-méréseket egy feszültség felszabadító módszerrel ellenőrizték.



6. ábra. Hőkezelés utáni maradó feszültségek meghatározása lyukfúrásos és Barkhausen- módszerrel

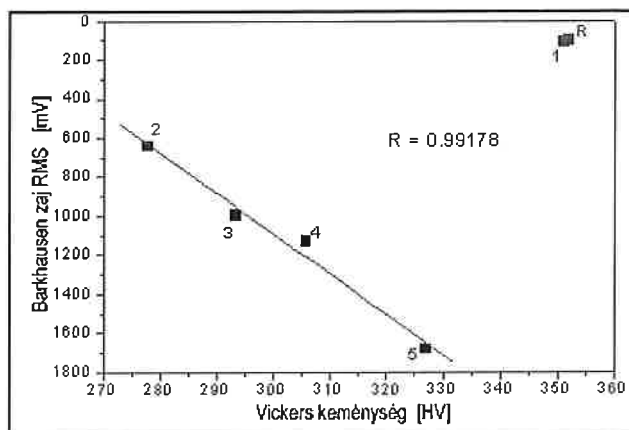
Mikroszerkezeti paraméterek mérése

Reaktorszerkezetek acélmagjában a neutron sugárzás okozta mikroszerkezeti károsodás miatti koercitív-erő-, szuszceptibilitás- és Barkhausen-zaj-változást vizsgálták dél-koreai kutatók [22]. A méréseket hegesztési varratban és attól távolabb végezték. A 7. ábrán látható, hogy növekvő neutron besugárzási fluxusnál a Barkhausen-zaj csökkent.



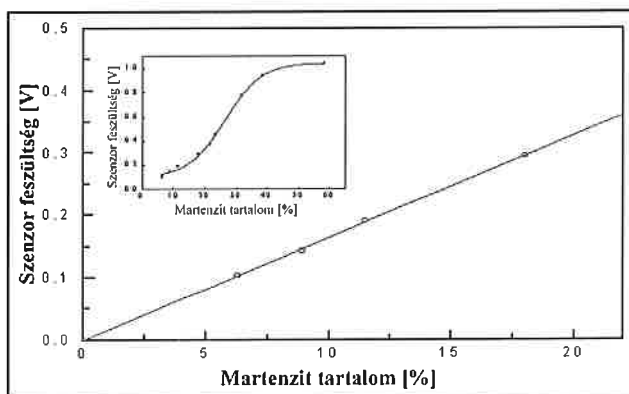
7. ábra. A Barkhausen-zaj különböző neutron besugárzási fluxusok után mérve

A reaktorépítésben használt CrMoV acél és a turbinákhoz alkalmazott NiCoFe ötvözetek termikus öregítésének nyomon követését végezték a Barkhausen-zaj és a relatív permeabilitás méréseivel a Magyarországon végzett kutatásokban [23]. Példaként a Barkhausen-jel és a HV keménység közti összefüggést a 8. ábra szemlélteti. Az eredmények alkalmazásával lehetővé válik, hogy roncsolásmentes vizsgálattal ne csak észlelni tudjuk a hőfáradás hatását az anyagokra, hanem értékelni is.



8. ábra. A Barkhausen-jel és a HV keménység összefüggése termikusan öregített NiCoFe anyagoknál

Az anyagban lévő, eltérő mágneses tulajdonságú szövetek (ferrit, perlit stb.) mennyisége és eloszlása szintén befolyásolja a Barkhausen-zaj jellemzőit. Az acélban lévő martenzit fázis mennyiségének meghatározására látható mérési eredmény a 9. ábrán, amit indiai kutatók határoztak meg [24]. A méréshez használt Magnasense nevű műszert az ausztenites anyagban lévő kis mennyiségű martenzit roncsolásmentes kimutatásához fejlesztették ki. A 9. ábrából kitűnik, hogy a martenzit mennyisége és a szenzor kimeneti feszültsége között szigmoid típusú függvénykapcsolat van, amely 20% martenzit alatt jó közelítéssel lineáris.



9. ábra. A szenzor kimeneti feszültsége a martenzit mennyiségének a függvényében

A vasúti sínek futófelületében a mechanikai terhelés hatására bekövetkező szemcseméret változás megfigyelésére történtek vizsgálatok hazánkban [25]. Először golyósmalomban modellezték a valódi mechanikai terhelés hatását, és röntgendiffrakciós módszerrel határozták meg a kialakult átlagos szemcseméretet. Az így ellenőrzött körülmények között fel lehetett venni a Barkhausen-zaj-szemcseméret kalibrációs görbét. A mérőszorozat második felében valódi használatban lévő vasúti sín felületén vizsgálták a Barkhausen-zaj változását a használati idő előrehaladtával. A kétféle mérési eredmény között jó korrelációt találtak.

Egyéb témák

Az 1. ábra x tengelyén előkelő helyen szerepel az egyéb módszer. Ide soroltuk nemcsak a ma még különleges vizsgálati technikákat, hanem azokat az előadásokat is, melyek nem kötődnek egyik módszerhez sem.

A roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának elemzése is az egyéb csoportba tartozik. Két szekció is foglalkozott ezzel a témával. A megbízhatóság és validálás szekcióban 14 előadás, a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságát tárgyaló speciális szekcióban (a 3. amerikai-európai workshop) pedig 9 előadás témája volt a megbízhatóság. Az itt elhangzott előadás [26] összefoglalta az eddigi eredményeket. Többek között beszámolt arról, hogy mi módon sikerült definiálni a megbízhatóság fogalmát és meghatározni tömör képletbe foglalva a befolyásoló tényezőket. Ezek szerint a roncsolásmentes vizsgálatok értékelésének megbízhatósága annak a foka, ahogy egy vizsgálorendszer képes elérni a célját, tekintettel az észlelésre, jellemzésre és a tévedésekre. Ebben a definícióban a jellemzés alatt a hiány méretének, helyének, irányának, típusának és a közeli szomszédainak meghatározását értjük.

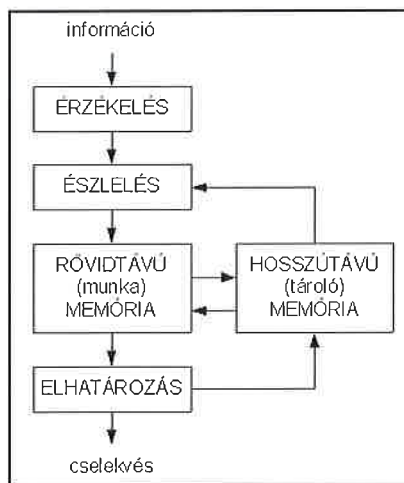
A megbízhatóság függ a vizsgálatnál alkalmazott paraméterektől (AP) és az emberi tényezőtől (ET). Matematikai függvénybe össze-foglalva a megbízhatóság (R):

$$R = f(AP, ET)$$

Természetesen a képletben szereplő f függvény matematikai leírása nagyon bonyolult lenne, és jelen tudásunk szerint nem ismert.

A képletben az alkalmazott paraméterek (AP) fogalom alatt értjük a vizsgált anyag állapotát, a folytonossági hiányokat, a vizsgálati utasítást és vizsgáloberendezést leíró jellemzőket, melyeknek hatásuk van arra, hogy a vizsgálorendszer képes megfelelni a kitűzött célnak. Ebben a fogalomkörben az emberi tényező (ET) a vizsgálo személy mentális és pszichikai állapotát, képzettségét és tapasztalatát jelenti, beleértve azokat a körülményeket is, melyek a berendezések kitűzött célnak megfelelő működésében befolyásolják.

A workshop szekcióban két előadás is foglalkozott az emberi tényezővel. Az EPRI (Electric Power Research Institute, USA) kutatói előadásukban [27] számba vették az emberi tulajdonságokat is és az agyban végbemenő folyamatokat, hogy megértsék, mi befolyásolja a vizsgálok teljesítményét.



10. ábra. Az emberi információ-feldolgozás elemei

kapcsolat van a megbízhatósági képlet első tagja, az alkalmazott paraméterek és az emberi tényező között is.

A cikk végső megállapítása, hogy senki sem fog teljesen megbízható eredményt adni a roncsolásmentes értékeléseknél, de törekedni kell az emberi tulajdonságok és az emberben lejátszódó folyamatok megértésére, hogy minél megbízhatóbbak legyenek a vizsgálati eredmények.

A humán tényező vizsgálatáról szóló előadások közül a másodikban magyar és német kutatók számoltak be a Magyarországon és Horvátországban folyó radiológiai filmértékelés körvizsgálatának jelenlegi állásáról. [28] A vizsgálat eddigi eredményei alapján is látható, hogy ezen a szűk, jól meghatározható területen sem lehet a vizsgálatot végző személytől teljesen megbízható értékelést elvárni.

Hivatkozások

- [1] L. Hernandez, J.C. Barbant, P.J. Bastin, T. Pasquier: Characterization of Crack-Like Sub-Surface Defect Located in Nuclear Reactor Core Region 15th WCNDT CD-ROM; idn 413
- [2] R. Paussu, J. Pitkanen, B. Elsing, P. Sarkiniemi, H. Jeskanen: Ultrasonic Inspection of Reactor Pressure Vessel from Outside Surface, Qualification and Assessment of Inspection at Loviisa NPP 15th WCNDT CD-ROM; idn 631
- [3] D. Stanic: Determination of Acceptance Criteria for VVER Steam Generator Tubes Based on Application of Advanced Eddy Current Techniques 15th WCNDT CD-ROM; idn 420
- [4] Y. Bouveret, J.M. Tchilian, G. Theron, O. deVareilles: Detection of Thermal Fatigue Cracks in Stainless Steel Pipe: Application to the Inspection of RHRS Line of Type N4 PWR Reactor 15th WCNDT CD-ROM; idn 416
- [5] M. Shilton: Advanced, Second Generation Selenium-75 Gamma Radiograph 15th WCNDT CD-ROM; idn 655
- [6] V.D. Ryzhikov, N.G. Starzhinskiy, L. Gal'shinetskiy, D.N. Kozin; V.P. Sochin, V.M. Swishch, A.D. Opolonin: Scintillator-photodiode detecting system for two-level X-ray inspection systems 15th WCNDT CD-ROM; idn 554
- [7] V. Ryzhikov; V. Chernikov, L. Nagornaya, N. Starzhinskiy, E. Lisetskaya, E. Danshin: Oxide and Semiconductor Scintillators in Scintilelectronic Detectors for Detection of Neutrons 15th WCNDT CD-ROM; idn 552
- [8] Y. Ikeda, Y. Mizuta, Y. Kinoshita: Radiography Testing with Flat Panel Type Image Detector 15th WCNDT CD-ROM; idn 382
- [9] J.M. Casagrande, A. Koch, B. Munier, P. De Groot-Thomson: High Resolution Digital Flat-Panel X-Ray Detector- Performance and NDT Applications 15th WCNDT CD-ROM; idn 615
- [10] Morro F.: Computed Radiography: The Future of Radiographic Inspection 15th WCNDT CD-ROM; idn 056
- [11] Bart J.L.H. Vaessen: Review of Film System Technology – State of the Art 15th WCNDT CD-ROM; idn 689
- [12] Singh R.P., E. Madhav Rao, T. Singh: Crucial Factor Affecting Film Radiography 15th WCNDT CD-ROM; idn 071
- [13] B.J. Matuszewski, Lik-Kwan Shark, Martin R. Varley, J. Smith: Region-based wavelet fusion of ultrasonic, radiographic and shearo-graphic non-destructive testing images 15th WCNDT CD-ROM; idn 263
- [14] O. Dupuis, V. Kafandjian, S. Drake, A. Hansen, J.M. Casagrande: Ffreshex: A combined System for Ultrasonic and X-Ray Inspection of welds 15th WCNDT CD-ROM; idn 286
- [15] E. Lehmann: Facilities for Neutron Radiography in Europe: Performance, Applications and future Use 15th WCNDT CD-ROM; idn 801
- [16] E. Lehmann, P. Vontobel, B. Schillinger, T. Bücherl, S. Baechler, J. Jolie, W. Treimer, R. Rosa, P. Chirco, G. Bayon, S. Legoupi, S. Körner, H. Böck, V. Micherov, M. Balasko, A. Kuba: Status and Prospects of neutron tomography in Europe 15th WCNDT CD-ROM; idn 804
- [17] M. Balaskó, G. Endrőczy, E. Sváb: Thermostats studied by dynamic neutron radiography and vibration diagnostics 15th WCNDT CD-ROM; idn 171
- [18] E. Sváb, Gy. Mészáros, M. Balaskó: Neutron Scattering Study of Temperature Controller Membranes 15th WCNDT CD-ROM; idn 098
- [19] C. Laduron, V. Vander, V. Meurisse, R. Grimm, K. Weinlich: ISO 3999 (2000) – Radiation Protection Apparatus for Industrial Gamma Radiography in Transition to the 3rd Millennium 15th WCNDT CD-ROM; idn 712
- [20] S. F. Silva Jr, T. R. Mansur, E. S. Palma: Determining Residual Stresses in Ferromagnetic Materials by Barkhausen Noise Measurement 15th WCNDT CD-ROM; idn 478
- [21] J. Grum, P. Zerovnik, D. Feler: Use of Barkhausen effect in Measurement of Residual Stresses in Steel after Heat Treatment and Grinding 15th WCNDT CD-ROM; idn 780
- [22] K.O. Chang, S.H. Chi, B.C. Kim, S. L. Lee and C. M. Sim: Neutron fluence effects on the magnetic parameter changes in SA508 Cl.3 forging and weld 15th WCNDT CD-ROM; idn 129
- [23] S. Pirlo, F. Gillemot: NDT Characterisation of Thermal Ageing by Barkhausen Signal Analysis 15th WCNDT CD-ROM; idn 548
- [24] A. Mitra, S. Palit Sagar, P.K. De, D. K. Bhattacharya: Evaluation of Magnetic Phases in Cold Worked and Weldments of AISI 304 Stainless Steel 15th WCNDT CD-ROM; idn 345
- [25] N. Takacs, D.L. Beke, L. Harasztosi, Gy. Posgay, P. Molnar: Comparison Between the Magnetic Properties of Ball Milled Nanocrystalline Ferritic Steel and the Running Surface of Rails in High Speed Railway Tracks 15th WCNDT CD-ROM; idn 244
- [26] Christina Müller (Nockemann), Matt Golis, Tom Taylor, Basic Ideas of the American-European Workshops 1997 in Berlin and 1999 in Boulder 15th WCNDT CD-ROM; idn 733
- [27] Henry M. Stephens, Jr.: NDE Reliability - Human Factors - Basic Considerations 15th WCNDT CD-ROM; idn 736
- [28] F. Fücsök, C. Müller (Nockemann), M. Scharmach: Human Factors: The NDE Reliability of Routine Radiographic Film Evaluation 15th WCNDT CD-ROM; idn 740