

A roncsolásmentes vizsgálatok szerepe a szerkezetek biztonságának megítélésében*

Trampus Péter**

Kulcsszavak: szemléletváltás: NDT/NDE, folytonossági hiány/hiba, szerkezeti integritás/megbízhatóság/biztonság
Keywords: shift in attitude: NDT/NDE, hiatus/defect, structural integrity/reliability/safety

A roncsolásmentes vizsgálatokról általában

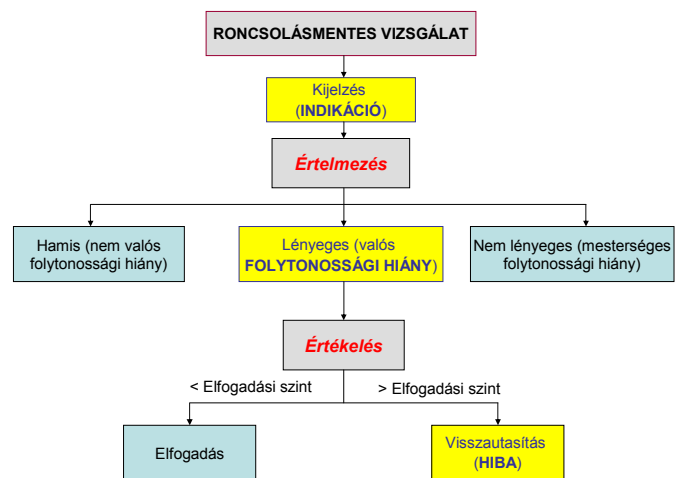
A roncsolásmentes vizsgálat műszaki eljárások kifejlesztése és alkalmazása berendezések anyagának a vizsgálatára oly módon, hogy a vizsgálat végrehajtása ne akadályozza a berendezés későbbi felhasználását és üzemeltethetőségét. A roncsolásmentes vizsgálatok célja elsősorban, és különös tekintettel a törésmechanikával való kapcsolatára, az anyagfolytonossági hiányok és egyéb anyagszerkezeti inhomogenitások detektálása, azok helyzetének és méretének meghatározása, valamint a hiányok értékelése a berendezés integritásának az elemzéséhez.

A roncsolásmentes vizsgálat elnevezés hagyományos angol változata *Non-Destructive Testing (NDT)*, de ezt egyre inkább felváltja a *Non-Destructive Evaluation (NDE)* forma. A két elnevezés közötti különbség lényege abban áll, hogy az NDT esetében a folyamat „terméke” a detektált folytonossági hiány (annak helyével, méretével és egyéb tulajdonságaival jellemezve), és a továbbiakról az elfogadási szinteket tartalmazó szabvány vagy egyéb ismeretek (pl. törésmechanikai tudás) alapján a tervező dönt. Ezzel szemben, ha NDE-ről beszélünk, akkor ezzel azt fejezzük ki, hogy az elfogadás (visszautasítás) is részévé vált a roncsolásmentes vizsgálati folyamatnak.

Az NDE koncepció alkalmazása szükségessé teszi a „hiba” fogalmának a pontos meghatározását. A roncsolásmentes vizsgálat folyamán a vizsgálat először *értelmezi* az indikációt, azaz a folytonossági hiányról származó, az alkalmazott roncsolásmentes vizsgálatra jellemző formájú kijelzést. Ennek eredményeként eldönti, hogy a vizsgálat szempontjából lényeges-e az indikáció, valamint hogy nem hamis indikációról van-e szó. Miután a vizsgálat megállapította, hogy valós folytonossági hiányról van szó, elvégzi annak az *értékelését*.

Az értékelés során a hiány valamilyen jellemzőjét vagy tényleges méretét hasonlítják össze a megfelelő szabvány vagy előírás elfogadási (átvételi) szintjével. Azt a folytonossági hiányt nevezzük hibának, amelyik nem felel meg az elfogadási (átvételi) szintnek. A folyamatot és annak logikáját az **1. ábra**

mutatja be. Hiba esetén további intézkedés szükséges, ami lehet a berendezés javítása, cseréje, egyedi szilárdsági vagy törésmechanikai elemzés végrehajtása stb.



1. ábra. A folytonossági hiány és a hiba megkülönböztetése

Fig. 1: Distinction of the hiatus and the defect

Meg kell különböztetni egymástól a termék megfelelőségének tanúsítására szolgáló (a minőség-ellenőrzés kategóriájába tartozó), és az üzemelő berendezések üzemeltetésre való alkalmasságának eldöntését szolgáló (az üzemeltetés közbeni időszakos) roncsolásmentes vizsgálatokat. Az alkalmazott vizsgálati eljárások mindkét esetben azonosak ugyan, de a vizsgálat személy gondolkodásmódjában, felkészültségében, az adat szolgáltatásban, a kommunikációs készségben jelentősen eltér egymástól a két terület. A termék megfelelőséget tanúsító vizsgálatokkal szembeni elvárás az előírt követelményeknek való megfelelés, vagy meg nem felelés eldöntése. A vizsgálatok során megelégszünk az eltéréseknek „analóg” jelek formájában történő kifejezésével és értékelésével, mivel a követelmények is ilyen módon vannak megfogalmazva. Kivételt képez a látható felület szemrevételezéses vizsgálata, ahol mód van a folytonossági hiányok tényleges méretének a megadására.

Ultrahangos vizsgálat esetében a követelményt egy mesterséges reflektor méretével adják meg (vonat-

*A IX. Országos Törésmechanikai Szemináriumon 2006. október 16-án, Miskolctapolcán elhangzott előadás szerkesztett változata
 **Dr.; a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség elnöke, marovisz@marovisz.hu

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

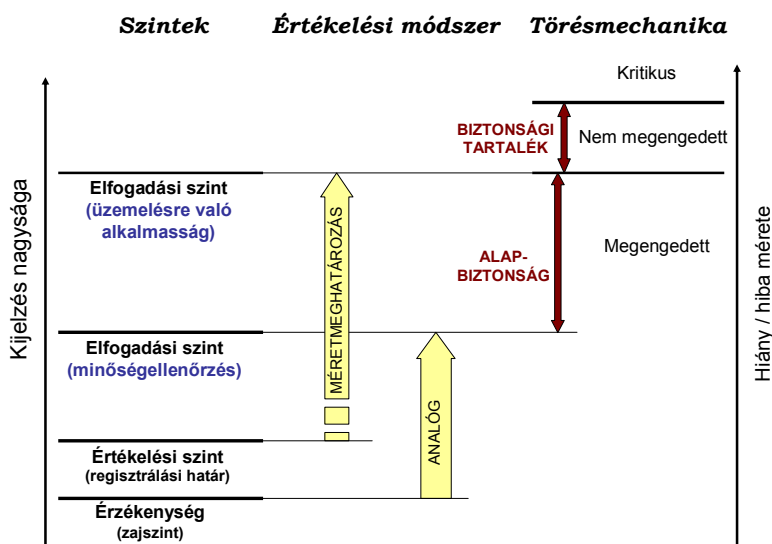
Non-destructive material testing

koztatási reflektor). A vizsgálat során a hiányról érkező jelet összehasonlítják a mesterséges reflektorról érkező jellel. Az összehasonlítás (az analóg kapcsolat) szoros-

sága attól függ, hogy a folytonossági hiány, mint reflektáló felület minősége mennyiben különbözik a mesterséges reflektorétól. A hiány típusára a reflektált jelek alakja alapján lehet következtetni. A termék megfelelőségének ellenőrzésekor az értékelési szint (regisztrálási határ) értéke függ a vizsgálati módszertől. Folyadékbehatolásos, illetve mágnesezhető poros vizsgálat esetében az értékelési szintet a behatoló folyadék szemcseszerkezete, illetve a mágnesezhető por szemcsemérete adja meg, amit ellenőrizni kell. Radiográfiai vizsgálat esetében az értékelési szint megválasztható a röntgen film érzékenységének a megválasztásával, ultrahangos és örvényáramos vizsgálat esetén pedig önkényesen beállítható. A megengedett eltérés (folytonossági hiány), azaz az elfogadási (átvételi) szint értékét a termék jelentőségének és a roncsolásmentes vizsgálati eljárás érzékenységének a függvényében határozzák meg. Az értékelési és az elfogadási szint közötti különbséget úgy kell megválasztani, hogy az ne vezessen indokolatlanul sok (zavaró) jel regisztrálásához, illetve elég nagy legyen ahhoz, hogy az elfogadási szinthez közel eső jelet regisztrálni lehessen.

Az üzemelő szerkezetek állapotellenőrzésekor, a maradó élettartamuk meghatározásakor, vagy az élettartam gazdálkodásuk során az egyik legfontosabb bemenő adat az értékelés időpontjában a szerkezetben található folytonossági hiányok (befoglaló) mérete és pozíciója. A szerkezet tervezésekor, figye-

lembe véve a törésmechanika összefüggéseit, feltételeznek egy kedvezőtlen elhelyezkedésű hibát, ami lehet például a felületről kiinduló, a falvastagság 25 %-ával egyező mélységű, fél ellipszis alakú repedés. A roncsolásmentes vizsgálati rendszer minősítése (lásd később részletesebben) lehetővé teszi a feltételezett hiba méretének a csökkentését, ami egyúttal a berendezés súlyát és így a gyártási költségét is csökkenti. A feltételezett hiba mérete és a regisztrálási határ közötti tartomány általában két területre osztható. A regisztrálási határhoz közel eső tartományban megengedik az „analóg” jelek értékelését, a termék megfelelőség ellenőrzéséhez hasonlóan. A második tartományban meg kell határozni a hibák befoglaló méretét, majd össze kell hasonlítani a törésmechanikai számítással meghatározott hibaméret jellemzőkkel. Amennyiben a hiány mérete meghaladja a törésmechanikai jellemzőket (hiba!), akkor egyedi törésmechanikai számítással kell dönteni a további üzemeltethetőségről. Az előzőekben leírtakat a 2. ábra szemlélteti. A felvázolt gondolatmenet jól kifejezi a roncsolásmentes vizsgálat és a törésmechanika kétirányú kapcsolatát. Egyrészt a törésmechanika segítségével határozhatók meg a detektálendő folytonossági hiányok küszöbértékei, valamint az elfogadási szintek, másrészt a roncsolásmentes vizsgálat szolgálhatja a hiányok tényleges méreteit a további törésmechanikai számítások elvégzéséhez, és ezzel a mindenkor aktuális biztonsági tartalék értékeléséhez



2. ábra. Roncsolásmentes vizsgálat értékelése és a törésmechanika kapcsolata

Fig. 2: Connection between the NDT evaluation and the fracture mechanics

Szerkezeti integritás/megbízhatóság/biztonság

A mérnöki szerkezetek szerkezeti integritásának elemzése a teherhordó rész szilárdságának illetve töréssel szembeni ellenállásának az elemzését jelenti.

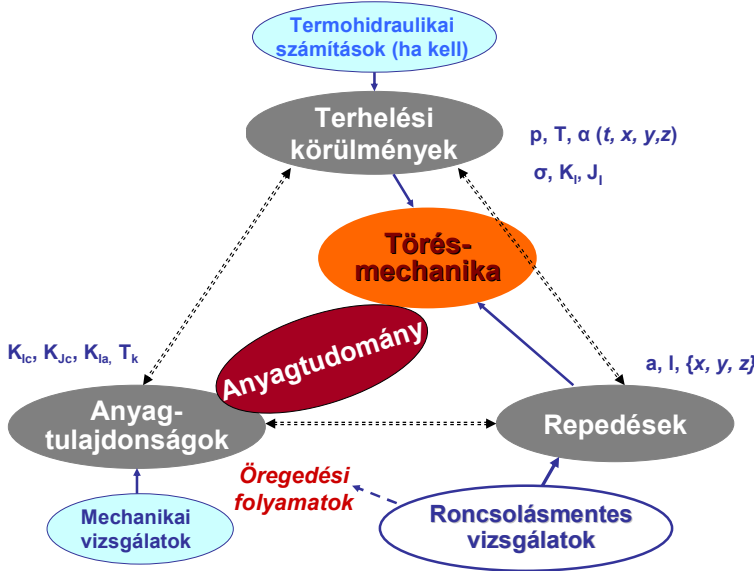
Ismert, hogy a szívós törés létrejöttének energiaszükséglete nagyobb, mint amennyi energiát a rideg törés felemészti, ezért a berendezések szerkezeti integritásának elemzése során alapvetően a rideg töréssel szembeni ellenállásra kell koncentrálni. Az elemzés eszköze ennek megfelelően a törésmechanika, a mér-

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

tékaadó anyagjellemző a törési szívósság, amelynek meghatározásához az anyagtudomány szolgáltatja az adatokat. Az összefüggéseket a 3. ábra mutatja. Az

ábra utal azokra a vizsgálatokra és számításokra is, amelyek a kiinduló adatokat szolgáltatják a törésmechanikai elemzéshez.

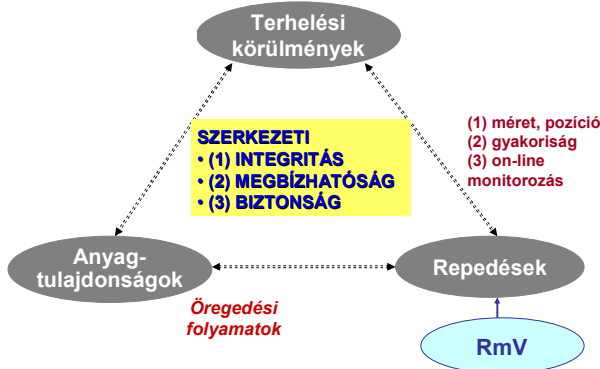


3. ábra. A törésmechanika és az anyagtudomány szerepe a szerkezeti integritás elemzésében

Fig. 3: Roll of the fracture mechanics and the material science in the analysis of structural integrity

A 3. ábrán bemutatott összefüggések nemcsak a determinisztikus gondolkodásmódot tükröző szerkezeti integritás modell szemléltetésére alkalmasak. Amennyiben a szerkezeti „integritás” helyett a szerkezeti „megbízhatóság” fogalomkörben gondolkodunk, akkor a roncsolásmentes vizsgálatoknak a repedésméret és –pozíció értékek helyett egy adott anyagterületben található repedések méret és elhelyezkedés szerinti eloszlásának a függvényeit kell szolgáltatniuk. Természetesen ebben az esetben valószínűségi törésmechanikai összefüggésekkel, illetve az anyagjellemzők eloszlásfüggvényeivel lehet eljutni a szerkezeti megbízhatóság értékeléséhez. Ennél is tovább megy az a koncepció, amelynek értelmében bevezetik a szerkezeti „biztonság” fogalmát [1]. Erről akkor beszélhetünk, ha online információt tudunk szolgáltatni a folytonossági hiányok kifejlődésének és/vagy a szerkezeti anyag károsodá-

sának a folyamatáról (Structural Health Monitoring). A szerkezeti „integritás” a múlt és a jelen, a szerkezeti „megbízhatóság” a jelen és a jövő, a szerkezeti „biztonság” pedig egyértelműen a jövő koncepcióját tükrözi. Ezt az evolúciót mutatja a 4. ábra.



4. ábra. A szerkezeti integritás, megbízhatóság és biztonság modellje

Fig. 4: Model for the structural integrity the reliability and the safety

A roncsolásmentes vizsgálatok helyzete

Világméretű és tárgyilagos helyzetelemzéshez – egyebek mellett – az elmúlt években a témakörrel foglalkozó jelentős konferenciákon elhangzott előadásokat, és az azokban felfedezhető tendenciákat vettük

alapul, pl. [2-7]. Szem előtt tartva a törésmechanika szempontjait, a következő általános jegyeket fedeztük fel:

Az üzemeltetés közbeni vizsgálatok jelentőségének növekedése

Az üzemeltetés időszakában végzett roncsolásmentes vizsgálatok célja a berendezések

további üzemeltetésre való alkalmasságának (vagy esetleges javításának vagy cseréjének) az eldöntése.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

Az elmúlt évtizedekben e vizsgálatok jelentőségének a határozott növekedése figyelhető meg. A növekedés két szempontból is figyelemre méltó. Egyrészt nagyobb hangsúlyt kapnak ezek a vizsgálatok a minőség-ellenőrzés típusú vizsgálatokhoz képest, mint néhány évtizeddel ezelőtt. Ez a nagy ipari létesítmények fokozatos öregedésével, a szisztematikus élettartam gazdálkodás térnyerésével (önálló diszciplínává válásával), a berendezések öregedéskézelésének a bevezetésével, az üzemidő hosszabbítással, tehát az üzemelő berendezések (erőművek, egyéb értékes létesítmények) szerepének a felértékelődésével magya-

rázható. Mindezek mögött a folyamatok mögött egyrészt a biztonság és a gazdaságosság céljainak integrálódása (beleértve a hatósági követelmények szigorodását) és egy nemzetközi léptékű gazdasági verseny (piac liberalizáció) kényszerítő követelményei húzódnak meg. Másrészt hozzájárulnak az üzemelő berendezéseken végrehajtott vizsgálatok erősödő szerepéhez a világban zajló, és az általános biztonságot fenyegető jelenségek, és ezek eredményeként egy biztonságközpontú gondolkodásmód fokozatos térnyerése.

A roncsolásmentes vizsgálatok hatékonyságának növekedése

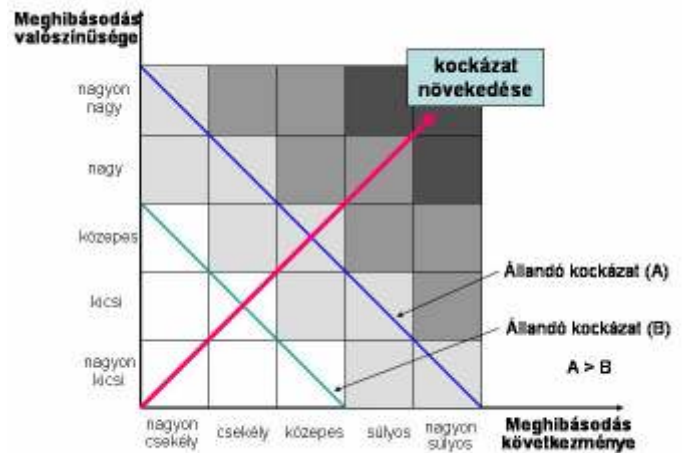
Igen mélyreható az a fejlődés, ami a roncsolásmentes vizsgálatok hatékonyságának és megbízhatóságának a terén zajlik. Korábban a minden részletre kiterjedő előírások, szabványok képezték a vizsgálatok alapját: a vizsgálandó berendezéseket merev biztonsági osztályokba sorolták, egységes vizsgálati ciklusidőket határoztak meg, és szabványokban rögzítettek magának a vizsgálatok végrehajtásának a paramétereit. Nyilvánvalóvá vált azonban, hogy bizonyos folytonossági hiányokat csak véletlenül észleltek meg, a vizsgálati érzékenységek esetenként alacsonynak bizonyult, az alkalmazott technika bizonyos károsodások felderítéséhez nem volt megfelelő, a vizsgálati ciklusidő hosszú volt vagy a vizsgálatok jelentős részét a berendezések olyan részein hajtották végre, ahol nem fordult elő károsodás. Ennek eredményeként a vizsgálati filozófia a részletes szabályozás területéről olyan irányba mozdult el, ahol a hangsúly a potenciális károsodásnak kitett területekre került, megjelent a „kockázat” fogalom, mint egy eszköz, továbbá megkövetelték a vizsgálatok teljesítőkétségének az igazolását. Ezek a folyamatok a kockázati szempontokat figyelembe vevő vizsgálati programok kidolgozásához és a roncsolásmentes vizsgálati rendszerek minősítésének a bevezetéséhez vezettek.

Kockázat (*Risk*, *R*) alatt – általános értelemben – az alábbi három csoport halmazát értjük:

$$R = \langle E_i, P_i, K_i \rangle, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ahol E_i az i -ik esemény, P_i az i -edik esemény bekövetkezésének valószínűsége és K_i az i -edik esemény következménye. A roncsolásmentes vizsgálatok tekintetében a kockázatot – összevonva a hármas első két tagját – a meghibásodás bekövetkezése valószínűségének és a berendezés meghibásodás következményének a szorzatával szokták kifejezni. A kockázat grafikus ábrázolásának több módja van. Szemléletes a kockázati térkép (mátrix), ami fél-quantitatív módon ábrázolja, illetve rangsorolja az eseteket kvalitatív skálák (pl. kicsi – közepes – nagy, illetve csekély

– közepes – súlyos) vagy az azokkal összhangba hozható tágabb valószínűségi kategóriák (pl. 10^{-4} – 10^{-3}) használatával. Ilyen kockázati térképet mutat be az 5. ábra.



5. ábra. Kockázati térkép
Fig. 5: Map of the risk

Mivel a kockázatot a tengelyekre írt paraméterek szorzataként definiálják, a kettős logaritmusos léptékű ábrázolásban a 45°-os egyenesek az állandó kockázat vonalai, amelyek világosan elválasztják egymástól a különböző kockázatú területeket. Ha csökkenteni kívánjuk a kockázatot, amire elsősorban a meghibásodás bekövetkezése valószínűségének a csökkentése útján van esély, a roncsolásmentes vizsgálatok ugyanis erre vannak hatással, akkor a vizsgálandó rendszer vagy berendezés azon tartományaira kell koncentrálni, ahol a meghibásodást kiváltó károsodási folyamatok a legnagyobb valószínűséggel fordulnak elő. A megkövetelt kockázat elérése érdekében a rendelkezésre álló vizsgálati ráfordítások átcsoportosíthatók vagy – szükség esetén – pótlólagos vizsgálatok is alkalmazhatók. A kockázatnak a megjelenésével az időszakos roncsolásmentes vizsgálatok

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

definíciója is átfogalmazható. Azt mondhatjuk, hogy a vizsgálatok célja a nagy kockázatú berendezések (berendezésrészek) megtalálása, a kockázat értékelése, valamint a vizsgálatok elvégzése útján történő csökkentése.

A roncsolásmentes vizsgáló rendszer (vizsgáló berendezés, eljárás, vizsgáló személyzet) minősítése egy szisztematikus értékelés annak megbízható igazolására, hogy a vizsgáló rendszer képes a követelményeknek való megfelelésre valós vizsgálati körülmények között. A minősítésnek két, közel egy időben létrejött és sok hasonlóságot felmutató irányzata alakult ki. Az egyik irányzat az amerikai teljesítőképesség igazolás program (*Performance Demonstration Initiative, PDI*) [8], a másik az Európai Vizsgálati és Minősítési Hálózat által kidolgozott módszer (*European Network for Inspection and Qualification, ENIQ*) [9].

Az amerikai és az európai módszer lényege elvileg ugyanaz, de a bizonyítás útja némileg eltér egymástól. A PDI program legfontosabb eleme egy kiterjedt ellenőrző próbatest gyűjtemény, amely mesterséges, valóság-hű és valódi folytonossági hiányokkal ellátva, a hatályban lévő időszakos ellenőrzési prog-

ram (*ASME BPVC Section XI* [10]) legfontosabb vizsgálati helyeit reprezentálja. A vizsgáló rendszer teljesítőképessége megfelelőségének kritériumait szabvány rögzíti. Az ENIQ ezzel szemben a megfelelő minőségű vizsgálat alapkövetelményének a vizsgálat megfelelő műszaki megtervezését és a vizsgálat lebonyolítására vonatkozó részletes eljárást tartja és ezért a koncepció a műszaki bizonyításra helyezi a hangsúlyt. A vizsgáló szervezetnek egy független testület előtt kell igazolnia a vizsgálati követelmények teljesülését a műszaki bizonyításban foglaltak segítségével. A minősítő testület határozza meg (vagy hagyja jóvá a vizsgáló szervezet által javasolt) gyakorlati vizsgák körülményeit. Az ENIQ koncepció legfontosabb sajátossága az, hogy az üzemeltető szervezet előkészítő tevékenysége független magától a vizsgálatról és olyan adatok elemzésére irányul, mint a vizsgálati hely fizikai környezete, a károsodási mechanizmus, a lehetséges meghibásodás, a hiba valószínű orientációja és kritikus mérete, amelyek figyelembe vételével kell a vizsgáló szervezetnek megterveznie a vizsgálatot. Az ENIQ koncepció lényeges dokumentumait mutatja be az 1. táblázat.

Dokumentum	Cél	Készíti
Műszaki követelmények	Kiinduló adatok, vizsgálati célok meghatározása	Üzemeltető szervezet
Vizsgálati technológia	Vizsgálati eljárás ismertetése	Vizsgáló szervezet
Minősítési eljárásrend	Minősítés folyamatának ismertetése	Üzemeltető szervezet, Minősítő testület
Műszaki bizonyítás	Vizsgálat teljesítőképességére vonatkozó műszaki bizonyítékok ismertetése	Üzemeltető szervezet, Vizsgáló szervezet
Minősítési dosszié	Minősítéssel kapcsolatos dokumentumok összegyűjtése	Minősítő testület
Összefoglaló jelentés	Minősítés folyamatának összefoglalása	Minősítő testület

1. táblázat. Az európai vizsgálatminősítési eljárás legfontosabb dokumentumainak jellemzői

Table 1: The more important characteristics of the European test qualification procedure

E két terület, azaz a vizsgáló rendszerek minősítése és a vizsgálati terjedelem kockázati szempontokat figyelembe vevő meghatározása együttesen járul hozzá a berendezések szerkezeti integritása biztosításához alapvető fontosságú adatokat szolgáltató időszakos roncsolásmentes ellenőrzések hatékonyságának növeléséhez. Megszületésük és fejlődésük egymástól függetlenül ment végbe, de felfedezhető a kapcsolat közöttük. Ha végiggondoljuk a minősítés európai irányzatának legfontosabb elemét, nevezetesen azt, hogy az üzemeltető szervezetnek a vizsgálá-

tot megelőzően – és lényegében attól függetlenül – egy műszaki bizonyításban elemeznie kell a lehetséges károsodási mechanizmusokat, az azok eredményeként szóba jöhető meghibásodásokat, az esetleges hiba (repedés) legvalószínűbb irányát, méretét és egyéb tulajdonságait, akkor ebben a követelmény rendszerben nem nehéz felfedezni a kockázatnak a jelenlétét. A vizsgálatot végző szervezet a minősítés folyamán azt fogja igazolni, hogy az alkalmazandó vizsgáló rendszer üzemi körülményeket feltételezve képes lesz-e ezeknek a hibáknak a felderítésére és

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

jellemzésére a megkövetelt megbízhatósággal. Ez az eljárás nem más, mint a kockázat egyik elemének, a hiba előfordulás valószínűségének a közvetett figyelembe vétele.

A vizsgálatminősítés és a kockázati szempontokat figyelembe vevő vizsgálat közös nyelvének megtalálásához járul hozzá a „kvantitatív” roncsolásmentes vizsgálat megjelenése. Kvantitatív roncsolásmentes vizsgálat alatt a hagyományos értelemben vett roncsolásmentes vizsgálat eredményeinek valószínűségi fogalmakkal történő kifejezését értjük. Az alkalmazott legfontosabb fogalom a detektálás valószínűsége (*Probability of Detection, POD*), amit a detektált hibák és az összes hiba hányadosával fejezünk ki, a hibaméret függvényében. A 6. ábra bemutat egy POD görbét és a görbe szórását. Az ábrán a nem-detektált hibák valószínűségét leíró PND (*Probability of Non-detection*) görbe is látható ($PND = 1 - POD$) [11].

Amennyiben a vizsgálatnál szemben támasztott követelmény az, hogy egy a méretű folytonossági hiányt legalább 90% valószínűséggel detektáljanak, és a detektálás konfidencia szintje ne haladja meg a 95%-ot, azaz $\alpha_{90/95}$, akkor a 6. ábra példáján $a = 3$ mm. Miután a POD görbék felvétele költséges, ezért megfelelő matematikai statisztikai módszerek segítségével állítják elő, csekély számú vizsgálati eredményből a görbét.

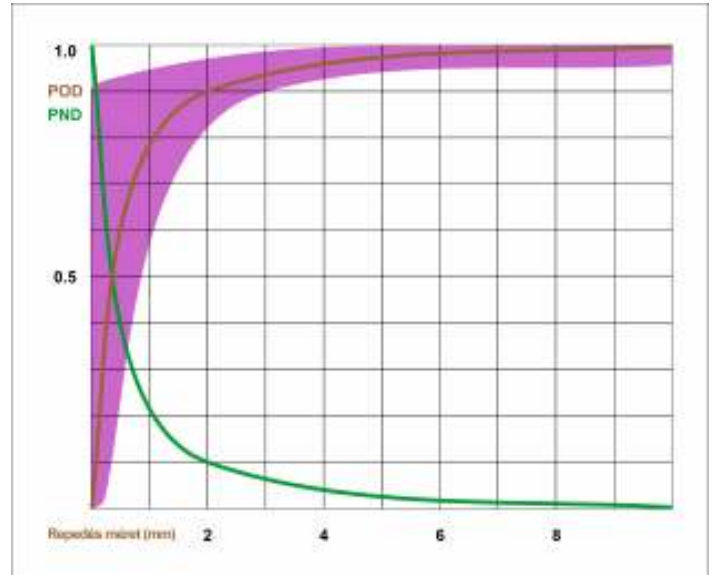
Az információs technológia hatása

Az eddig vázolt fejlődéssel párhuzamosan természetesen számtalan eredményt hozott a roncsolásmentes vizsgálatok területére is az információs technológia rohamos fejlődése. Ez a fejlődés drámai mértékben megnöveli a vizsgálatok teljesítőképességét (adatgyűjtés sebessége, adatgyűjtés és adatátvitel kapacitása, a vizsgálatnál szinte egyidejű értékelés), fokozza az értékelés megbízhatóságát (részletesebb algoritmusok), javítja a helyszíni vizsgálatok feltételeit (vizsgáló készülékek miniaturizálása), és még sorolhatnánk. Ehelyett két példát mutatunk be röviden, amelyek jelentős mértékben növelik a vizsgálat megbízhatóságát és így igen nagy a szerepük a törésmechanika igényeinek a kielégítésében.

Az egyik a vizsgálat interaktív háromdimenziós grafikus szimulációja, pl. [12]. Ultrahangos vizsgálat esetében, például, szimulálni lehet a vizsgálandó darab geometriáját (ezen belül egy varrat makroszerkezetét az eltérő akusztikai tulajdonságú tartományokkal), a folytonossági hiányt (annak tetszőleges méretével, helyzetével és reflexiók tulajdonságaival), a hangnyaláb viselkedését, a letapogatást és természetesen a hiány és a hangnyaláb kölcsönhatását (reflexió, diffrakció). A vizsgálat szimuláció lehetőséget nyújt a vizsgálati technológia megtervezésére

6. ábra. POD és PND görbe a hibaméret függvényében

Fig. 6: The POD and PND curves vs. defect size



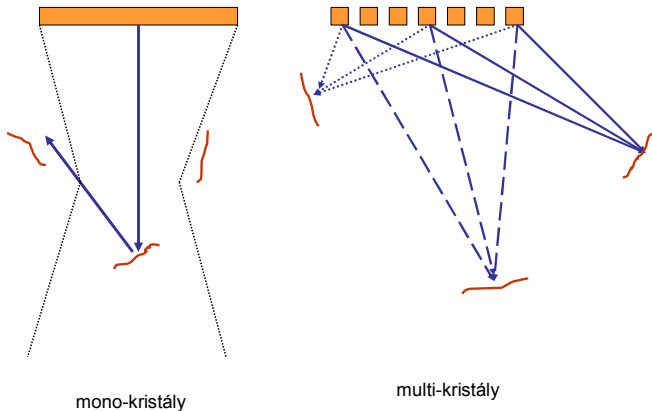
vagy optimalizálására, ami elsősorban bonyolult geometria esetén jelent előnyt. Tetszőleges folytonossági hiányoknak a vizsgálandó berendezés tetszőleges helyére történő elhelyezésével a vizsgálatminősítés egyik fontos eleme – a műszaki bizonyítás – is jobban alátámasztható a szimulációval, és ezzel csökkenthető a próbatest gyártás költségei. Ugyancsak jelentős szerepet kap a szimuláció az indukciók értelmezése során és a személyzet képzésében vagy a gyakorlat felfrissítésében.

Az információs technológia fejlődése tette lehetővé a hagyományos (monokristályos) ultrahangos technika lehetőségeit messze felülmúló fázisvezérelt technika (*Phased Array*) alkalmazását. Megjegyezzük, hogy a magyar nyelven elterjedt elnevezés az eredeti elnevezés által takart technológiai megoldásnak csak az egy részét adja vissza, nevezetesen a hangnyaláb dinamikus vezérlését. A technika másik sajátossága az, hogy a hagyományos monokristályt több önálló rezgő (multikristály) helyettesíti (*Array*), amelyek mindegyike által kibocsátott hangnyalábot önállóan vezérlik (7. ábra).

A fókusz távolság, a fókuszált nyaláb átmérője és szöge dinamikus vezérlése egyrészt a jel/zaj viszony javításával fokozza a vizsgálat érzékenységét,

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing



másrészt a hagyományos hangnyaláb szempontjából kedvezőtlen irányítottaságú repedések kimutatásával növeli a folytonossági hiány kimutatásának a valószínűségét (POD). Ezeknek a vizsgálattechnikai előnyöknek a leegyszerűsített ábrázolását mutatja a 7. ábra. A fázisvezérelt vizsgálat egyre jobban terjed komplex geometriájú darabok vizsgálata területén. A vizsgálati technika flexibilis, a vizsgálat gyors, a vizsgálófejek mechanikailag stabilak [13].

7. ábra. Hagományos és fázisvezérelt ultrahangos vizsgálófej jellemzői

Fig. 7: Characteristics of a commercial and a phased array ultrasonic probe

A roncsolásmentes vizsgálati előírásrendszerek globalizálódása

A roncsolásmentes vizsgálatokkal foglalkozó előírások, szabványok, irányelvek egyre inkább átlépik az országhatárokat, és nemzetközi dimenziókat öltenek, ami a gazdasági és kereskedelmi folyamatok globalizálódásának a kísérő jelenségeként fogható fel. Európai viszonylatban ilyenek az EN, PED, ENIQ szabványok és irányelvek, speciális iparági vagy egyéb szektor szinten az API, az IIW vagy a NADCAP szabványai és előírásai, illetve a nemzetközi szervezetek által kibocsátott dokumentumok, például ISO,

IAEA, IAF. Néhány esetben az egyes nemzetközi szervezetek harmonizációs tevékenysége is megindult. Ez a folyamat nem szorítkozik a roncsolásmentes vizsgálatok területére, hanem világosan felismerhető a szervezetek üzemeltetésre való alkalmasságának megítélésre szolgáló előírásrendszerek, azaz a törésmechanikai alkalmazások terén is. Ez utóbbi szemléletes példája az Európai Bizottság által szponzorált FITNET tematikus hálózat által kidolgozásra került eljárás [14].

Hivatkozások

- [1] Kocak, M.: FITNET Fitness-for-Service Procedure: An Overview. In: *Proc. Int. Conf. FITNET 2006, 17-19 May 2006, Amsterdam, The Netherlands*, X-1603-2006
- [2] Proc. EPRI/Europe Risk-Informed In-Service Inspection Conference. Prague, Czech Republic, 7-9 October 2002
- [3] Proc. Joint EC-IAEA Technical Meeting on Improvements in In-Service Inspection Effectiveness. Petten, The Netherlands, 19-21 November 2002, EUR 20690 EN
- [4] Proc. Third EPRI Phased Array Ultrasound Seminar, 9-11 June 2003, Seattle, Washington, 1008886
- [5] Proc. 5th Int. Conf. NDE in Relation to Structural Integrity of Nuclear and Pressurized Components. San Diego, CA, 8-10 May 2006
- [6] Commission V, NDT and Quality Assurance, Technical Meetings, IIW GA, Quebec, Canada, 28-30 August 2006
- [7] Proc. 9th European Conference on NDT, Berlin, Germany, 26-29 September 2006
- [8] Becker, L.: Appendix VIII and its implementation by PDI. In: *Proc. Joint EC-OECD-IAEA Spec. Meeting "NDE Techniques Capability Demonstration and Inspection Qualification"*, Petten, 1997, EUR 17534 EN, p. 8-18
- [9] European methodology for qualification of non-destructive tests, second issue. EUR 17299 EN, ENIQ, 1997
- [10] ASME Boiler and pressure Vessel Code, Section XI: Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components, ASME, New York, 2001
- [11] Dobmann, G., Cioclov, D., Kurz, J.: The role of probabilistic approaches in NDT defect-detection, -classification and -sizing, IIW/V-1350-06, IIW GA, Quebec, 2006
- [12] Bar-Cohen, Y.: Bookmarking the NDE Capability and Challenges Near the Dawn of the New Millennium. In: *Proc. American Society for NDT Fall Conf.* Phoenix, 1999
- [13] R/D Tech: *Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline*, Quebec, Canada, R/D Tech, 2004
- [14] <http://www.eurofitnet.org/>