



RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK

A

VASÚTI KÖZLEKEDÉS BIZTONSÁGÁÉRT

A lap kiemelt
ipari partnere a
KE-TECH Kft.



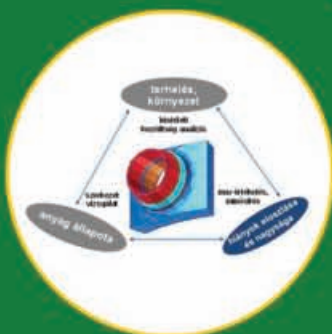
ketech.hu

Roncsolásmentes anyagvizsgáló eszközök forgalmazása,
szervize, kalibrálása, ipari röntgenátvilágítás

Vizsgálattechnika
Akusztikus emissziós
mérések

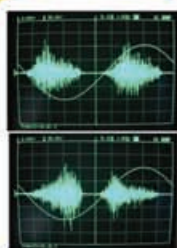


Zsoldos Zsuzsanna
Portré



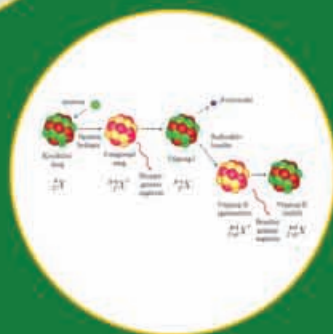
Helyzetkép

Új diszciplína a roncsolás-
mentes vizsgálat bázisán



Vizsgálattechnika

Mágneses Barkhausen-zaj
méréseken alapuló rendszerek



RMV

Anyagvizsgálat
neutron-
besugárzással



ACOUSTIC
CONTROL
SYSTEMS

PenGauge



- Profi, zsebrevágható falvastagságmérő
- Egyszerű, 3-gombos működtetés
- Festékrétegen keresztül is mér
- Bluetooth adatkapcsolat okostelefonhoz
- A-kép funkció az Android alkalmazásban

PenGauge

€ 690,- + ÁFA*

TÉNYLEGES
MÉRET



*Az árváltoztatás jogát fenntartjuk!

Forgalmazás: www.ketech.hu

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség Lapja
MAROVISZ

Az ország vezető szaklapja.
Alapítva: 1991-ben.

Negyedévente elektronikusan megjelenő folyóirat.
Országos, iparágakat átfogó, szakmai folyóirat a
minőségért és biztonságunkért.

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztősége a ki-
adó, a **MAROVISZ**, a Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség címén érhető el:

1191 Budapest, Üllői út 206., B. ép. II. lh.

Tel.: (36-1) 278-0632;

fax: (36-1) 278-0633;

e-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

web: www.anyagvizsgaloklapja.hu
www.avilap.hu

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztőbizottsága:

Dr. Divós Ferenc

† Dr. Gillemot László

Harnisch József

Kecskés Péter

Lutor Attila

Dr. Mertinger Valéria

Skopál István

Szűcs Pál

Zsoldos Zsuzsanna

Dr. Tóth László, felelős szerkesztő

Dr. Trampus Péter, felelős kiadó

Berki Gábor, főszerkesztő

Balogh Bence, digitális szerkesztő



Az elektronikus folyóirat szerver háttérét a

tripladuplav.hu
webstúdió biztosítja.



ISSN: 1215-8410

JEGYZET

A Lapunk előző, 2019/2 számában óvatos optimizmussal harangoztuk be a várható jövőt a következő mondattal: „Úgy tűnik, hogy az újjáéledt folyóirat erősödni kezdett!” Jómagam azonban rögtön hozzá is tettem: „Vagy csupán a Felelős Szerkesztő érzi ezt, mert optimista alkat? Idővel majd elválnak”. És kitört a nyár, miközben készültünk az őszi szám megjelentetésére. Ahhoz, hogy szám elkészüljön két alapvető dologra van szükség: elkészüljenek a beígért cikkek és a technikai előkészítésben érdekelt munkatársak rajtvonalon álljanak a beérkező cikkek azonnali szerkesztésében és a lapszám összeállításában. Ugyancsak nem elhanyagolható „technikai” kérdés, hogy az adott szám finanszírozását elvállaló céggel élő szerződésünk legyen. Miért is? Egyrészt azért, mert a B2, B3 és B4 oldalak (valamint a cikkek közötti szabad hely - döntő része - a finanszírozó szabad hirdetési felülete), másrészt e struktúra indításakor is azt terveztük, hogy a meghatározó cikkek témáit illeszteni kívánjuk a finanszírozó cég profiljához. Mit hozott számunkra 2019 nyara? Az előzetesen beharangozott cikkeknek csupán 50%-a érkezett meg, többnyire határidő után. A lapszám finanszírozója még jelenleg is tárgyalások témája. Miképpen végződnek e tárgyalások? A Tisztelt Olvasó eldöntheti a B2-B4 oldalakra pillantva. A „technikai kivitelezők”-nél és „borultak a nyári tervek”, de a lapszám közben készült is.

Áttérve a szakmai területekre. Az előző számban Sasvári Péter és Kaptay György tollából „Paradigmaváltás a műszaki tudományos értékelésben: egy műszaki oktatói / kutatói életpálya-modell, különböző lehetséges kimenetekkel (avagy Ön docensként, professzorként, vagy akadémikusként akar nyugdíjba menni?)” címmel közölt eszmefuttatás vízbedobott kő volt. Hullámai a Kohászati Lapokban is megjelentek (2019/3. p. 40-42.). A lap központi témája a roncsolásmentes anyagvizsgálat bázisán létrejött új diszciplína az „integritás megítélése, értékelése”, az új vizsgálati technikák, eljárások bemutatása, valamint az egyes iparágak speciális igényeinek megjelenítése. Jelen szám a vasúti közlekedés integritásához kötődik. A szemléletváltozás „dübörgő oktatást” követel meg. A hatékony oktatás a MAROVISZ központi kérdésköre. Üdítő színfolt a PORTRÉ rovat folytatása zsoldos Zsuzsanna bemutatásával. Újból kiváló szakemberünk, Ginsztler János akadémikus lépett a végtelenség mezsgyéjére, nekrológját is jelen számunkban olvashatják.

Dr. Tóth László

TARTALOMJEGYZÉK

HELYZETKÉP - REVIEW

5

Trampus P.: Új diszciplína a roncsolásmentes vizsgálat bázisán

Trampus P.: A new discipline on the basis of NDT

RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATTECHNIKA - NDT TECHNICS

9

Rosta L., Kis Z., Mezei F.: Anyagvizsgálat neutronbesugárzással – új lehetőségek

Rosta L., Kis Z., Mezei F.: Materials testing by neutron irradiation – new possibilities

Marosi Á.: Roncsolásmentes vizsgálatok a vasúti közlekedés biztonságáért

Marosi Á.: Non-destructive testing for the safety of railway transport

Pór G., Geréb J., Zsoldos Zs., Szabó Sz.: A hajdúszoboszlói tartályfelszakítási akusztikus emissziós mérések.

Pór G., Geréb J., Zsoldos Zs., Szabó Sz.: AE measuring during the bursting test of pressure vessels

Harasztosi L., Kovács L., Posgay Gy., Molnár P., Szabó I.: Mágneses Barkhausen-zaj mérésen alapuló mérőrendszerek fejlesztése roncsolásmentes anyagvizsgálati célokra

Harasztosi L., Kovács L., Posgay Gy., Molnár P., Szabó I.: Development of measurement systems for non-destructive testing based on magnetic Barkhausen - noise

PORTRÉ - PORTRAIT

50

Skopál I.: Zsoldos Zsuzsanna bemutatása

Skopál I.: Portrait of Zsoldos Zsuzsanna

HELYZETKÉP - REVIEW

53

Skopál I.: Kerekasztal PLUSZ - Képzés a roncsolásmentes vizsgálat területén

Skopál I.: Round table discussion – Teaching and education in NDT

RENDEZVÉNYEK

56

HÍREK - NEWS

57

Tóth L.: Nekrológ – Ginsztler János

Tóth L.: Obituary – Ginsztler János



SZOLGÁLTATÁSAINK

saját profil szerkesztése,
online adatfeltöltés saját profilba,
online egyszerűsített vizsgára jelentkezés.

MAROVISZ SZEMÉLYTANÚSÍTÓ TESTÜLET

**világszerte elfogadott
TANÚSÍTVÁNY-t**

bocsájt ki



ELŐNYEINK

kedvező vizsgadíj,
rugalmas vizsgaidőpont választás,
Európában elfogadott legkorszerűbb
képzési programra épülő követelmények,
anyagvizsgáló igazolvány kiállítása.

www.szemelytanusitas.hu

Új diszciplína a roncsolásmentes vizsgálat bázisán

Dr. Trampus Péter

Academia NDT International, Brescia, Olaszország

Kivonat

A "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" (NDT Integrity Engineering) a roncsolásmentes vizsgálatokra épül, és ismeretanyaga kiterjed azokra a területekre, amelyek szükségesek a szerkezeti integritás vonatkozású döntések meghozatalához. Legfontosabb területe a járatos roncsolásmentes vizsgálati eljárások fizikai alapja; a károsodás korai detektálásának koncepciója; a Structural Health Monitoring (SHM); az információs technológia és a mikro- és nanoelektronika fejlődésének hatása a roncsolásmentes vizsgálatokra; a vizsgálatok globalizációja stb. Kiterjed továbbá a berendezésekben használat közben ébredő fizikai mezők ismeretére és leírására, és ezek analitikus és numerikus meghatározására. Ebből vezethetők le a berendezésekben ébredő feszültség / alakváltozás állapotok, határozhatók meg a feszültségintenzitási tényezők és egyéb üzemi jellemzők. Ide tartozik még a szerkezeti anyagok tulajdonságainak ismerete; az anyagok "válasza" a terhelésre és környezeti hatásokra, azaz az öregedési folyamatok, mint ridegedés, szívósság veszteség, fáradás, korrózió, kúszás, kopás.

1. Bevezetés

A Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálati Akadémia (Academia NDT International, www.academia-ndt.org) egy évtizeddel ezelőtti alapításakor, az alapítók által megfogalmazott legfontosabb célok a következők voltak:

- a tudomány, a kutatás és fejlesztés elősegítése, a roncsolásmentes vizsgálat (rmv) területén történő alkalmazás ösztönzése az egyetemen és a kutatóintézetekben világszerte;
- a tudósok és technológusok közötti hálózatok létrehozása és menedzselése;
- a kutatás és fejlesztés jelentőségének hangsúlyozása az rmv területén;
- figyelemfelhívás a hatóságok, a kormányok és a nemzetközi civil szervezetek felé az rmv előnyeiről és fontosságáról.

Napjainkban a roncsolásmentes vizsgálat, mint szakma, a csúcstechnológiák legfontosabb területe-

it összefogó családhoz tartozik; ez a család a STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), azaz a tudomány, a technológia, a mérnökség és a matematika családja. Az rmv – más szakterületekhez hasonlóan – szükségesnek tartja megújítani és adoptálni képzési programját a legkorszerűbb ismereteket és megfelelő gyakorlatot tükröző igényekhez. Összhangban ezzel a koncepcióval, a Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálati Akadémia felismerte a szükségességét egy új diszciplína megalkotásának és bevezetésének, amelyet "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" elnevezéssel lehet illetni (eredeti elnevezés: NDT integrity engineering). Ez az egyetemi diszciplína az anyagok és szerkezetek integritásának biztosítását szolgálja a célnak legjobban megfelelő rmv eljárások és technikák alkalmazása útján. A diszciplína magába foglalja az anyagtudományt, a törésmechanikát és más tudományokat, és így garantálja, illetve növeli a mérnöki szerkezetek integritásának biztosításán keresztül azok biztonságos és megbízható használatát.

2. A "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" szükségessége

A következő tényezők támasztják alá a "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnöki diszciplína szükségességét:

2.1. Gazdasági motiváló tényezők

Korunkban a gazdaság egyik alapvető célkitűzése a mérnöki szerkezetek teljesítőképességének növelése, ami fokozza kihasználtságukat. A megnövekedett teljesítőképesség gyakran maga után vonja a szerkezet súlyának jelentős csökkenését. Ez az általános irány egyrészt növeli az rmv-vel szemben támasztott követelményeket, másrészt új vizsgálati követelményeket fogalmaz meg. Az új követelmények természetesen a szerkezeti anyagok alkalmazásának, pl. könnyűfém ötvözetek, kompozitok és kerámiák, valamint új gyártástechnológiák megjelenésének, pl. additív gyártás.

A nagyértékű és egyúttal nagy kockázatú mérnöki létesítmények öregszenek, de jellemzően igény van hosszú távú üzemben tartásukra, gyakran a terve-

zõ által figyelembe vett üzemidõn túl. A szerkezeti anyagok öregedése a berendezések és szerkezetek biztonsági tartalékainak folyamatos fogyásával jár együtt. Például, az USA olajfinomítóinak és a kapcsolódó csõvezetékeknek átlagos kora 40 év, de szükség van maximális teljesítményen történõ folyamatos üzemeltetésükre. A világ üzemelõ atomreaktorai 65%-ának kora meghaladja a 30 évet, és ez közelíti vagy már elérte a tervezett üzemidõt. Az atomerõmûvek üzemidõ hosszabbítása világszerte gyakorlattá vált, aminek alapvetõ feltétele, hogy az erõmû berendezéseinek szerkezeti integritását a meghosszabbított üzemidõ végéig biztosítani kell. A példaként hozott mindkét iparágban nyilvánvaló az rmv szerepének felértékelõdése.

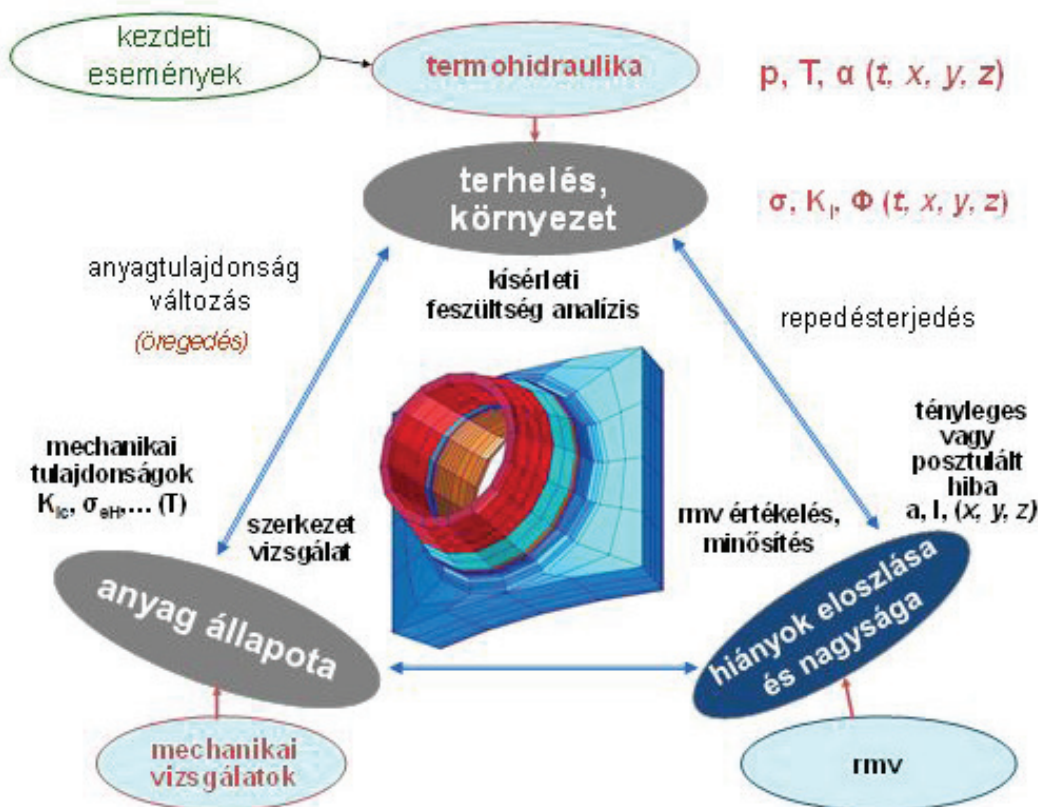
2.2. Biztonsági szempontok

Az említett gazdasági tényezõk megjelenésével egyidõben, megfigyelhetõ a világ biztonsággal kapcsolatos felfogásában bekövetkezõ folyamatos változás. A társadalom által elviselhetõ kockázat csökkenése a hatóságokat a biztonsági szabályok fokozatos szigorítására kényszeríti. Ez a változás is elõtérbe helyezi az rmv-t. Egyrészt, a hatóságok egyre inkább alkalmazzák gyakorlatukban a kockázati megközelítést, ami az rmv-t a nagyobb kockázatú

berendezések vizsgálata irányába pozicionálja. Ez akár az rmv terjedeleme csökkenéséhez is vezethet, de a nagy kockázatú berendezések vagy berendezés részek vizsgálatához a hagyományos rmv eljárások és technikák többnyire nem vagy korlátozottan alkalmasak. Következésképpen, a kockázati szempontokat figyelembe vevõ ellenõrzési programok új rmv követelményekkel jelennek meg.

2.3. Döntéshozatali folyamat igénye

Az ipari gyakorlat azt mutatja, hogy egy üzemelõ berendezés idõszakos ellenõrzésekor, amennyiben az elfogadási szintet meghaladó folytonossági hiányt (pl. repedést) detektálnak, az üzemelés vezetõje rutinszerûen a vizsgálatot végzõ személyt kérdezi a berendezés további üzemeltethetõségérõl. Ennek az egyszerû oka az, hogy az üzemvezetõnek nincs elegendõ ismerete egy repedés vagy repedés-szerû hiány viselkedésérõl, terjedésének törvényszerûségeirõl vagy stabilitásáról. Jellemzõen a vizsgálatot végzõ személy sem tudja megválaszolni a kérdést. Nyilvánvaló, hogy szakadás van az eredményért felelõ vizsgáló és a további üzemeltetésrõl hozandó döntésért felelõs vezetõ között. A "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnök jelenti a probléma megoldását.



1. ábra. A szerkezeti integritás általános sémája

3. A szerkezeti integritás elemzése

A szerkezeti integritás döntően mérnöki ismereteket integráló tudományterület, amely azzal foglalkozik, hogy egy adott berendezés vagy szerkezet milyen feltételek mellett üzemeltethető biztonságosan, mennyi a műszakilag lehetséges üzemideje és ez milyen módon érhető el (élettartam gazdálkodás). A szerkezeti integritás elemzése a szilárdság, illetve a töréssel szembeni ellenállás elemzését jelenti. Az elemzés elvégzéséhez ismerni kell a terhelés és a környezeti körülmények jellemzőit, az anyagtulajdonságokat, valamint az anyagban esetlegesen jelenlévő folytonossági hiányok tulajdonságait. A felsorolt jellemzők dinamikus kölcsönhatásban vannak egymással a berendezés / szerkezet használata során, azaz változnak (pl. terhelésváltozás, szívósság veszteség, repedésnövekedés), amit az elemzés során nem szabad figyelmen kívül hagyni. A szerkezeti integritás elemzésének alapvető eszköze a törésmechanika, de legalább ugyanilyen súllyal szerepel az anyagtudomány, azaz az öregedési folyamatok hatásmechanizmusának az ismerete. Ezt az összefüggés rendszert mutatja vázlatosan a 1. ábra.

4. A "Rongcsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnök kompetenciái

A "Rongcsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnöki diszciplína az anyagok és szerkezetek integritásának biztosítását szolgálja a célnak legjobban megfelelő rmv eljárások és technikák alkalmazása útján. Magába foglalja az anyagtudományt, a törésmechanikát és más tudományokat, és így garantálja, illetve növeli a mérnöki szerkezetek integritásának biztosításán keresztül azok biztonságát és megbízhatóságát.

Meggyőződésünk, hogy ez a komplex szakértelem hozzá tud járulni, és hozzá is kell járulnia a rongcsolásmentes vizsgálat és értékelés, valamint – szélesebb összefüggésben – a szerkezeti integritás elemzés minőségi láncának tökéletesítéséhez. Mindez a nagy kockázatú berendezések, szerkezetek és komplex létesítmények biztonságos és megbízható üzemelésének a feltétele. Az ezen a területen működő mérnök speciális helyzetét az is érzékelteti, hogy a terület elnevezése mind az "rmv", mind az "integritás" kifejezést tartalmazza. A "Rongcsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnök első sorban a rongcsolásmentes vizsgálati eljárásokra fókuszál, és emellett rendelkezik azzal a tudással, ami a berendezések és szerkezetek integritással kapcsolatos döntéseinek a támogatásához szükséges. A "Rongcsolásmentes

vizsgálat és integritás" mérnöknek értenie és beszélnie kell a teljes "rmv nyelvet". Ehhez alapvető az rmv eljárások fizikai alapjának a biztos tudása, és gyakorlati tapasztalat néhány járatos rmv eljárás alkalmazásában.

4.1. Rongcsolásmentes vizsgálatokkal kapcsolatos kompetenciák

Az rmv területén szükséges legfontosabb kompetenciák a következők:

- A járatos rmv eljárások fizikai alapjának, az eljárások lehetőségeinek és korlátainak ismerete;
- Az rmv evolúciós folyamatának ismerete, beleértve az anyagkárosodás korai észlelésének jelenlegi tendenciáját;
- A szerkezet állapotának monitorozási stratégiai és technikai (SHM);
- Az információs technológia, valamint a mikro- és nanotechnológia fejlődésének a hatása az rmv-re és a műszaki diagnosztikára;
- Az rmv globalizálódásának megértése és a globalizáció hatásainak ismerete és alkalmazása.

4.2. Terhelés és környezeti hatás vonatkozású kompetenciák

A terhelés és a környezeti hatás vonatkozásában a legfontosabb kompetenciák a következők:

- A berendezés használata időszakában a berendezésben ébredő fizikai mezők (mechanikai, termikus, mágneses, elektromos, elektromágneses) ismerete;
- A fizikai mezők meghatározására használt analitikus és numerikus eljárások alapjainak az ismerete;
- A feszültség/alakváltozás állapot, a feszültség-intenzitási tényező és más, az üzemállapotokból eredő állapotjellemző meghatározásának ismerete, beleértve az üzemzavari terheléseket is.

4.3. Szerkezeti anyag vonatkozású kompetenciák

Az anyagtudomány vonatkozásában a következő kompetenciák a legfontosabbak:

- A szerkezeti anyagok tulajdonságainak ismerete;
- A szerkezeti anyag terhelésre és környezeti

hatásra adott "válaszának", azaz az öregedési mechanizmusoknak és az öregedés hatásának az ismerete;

- A potenciális öregedési folyamatok ismerete, úgymint a ridegedés, szívósság veszteség, fáradás, korrózió, kúszás, kopás és egyéb folyamatok, és ezek hatása a berendezések és szerkezetek integritására.

4.4. Általános mérnöki kompetenciák

Az előzőekben röviden felsorolt specifikus kompetenciákon túl a "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnöknek rendelkeznie kell a következő általános kompetenciákkal:

- A mérnöki tevékenység multidiszciplináris jellegének és összefüggés rendszerének biztos ismerete;
- Általános képesség mérnöki feladatok megoldására az általa művelt szakterületen;
- Képesség szabványok, kódok és biztonsági szabályzatok alkalmazására;
- Alapvető gazdasági, szervezési és vezetési ismeretek;
- Képesség az információk és a mérnöki ered-

mények hatékony kommunikációjára mind a mérnöki társadalmon belül, mind azon kívül;

- Képesség hatékony együttműködésre mind nemzeti, mind nemzetközi környezetben, akár mint egyén, akár mint egy team tagja.

5. Zárzó

A "Roncsolásmentes vizsgálat és integritás" mérnöki koncepció jelentősége, hogy magasabb szintre emelje és hitelesebbé tegye a korszerű és egyre több lehetőséget nyújtó rmv eljárások alkalmazását az anyagok és berendezések integritása elemzésének és biztonságának a biztosításához. A koncepció megalkotásához és a javasolt kompetenciák kidolgozásához egyaránt hozzájárultak a gazdasági fejlődés tendenciái, a biztonsággal kapcsolatos felfogás világméretű változása, valamint az rmv személy és a döntéshozó tudása között felismert szakadás. A Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálati Akadémia kidolgozta az itt bemutatott kompetenciákat és az a szándéka, hogy a koncepciót bemutattja és ajánlja a világ egyetemének.



Seifert ERESO

Megbízható röntgen-készülékek a terepre.

- Hosszú élettartam, bevált kialakítás
- Hazai szakszerviz
- Direkt, vagy körsugárzó kivitel, 200 kV,- 300 kV
- Beépített expozíciós idő kalkulátor
- Strapabíró (IP65) és kompakt



Forgalmazás: www.ketech.hu

BAKER
HUGHES
a GE company



Anyagvizsgálat neutronbesugárással – új lehetőségek

Rosta László¹, Kis Zoltán², Mezei Ferenc^{1,3}, Szentmiklósi László²

¹Budapesti Neutron Centrum - MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

²Budapesti Neutron Centrum - MTA Energiatudományi Kutatóközpont

³MIRROTRON Kft.

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

Összefoglaló: A neutronokkal történő besugárzás nemcsak az anyagok módosítására (pl. radioizotópok előállítása), hanem az anyagi tulajdonságok felderítésére is használható. Az elektromosan semleges részecskék mélyen behatolnak a vizsgálandó anyagmintákba, és útjuk során különböző magreakciókban vesznek részt. A neutronok szerepe a roncsolásmentes anyagvizsgálatban alapvetően háromféle lehet. i) Sugárzásos neutronbefogás: a besugárzás során végzett gamma-spektroszkópiával az elemösszetétel meghatározása. ii) Neutronszórás/diffrakció: mikroszerkezet meghatározása, azaz kristályos és amorf anyagok, folyadékok, gélek stb. atomi, molekuláris, ill. nano-struktúráinak mérésével és modellezéssel történő meghatározása. iii) Képalkotás: heterogén tárgyak átvilágítása (tömbi anyagok belső topológiájának feltérképezése). A neutronnyalábokkal való vizsgálati eljárások eddig is lényeges szerepet játszottak számos ipari alkalmazásban, de a neutronforrások költségei, helyileg korlátozott hozzáférhetősége miatt a neutronos módszerek rutin felhasználása kevésbé terjedt el. Napjainkban viszont új korszak nyílhat és ebben nemzetközi szinten is úttörő szerep juthat Magyarországnak. Egyfelől, az MTA csillebérci kampuszán 60 éve megbízhatóan működik a Budapesti Kutatóreaktor (BKR), amely a kutatási és mérnöki feladatok széles körét szolgálja ki 15 mérőberendezésével, a fent felsorolt technikák alkalmazásával. Az elmúlt pár évben a BKR-nál nemzetközileg is egyedülálló műszeregyüttest és szakmai kompetenciát fejlesztettünk ki anyagvizsgálati feladatok sokrétű megoldására. Másfelől, hamarosan megvalósulnak az alacsony költségű és helyigényű, úgynevezett kompakt neutronforrások (vagyis nem atomreaktorok), amelyek a neutronos anyagvizsgálati eljárásokat sokkal hozzáférhetőbbé teszik ipari és egyetemi környezetben. Európában elsőként épül fel 2021-re egy ilyen kompakt neutronforrás prototípusa Martonvásáron, a MIRROTRON Kft. és az MTA EK közös, zöldmezős beruházásában. Alább az elmúlt közel egy évtizedben a BKR-nél elvégzett számos anyagvizsgálati feladatról mutatunk be példákat. Többek között robbanómo-

torok dugattyúinak, helikopter forgószárny-lapátjainak anyaghibáit, vagy csapágyak átvilágításával a Röntgen-technikák lehetőségeit messze meghaladó képalkotási eljárásokkal az alkatrészek belső hibáit derítettük fel. Ugyanezekkel a módszerekkel bepillantást nyerhetünk nemcsak napjaink, hanem a régmúlt tárgyaiba is. Régészeti leletek, műalkotások roncsolásmentes vizsgálati eredményei segítenek a tárgyak eredetének, korabeli gyártási technológiáinak felderítésében, állaguk megóvásában.

Bevezetés

A neutron, mint elemi részecskét James Chadwick cambridge-i fizikus fedezte fel 1932-ben. Azóta a neutronok kutatása, illetve a neutronokkal történő vizsgálódás jelentős, önálló tudományterületé fejlődött. A világban nagyszámú neutronforrást létesítettek, ill. ma is építenek, mivel a neutronok egyedülálló tulajdonságai egyre több új lehetőséget kínálnak a kutatók számára az anyag- és az élet-tudományok, az energetika, a környezettechnológia és természetesen a fizika területén. Napjainkban a neutronkutatási tudományos eredmények egyre gyorsabban fordulnak társadalmi hasznosulásba, ill. egyre szélesebb körben terjednek a közvetlen ipari alkalmazások. A magyarországi a neutronkutatásnak komoly hagyományai vannak, ill. számos úttörő kezdeményezés és eredmény fűződik magyar kutatók nevéhez.

Az 1959 óta működő, és többször felújított Budapesti Kutatóreaktor tette lehetővé a hazai nukleáris kultúra kialakulását, amely elengedhetetlen tudományos háttere a villamos energia termelés 40%-át adó atomerőművi reaktoroknak biztonságos üzemeltetésének, valamint a lakosság mintegy 5%-át érintő egészségügyi radioizotóp felhasználást. A BKR fő profilját ma azonban a kutatási és mérnöki feladatok széles körének ellátása jelenti, ez a tevékenység a reaktorból kivezetett neutronnyalábokon üzemelő 15 kísérleti állomás felhasználásával zajlik.

1992-ben a reaktort és a hozzátartozó berendezés együttest Budapesti Neutron Centrum (BNC) néven műszerközponttá [1] szerveztük a hatékony és sokoldalú nemzetközi hasznosítás érdekében – ma



1. ábra. A legfontosabb hazai neutronos bázis, a csillebércei kutatóreaktor (BKR) 1959 óta működik. A BKR-t 1986 és 1992 között felújították, egy 2016-os tanulmány szerint pedig a műszaki állapota valószínűleg lehetővé teszi a reaktor üzemidejének tíz évvel való meghosszabbítását a jelenlegi, 2024-ig szóló engedély után is.

ez az ország legnagyobb, működő, nemzetközileg elismert és világszínvonalú műszerezettséggel rendelkező kutatási infrastruktúrája. A neutronok néhány fontos unikális tulajdonsággal rendelkeznek: nagy áthatolóképesség, nincs elektromos töltésük, érzékenyek az elemek különböző izotópjaira, van mágneses momentumuk, jellemző hullámhosszuk és sebességük az anyagszerkezeti tulajdonságok skálájával összevág. Ezt kihasználva járul hozzá a BNC anyagtudományi, mérnöki, biotechnológiai, fiziko-kémiai, szilárdtestfizikai, archeometriai problémák széles körének megoldásához, így a modern (vagy régi) anyagok egyre jobb megismeréséhez. A BNC évente több tucat hazai és nemzetközi együttműködésben megvalósuló kutatási projektet futtat, az alap- és az alkalmazott kutatási területeken egyaránt. Az elmúlt 25 évben a BNC berendezéseinek mintegy 3500 kísérletet végeztünk, 2500 publikáció és kb. 1000 kutatási jelentés született (projekt vagy szerződéses munkáról). A hazai neutronkutatói/felhasználói közösség 60-ról mintegy 200 főre nőtt.

Neutronforrások

Intenzív neutronnyalábok előállítására a leginkább elterjedt eljárás az atomreaktorokban lezajló láncreakció során indukált maghasadás, illetve a részecskegyorsító alapú neutronforrásoknál alkalmazott spalláció (nehéz elemek „aprítása”) révén keletkezett neutronok lelassítása (moderálása) és sugárnyalábba formálása. Európában jelenleg nyolc olyan neutronforrás centrum üzemel, ahol kb. 150 különböző



2. ábra. A spallációs források egyik jellemző példája az ISIS (<https://www.isis.stfc.ac.uk>). Az Oxford melletti létesítmény lineáris gyorsítóban előállított és szinkrotron gyűrűben tárolt nagyenergiás proton nyaláb kelt neutron impulzusokat két wolfram target állomásban, melyek egy-egy 50, ill. 10 Hz-es impulzusú target-állomással üzemelő neutronforrásként mintegy 25 spektrométert szolgálnak ki.

spektrométer érhető el anyagtudományi vizsgálatokra. Ezen műszerközpontok egyike a Budapesti Neutron Centrum is. Alább egy spallációs forrást is bemutatunk [2].

Napjainkban jól megfigyelhető a neutronkutatások mega-centrumokba való koncentrálódása, így Japánban és az USA-ban már működik egy-egy megawatt osztályú spallációs forrás, és 2023-ra várható a svédországi Lund-ban épülő ESS (European Spallation Source) üzembe helyezése. Ezek mellett 3-4 nagyfluxusú reaktor (ILL-Grenoble, FRM-II München, PIK Szentpétervár) üzemelése lesz fenntartható a következő évtizedekben.

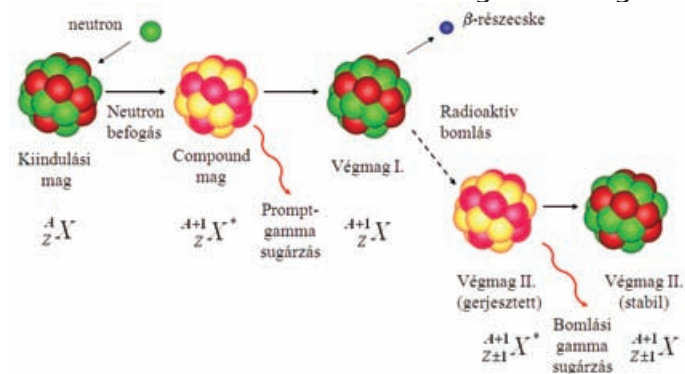
Ugyanakkor egy új trend is kibontakozóban van. A laboratóriumi méretű, vagy összehasonlításként, a klinikai MRI vagy PET berendezéseket említhetnénk ezekkel összemérhető, részecske-gyorsítókra alapozott neutronforrások fejlesztése az elmúlt 3-4 évben vett lendületet [3]. A kisenergiás proton-nyalábbal magreakció révén keltett neutrontermelés régóta ismert technika. Azonban két friss fejlesztés most ugrásszerű előrelépést hozott. Egyfelől, a *kompakt gyorsítók* – a gyógyászati alkalmazásoknak köszön-

hetően – kiváló megbízhatóságú és elérhető árú ipari terméké váltak. Másfelől, a magyar fejlesztésű új *neutron moderátor koncepciónak* köszönhetően az erre alapozott kompakt neutronforrások paraméterei akár 1000-szeresen is meghaladják a korábban ismert hasonló berendezéseket.

A legkisebb hely- és költségigényt a tipikusan 2 MeV-nél alig nagyobb energiára felgyorsított protonok előállítása jelenti. Egy ehhez szükséges gyorsító kb. 3 m hosszúságú. A neutronnyalábokat előállító target/moderátor egység szintén hasonló méretű és költségű. Tehát ma már a gyorsítóra épülő neutronforrások lényegesen gazdaságosabb megoldást jelentenek szinte minden teljesítményszinten. Vagyis a kompakt neutronforrások az anyagvizsgálatok számára az eddigieknél nagyságrenddel kisebb költséggel tudnak rendelkezésre bocsátani neutronnyalábokat sok olyan vizsgálatokhoz, amihez eddig jóval nagyobb és drágább berendezések kellettek. Emellett helyigényük kicsi és a biztonsági előírások gyakorlati követelményei nem haladják meg a röntgen berendezések orvosi alkalmazásánál megszokottakat. Így ezek akár egyetemeken, vagy ipari intézményekben is elhelyezhetők.

Neutronok kölcsönhatása az anyagokkal
Három fő módon lehet neutronokkal ismeret nyerni az anyagi tulajdonságokról és tárgyak belső topológiájáról:

i) Neutronok elnyelődése és gamma sugarak kibocsátása a vizsgált tárgy atommagjaival való magreakció során – így a neutronokkal kétféle módon végezhetünk elemanalízist: a neutronbefogás során gerjesztett állapotba kerülő atommag azonnali (prompt) gamma-foton kibocsátásán alapuló eljárás a prompt-gamma-aktivációs analízis (PGAA). Ha a besugárzás során létrehozott atommag egy további, radioaktív bomlási lépésben az izotópra jellemző felezési idővel kibocsátott bomlási gamma sugárzá-

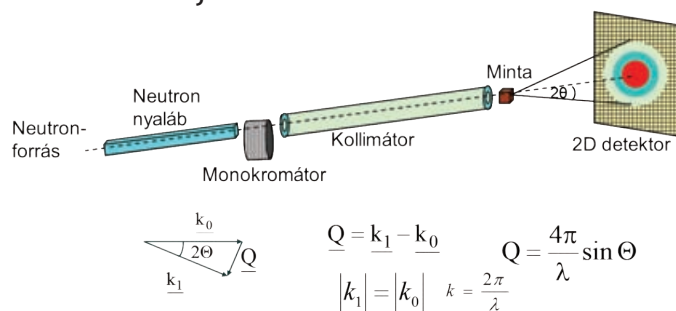


3. ábra. A sugárzásos neutronbefogás és az azt követő radioaktív bomlás sémája

(https://www.bnc.hu/?q=radiative_neutron_capture)

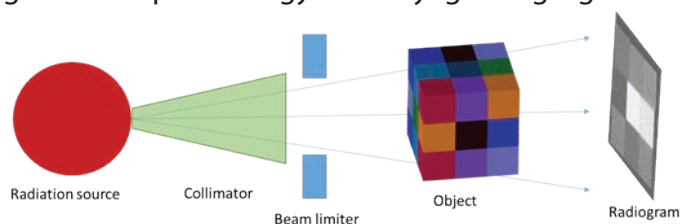
sát mérjük, műszeres neutron aktivációs analízisről beszélünk (NAA). A 3. ábra vázlatosan mutatja ennek a magreakciónak a sémáját. Minden elem/izotóp saját jellegzetes gamma kibocsátási spektrummal jellemezhető, amely analízisből az anyagok elemi összetétele határozható meg.

ii) A neutronok gyenge kölcsönhatása az atomokkal – a neutronok iránya és sebessége megváltozik az anyagokon való áthaladás közben. Tehát az atomi közegekben szóródott neutronok intenzitás eloszlásának mérése és matematikai modellben való konverziója az anyagokról mikroszerkezeti információval szolgál. Ezt nevezik neutronszórásnak, mely lehet rugalmas – ilyen a legelterjedtebben használt diffrakció, vagy rugalmatlan, amikor a neutron energiát ad le vagy vesz fel a kondenzált közegben és ez a neutronenergia-változás az atomi, molekuláris kölcsönhatásokat jellemzi.



4. ábra. A neutronszórás sematikus ábrázolása és a szórásvektorok feltüntetése a neutron hullámhossz, ill. a szórési szög összefüggésével, mint a mérésben szereplő paraméterek.

iii) Képkalkotás: miközben a neutronok áthatolnak egy tárgyon, egy részük elnyelődik vagy szóródik, vagyis nem jutnak el az érzékelőernyőre. Ezáltal abszorpciós kontraszt keletkezik, mely a tárgy belső inhomogenitásait képezi le. Ez a neutronradiográfia és -tomográfia. Az utóbbi a 3D mintavétel és matematikai rekonstrukciós algoritmusok segítségével valósul meg. A Röntgen- és a neutronradiográfia kiegészítik egymás, mivel az egyes anyagokra más-más a hatáskeresztmetszetük, vagyis más-más anyagokban képesek nagyobb anyagvastagságokat is



5. ábra. Transzmissziós képkalkotás röntgen vagy neutron nyaláb segítségével.



6. ábra. A neutronok a röntgensugárral ellentétben képesek a fémek és a könnyű elemek (pl. hidrogén tartalmú folyadékok) egyidejű leképezésére.

(https://www.bnc.hu/?q=neutron_radiography)

átvilágítani. A neutronok használata különösen akkor előnyös, ha szerves anyag, víz és fémek egyszerre van jelen.

Anyagtudomány a mindennapi életben - esettanulmányok

Az elmúlt pár évben a Budapesti Neutron Centrum a fenti i)-iii) pontokban ismertetett módszerekre alapozva nemzetközileg is egyedülálló műszeregyüttest és eljárásokat fejlesztett ki roncsolásmentes anyagvizsgálati feladatok igen sokrétű és komplex megoldására – természetesen más, nem neutronos módszerekkel kiegészítve. A fent leírt neutronos technikákat a legkülönbözőbb ipari és régészeti vizsgálati/kutatási feladatok megoldására alkalmaztuk. Ezek közül mutatunk be példákat, sorrendben az elemanalízis, szerkezetvizsgálat, képalkotás alkalmazásának témakörében, ill. ezek együttes/kombinált használatából.

1. Roncsolásmentes elemösszetétel-mérés

A neutronos elemanalitikai módszerek roncsolásmentesen képesek pontos és precíz tömbi-összetétel mérésre, akár felszíni bevonat vagy korróziós réteg jelenlétében is. Kiválóan alkalmasak referencia módszernek az ipari anyagvizsgáló laborok mérési protokolljainak validálására, illetve olyan minták mérésére, ahol nem áll rendelkezésre az adott mátrixra vonatkozó, az elterjedtebb műszeres analitikai módszerek (pl. XRF, ICP-OES) által megkívánt hitelesített anyagminta (*certified reference material*, CRM). A neutronos mérés nem igényel mintaelőkészítést, a minta eredeti állapotában mérhető, majd igény szerint a tulajdonos számára, vagy további vizsgálatok céljára visszaadható. A PGAA és az NAA módszer kiegészíti egymást a mérhető elemek és a kimutatási határok tekintetében egyaránt. A két módszer kombinációjával a periódusos rendszer csaknem egésze lefedhető.

Az egyik legkedvezőbb mátrix az elemösszetétel

mérésére a félvezetőipar és a fotovoltaikus alkalmazások szempontjából fontos szilícium. A gyártási folyamatba bevitt nyersanyagok tisztaság-ellenőrzését a gyárban rutinszerűen végzik, azonban az ottani protokollt validálni kell számos elemre, kiemelten a bór analízisére. PGAA-val a Si, Fe, Mg főelemek mellett Ca, Mn, La, Ce, Cr, Ni, Cu, Ti, Sb, Zn mellékalakotokat és H, B, Cl, Nd, V és Gd nyom-szennyezőket lehetett kimutatni, míg az NAA módszer az As, Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Eu, Fe, Ir, La, Lu, Mn, Mo, Nd, Sc, Sm, Tb, Th, U, W, Yb, Zn és Zr elemeket képes tipikusan már ppm mennyiségben is kimutatni. Az egyik vizsgálatunkban tapasztalt eltérések nyomán a USA mérésiügyi intézete (NIST) – többek között a BNC-ben mért adatokra támaszkodva – felülvizsgálta a SRM 57B anyagminta (kémiai analízis-módszerek kalibrációs anyaga) bórtartalmát [4].

A roncsolásmentes és mintavétel nélküli elemösszetétel vizsgálatoknak különösen nagy a jelentősége a kulturális örökség tárgyainak tanulmányozásában. Példaként a lápisz lazuli esetét mutatjuk be, többek között azért is, mert a BNC közel két évtizedre visszatekintő ilyen irányú kutatásainak köszönhetően itt halmozódott fel a világon legjelentősebb lápisz lazuli tárgykörhöz tartozó adatbázis. A lápisz lazuli az ókori Keleten már a Kr.e. IV. évezredtől kezdve ismert, és nagy becsben tartott, gyönyörű égszínkék drágakő. Nagy értéke miatt már az ókorban megpróbálták a lápisz lazulit mesterségesen előállítani, és természetesen a hamisítási próbálkozások a modern korban sem hagytak alább [5].

Régészeti szempontból fontos ismerni, hogyan lehet az egyes geológiai lelőhelyekről származó lápisz lazulikat egymástól roncsolásmentes módszerekkel



7. ábra. Lápisz lazuli kővel díszített ékszer.

megkülönböztetni. Szerencsés körülmény, hogy a világon csak kevés előfordulása, azaz kitermelésre alkalmas lelőhelye ismert. A legfontosabbak Afganisztán, az Urál hegység, Szibériában a Bajkál-tó környéke, valamint Chile. A lápisz lazuli fő alkotórésze a lazurit ásvány, a szodalitcsoport tagja, képlete $(\text{Na}, \text{Ca})_4(\text{Cl}, \text{SO}_4, \text{S})(\text{AlSiO}_4)_3$. A lazurit mellett kísérő ásványokként pirit (FeS_2) és kalcit (CaCO_3), valamint kis mennyiségben piroxének, amfibolok és csillámok fordulhatnak benne elő. Azt vizsgáltuk, hogy a tömbi elemi összetétel alapján tudunk-e különbséget kimutatni az egyes földrajzi lelőhelyek között [5].

A BNC hidegneutron sugárzásos prompt-gamma

elsősorban a magas réztartalom miatt – jól látszik a prompt-gamma spektrumokból.

A kétezres évek elején Szíriában egy ókori királysírt találtak német kutatók és igen nagy jelentőségű eredmény volt, hogy a BNC-ben elvégzett PGAA kísérletek alapján sikerült azonosítani a nagyszámú ékszer lápisz lazuli komponenseinek származási helyét (Afganisztán), ill. elkülöníteni az ókori 'hamisítvány' egyiptomi kék-ket.

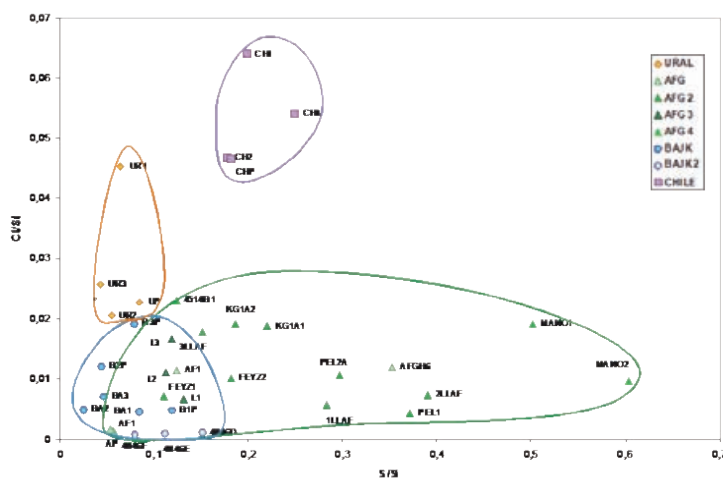
2. Anyagfáradási – élettartam hosszabbítási probléma megoldása F-1 versenyautó motornál

Közismert, hogy a gépjárműipar új technológiai alkalmazásainak legnagyobb része a versenyautók

fejlesztéséből származik. Az alábbiakban röviden egy példát mutatunk be egy Formula-1-es autón elvégzett neutronszerzés-vizsgálatra. A tanulmány célja az volt, hogy a versenyszabályok megváltoztatása miatt a motor élettartamát meg kellett növelni, ugyanis előírták, hogy a versenyautóknak motorcsere nélkül legalább két versenyhétvégét (pl. időmérő edzés és a verseny) le kell tudniuk futni. A motor élettartamát a rendkívüli igénybevételnek (17000 rpm, 900 LE) kitett, minimális tömegűre munkált dugattyúk határozták meg, amelyeknél feltételezhetően a felső peremen keletkezett repedések okozták végül is a dugattyú rövid használat utáni beszorulását. A feladat tehát a repedések kialakulásának felderítése, a probléma esetleges kezelésére irányuló javaslat meg-

tétele volt.

A kísérletekben kisszögű neutronszerzéssel (SANS) tanulmányoztuk a széleskörűen használt $\text{AlSi}_2\text{Cu-NiMg}$ ötvözetből készült igazi dugattyúkban elő-

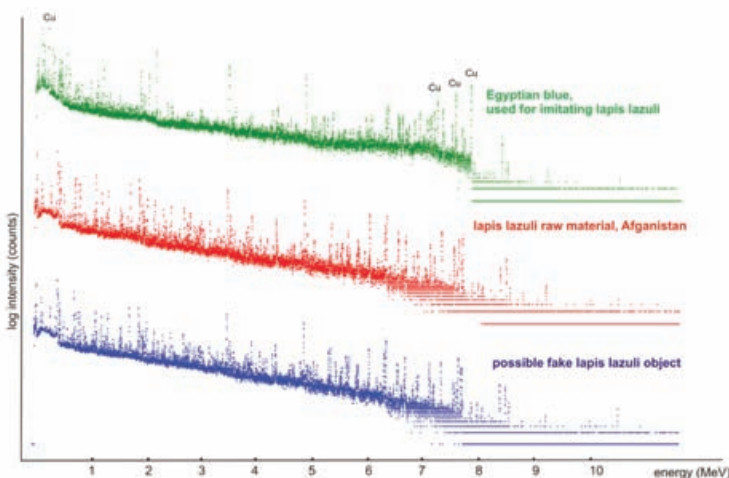


8. ábra. Lápisz lazuli nyersanyagok származási helyei PGAA mérések alapján.

aktivációs analízis berendezésén a besugárzással egyidőben Compton-elnyomós HPGe detektorrendszerrel vettük fel a spektrumokat, melyeket a Hypermet-PC programmal illesztjük, az elemazonosítás és a koncentrációk számítása saját PGAA-könyvtárunk segítségével történik.

A kutatás során számos geológiai lelőhelyről származó lápisz lazuli mintákat mértünk, majd a kapott koncentráció adatokból kétváltozós diagramokat, ill. statisztikai elemzéseket készítettünk. Már a kezdeti mintasorozat PGAA mérési eredményei azt mutatták, hogy a chilei és uráli lápisz lazuli nyersanyagok jól elkülönülnek egymástól, valamint a bajkái és afgán lápiszoktól.

Mind az elemi, mind az ásványos összetétel meghatározása alkalmas lehet a „hamis” lápisz lazulik megtalálására, jelentse a „hamisítás” akár azt, hogy eredeti összetevőkből mesterségesen állították elő a lápisz lazulit, akár azt, hogy más anyagokkal (pld. „egyiptomi kék”-kel, azaz $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ -val) helyettesítik. Az egyiptomi kék eltérő elemösszetétele –



9. ábra. „Egyiptomi kék”, lápisz lazuli és „hamis” lápisz lazuli PGAA spektrumai

forduló fémszerkezeti kiválások mikro-strukturális kialakulását. A vizsgálatot a világbajnok Ferrari csapat 3000 cm³-es, hathengeres motorjainak új és használt dugattyúkoronáin végeztük. A SANS görbéket mindkét dugattyú 5-5 különböző pontján mértük meg (a lehetséges repedési gócpontokon). Az új minta központi részein izotróp szórás volt megfigyelhető, a dugattyú oldalsó részein azonban a szórás anizotroppá vált, jelezve, a gyártás által előidézett textúra jelenlétét. Továbbá, az Al-Mg-Si ötvözetek olyan mechanikai jellemzőkkel bírnak, amelyek igen érzékenyek a hőkezelésekre. A működési hőmérséklet általában nagyon közel van az előregedési hőmérséklethez, és a korona egyes részein meg is haladja azt. Az öregedés gyakorlatilag azt jelenti, hogy a többkomponensű ötvözetben egyes alkotóelemek elkülönülnek („kiválnak”) ezáltal gyengítve az eredetileg homogén ötvözet megfelelő mechanikai tulajdonságait. Tipikusan a réz az, amely ilyen precipitációs gócképzőként szerepel az anyagokban. Összehasonlítottuk a mechanikai tulajdonságok öregítési kezeléssel előidézett változásait a kiválások szerkezetében bekövetkezett változásokkal és megállapítottuk, hogy 4-20 nanométeres kiterjedésű, Cu-ban feldúsult precipitátumok keletkeznek. Kimutatható volt, hogy a használat korai

stádiumban keletkezett kiválások képezik a mikro-repedések gócait és ezek terjeszkedése változó a kiválás méretétől függően; leggyorsabban a 10 nm körüli kiválások/repedések terjednek. Javasoltuk a dugattyúk gyártásközi hőkezelését, ami a kiválások homogenizálásához vezethet, így a mikro-repedések terjedése is lelassul. Így a SANS eredmények elősegítették a gyártási technológia optimalizálását, és hozzájárultak a motor élettartamának jelentős növeléséhez, sőt a teljesítmény csekély növelését is lehetővé tették, ami viszont döntően hozzájárult a Ferrari csapat akkori kiemelkedő győzelmi sorozatához.

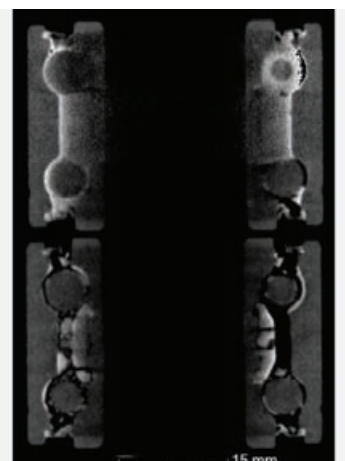
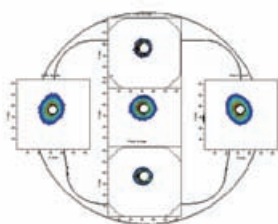
3. Meghibásodott autóalkatrész-csapágy roncsolásmentes neutrontomográfiás vizsgálata

A leginkább elterjedt neutronbesugárzásos mérés technika az ipari alkalmazásokban a radiográfia, ilyen vizsgálatokból többféle példát is bemutatunk. A BNC RAD mérőhelyén tárgyak statikus vagy dinamikus leképezése végezhető neutronokkal (ugyanott akár röntgensugárzással is kiegészítve), max. 20 cm-es látómező és számítógép-vezérelt minta-manipulátor segítségével [6]. Első példánkban egy csapágy vizsgálatot tárgyalunk. A kétsoros golyóscsapágyakat megnövelt merevséget és terhelést igénylő környezetben alkalmazzák, hogy hosszú



Kisszögű neutronsórással a dugattyú különböző pontjain a nanoszerkezeti elváltozásokból (ötvöző elemek kiválása) a mikrorepedések kiulási gócaira kaptunk információt.

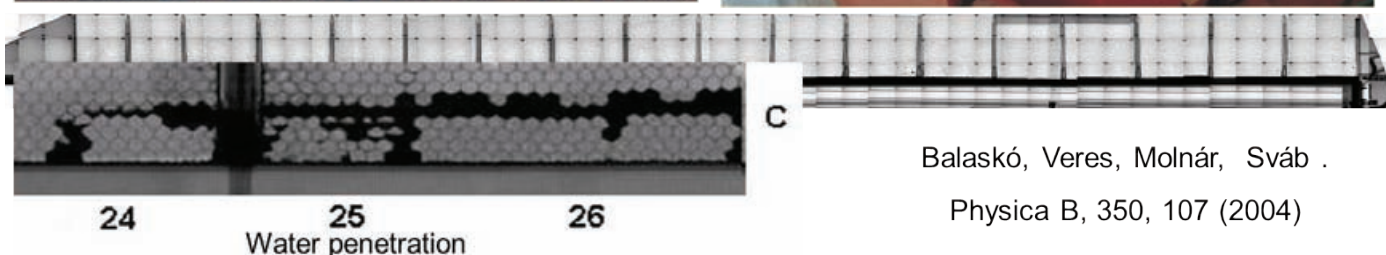
M. Rogante, V.T. Lebedev, F. Nicolae, E. Rétfalvi, I. Rosta, Physica B 358, 224 (2005)



11. ábra. (bal) A vizsgált alkatrész méretei (mm): $D = 42$; $d = 20$; $c = 29$; $C = 30$. A csapágyak mérési pozícióban a jobboldali képen: új: felül, használt: alul.

12. ábra. (jobb) A neutrontomográfiás adatok függőleges és vízszintes metszetei, valamint 3D ábrázolása. Figyeljük meg az alsó alkatrészt átszövő repedéshálózatot és a golyók körüli kenőanyag hiányát: a világos részek a kenőanyagban való erősebb elnyelődést mutatják. (Kis Zoltán – BNC RAD mérőhely).

10. ábra. Alumínium ötvözetű dugattyúk nanoszerkezeti elváltozásainak vizsgálata kisszögű neutronsórással a használat különböző stációiban. A jobboldali ábrán a dugattyú felülnézeti képe látható és a képbe beleszerkesztettük az adott helyen felvett 2D SANS intenzitás eloszlás spektrumot, melyből megállapítottuk a precipitátumok méretét és eloszlását. Anizotrop eloszlást és a kiválások előfordulásának erőteljes geometriai függőségét mutattuk ki.



Balaskó, Veres, Molnár, Sváb .

Physica B, 350, 107 (2004)

13. ábra. A Magyar Honvédség Mi-24 típusú helikoptereinek forgószárnylapátjait vizsgáltuk a BNC RAD mérőhelyén (jobboldali kép) kialakított nagyméretű mozgatószerkezet segítségével, 10x10 cm²-es látómezővel történő neutron radiográfias átvilágítással.

időn át ellenálljon a nagy sebességű forgásnak, szélsőséges vibrációnak. Ezeket a csapágyakat a gépjárműgyártás, a nagysebességű szerszámgépek és elektromos gépek, élelmiszerfeldolgozó gépek és kriogéntechnika területén nagy volumenben építik be, pl. nedves, poros és maró hatású környezetben és éghajlaton való működésre. Gyártásuk során jellemzően forróhengerléssel, magas hőmérsékleten keményített varrat nélküli csőből állítják elő, majd hőkezelik, hogy nagy szilárdságot, alacsony kopást és meg-növelt korrózió-tűrést, alaktartást és mágneses tulajdonságokat érjenek el. A csapágyaknak az alapanyaga általában UNI 100Cr6 (AISI 52100) magas széntartalmú krómacél, amely a hordozó gyűrűk és gördülő elemek számára általánosan elfogadott alapanyag.

A vizsgálataink során egy új és egy kb. 3000 üzemórán át használt csapágyat hasonlítottunk össze neutronos képalkotás segítségével. A használt csapágy jelentős mechanikai károsodást mutatott, láthatóan a kenés elégtelensége miatt. A neutronos képalkotással, a roncsolásmentes ipari anyagvizsgálatban elterjedt röntgentomográfiával ellentétben, a fémek mellett a szerves anyagok is kiválóan megjeleníthetők. A csapágy több darabból áll, némelyike repedt és töredezett, így egy szétszedés után az eredeti állapot már nem állítható helyre. A neutro-

nos képalkotás, a diffrakciós szerkezetvizsgálatot megelőzően, kiválóan alkalmas a megrongálódott alkatrészek 3D megjelenítésére, valamint a további vizsgálatok pozícióinak kijelölésére. Az eredményeink segítségével a gyártási-hőkezelési folyamat javítható és a termék élettartama jelentősen megnövelhető. A vizsgálatok 2018-ban a Rogante Engineering Office (Olaszország) közreműködésével történtek.

4. Repüléstechnikai ipari probléma megoldása

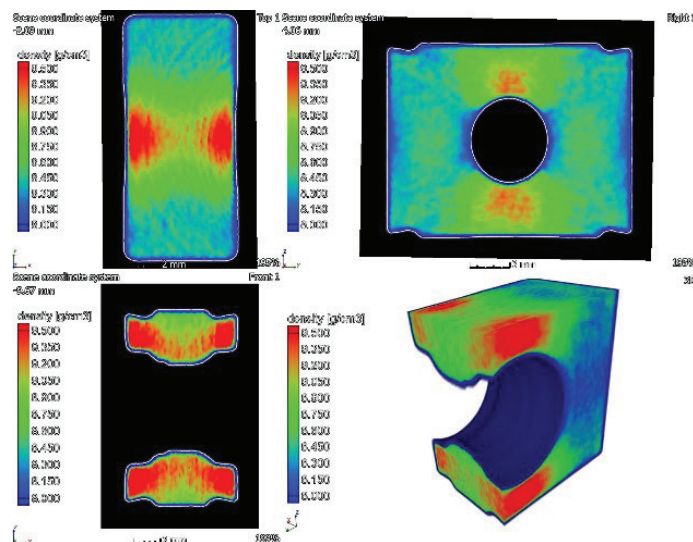
A 2000-es évek elején érkezett egy felkérés a Magyar Honvédség Repülő Műszaki Szolgálat Főnökségtől és a Honvédelmi Minisztérium Technológiai Hivatalától (HM TH) Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopterek forgószárny lapátjainak vizsgálatára. A vizsgálatok célja a forgószárny lapátok állapotának felmérése volt, az élettartamuk esetleges kiterjesztésének érdekében. A BNC RAD mérőhelyét alkalmassá tettük a ~10 m hosszú, ~70 cm széles és ~140 kg súlyú lapátok, képmezőnkénti (146x140 mm), neutron- és röntgensugarakkal való átvilágítására. A neutronradiográfiai ellenőrzések során feltárhatók a kompozit szerkezeti anyagok kötési- és ragasztási sajátosságai, pl. gyanta-dús és gyantahiányos területek, folytonossági hiányok, rétegelválás, szekciók közötti tömítések épsége, és a lapátok belsejében lévő víz jelenléte, valamint annak eloszlása. A röntgensugarakkal való átvilágítás esetében megfigyelhetők a

rejtett fém alkatrészek elhelyezkedése és a jégtelepítő rendszer meghajtó vezetékeinek bekötése, de érzékelhetővé válnak a jelentős vízbeszivárgások is.

5. Anyagsűrűség-térképezés három dimenzióban neutrontomográfiával

A világhírű svéd Sandvik Coromant szerszámgépgyártó céggel együttműködésben porkohászati úton előállított wolfram-karbid vágóélek térbeli homogenitását vizsgáltuk [7]. A vizsgálat célja a gyártástechnológia fejlesztése, a gyártási lépések végelem-szimulációinak kísérleti validálása, végső soron a mintadarabok tökéletesebb homogenitásának biztosítása, amely hatással van az élettartamára. A mintadarabok akár 4 cm-es méretük és a nagy-rendszámú összetevőik (W, Co) miatt sem röntgensugárzással, sem hideg neutronokkal nem voltak átvilágíthatók. A RAD mérőhelyen a neutronok energiaeloszlása a meV-től a MeV-ig terjed, amely nyalábszűrők alkalmazásával széles körű optimalizációt tesz lehetővé a behatolási mélység, az időbeli és a térbeli felbontás paraméterterében, minden egyes mérendő minta esetén. Egy adott alapanyag esetén, kalibrációs görbe segítségével az anyagon átbocsátott neutronsugárzás gyengülését közvetlenül összefüggésbe hozhatjuk a lokális sűrűséggel. A neutronnyaláb energiaeloszlása az egymást követő anyagrégeken megváltozik, így a kalibrációs összefüggés nagy vastagságok esetén jelentősen eltér az egyenestől; ezt nevezzük nyalábkeményedésnek (*beam hardening*).

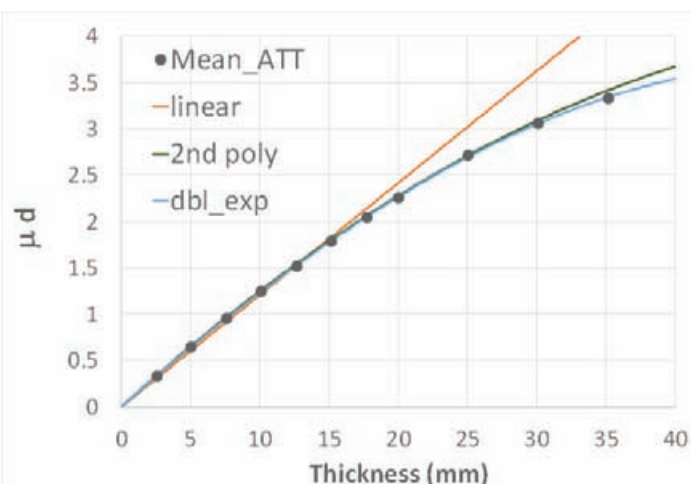
A mért és a végelem-szimulációival számolt sűrűség-eloszlás igen jó egyezést mutatott.



15. ábra. Egy vágószerszám mért sűrűségeloszlása. Piros színnel jelöltük a nagyobb, kékkel a kisebb sűrűségű területeket.

6. Vizsamodellezés (*Reverse-engineering*) és 3D nyomtatás

A *Reverse Engineering* (vizsamodellezés) eljárással lehetőség nyílik régi alkatrészek, elhasznált szerszámok újra gyártására vagy módosítására olyan esetekben is, ha nem, vagy csak részben áll rendelkezésre műszaki dokumentáció. Az ipari gyakorlatban erre a célra bevált 3D optikai szkenneléssel elmentetben a neutron- és röntgensugárzás nemcsak a tárgy felszínét, hanem belső szerkezetét, üregeit, a benne lévő alkatrészek összességét is képes láttatni. A voxel adatokból ún. szegmentációt is végezhetünk, azaz digitálisan szétválaszthatjuk a tárgy alkotórészeit a gyengítési együtthatóik alapján, és végül



14. ábra. Polikromatikus neutronnyaláb gyengülése különböző vastagságú anyagrégeken történő áthaladás során.



16. ábra. Egy bronz lámpakar és a vizsamodellezett digitális kép (AutoCad dokumentum) alapján 3D nyomtatással készült másolat.

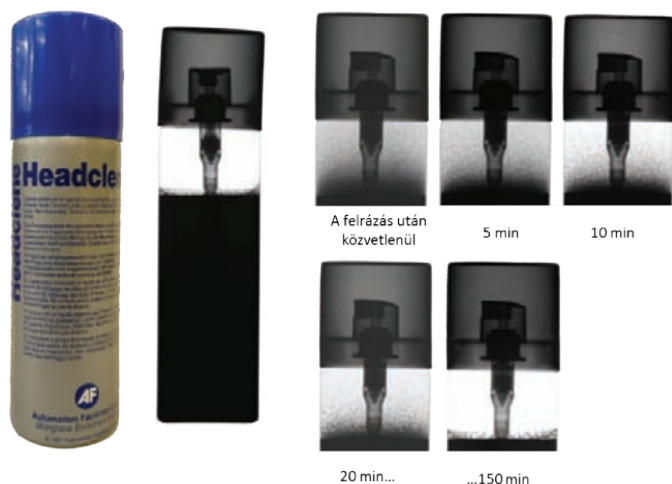
STL formátumba konvertálhatjuk a geometriát (pl. VGStudio MAX Advanced Surface Determination), amely így CAD programokban már közvetlenül felhasználható.

Amennyiben az elkülönített részek anyagi minősége sem ismert, a NIPS-NORMA berendezés [8] kínál megoldást, melyben egy neutronos képalkotási és egy sugárzásos neutronbefogáson alapuló elemanalitikai berendezés egy készülékbe van integrálva, és a kiválasztott pontokban meghatározható a lokális elemösszetétel.

A kapott geometriai és összetételi adatokból immár CNC-vel vagy 3D nyomtatással előállíthatjuk a mintadarab pontos másolatát. A modell digitális „negatívját” felhasználva kapható meg az öntőforma. Neutronos méréseink beállításához ezzel a technológiával létrehozhatjuk a vizsgálandó tárgy 1:1 méretarányú másolatát, illetve egyedi mintatartókat, amelyek biztosítják a szabálytalan alakú tárgyak biztos rögzítését a mintamozgatóhoz [9].

7. Dinamikus folyamatok vizsgálata

A mérendő mérnöki tárgyak egy része időben változik. Ilyenkor hasznát vehetjük a dinamikus radiográfiának, amely leginkább a pár másodpercestől a pár napos folyamatok vizsgálatára alkalmas. Áramló közegek, fluidumok felszívódása pórusos anyago-

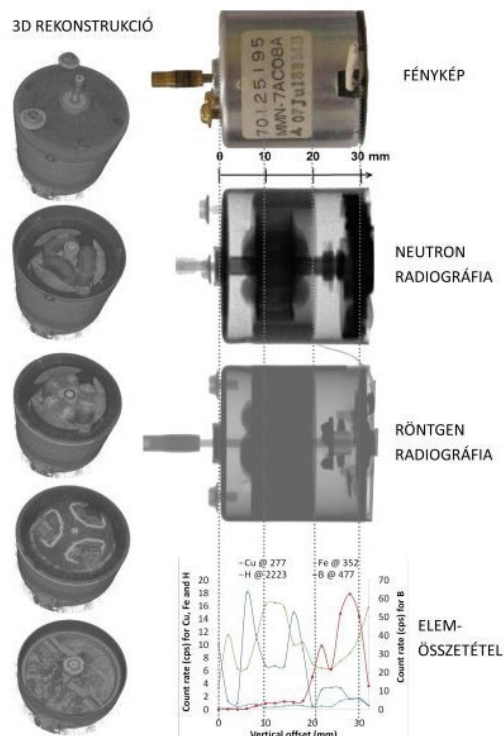


17. ábra. Egy felrázott tisztító sprayben kialakult hab ülepedése az idő függvényében.

kon [10], fázisátalakulás [11], kondenzáció, mozgó gépelemek vizualizációja, lezárt tartályban történő szintmérés a legjellemzőbb alkalmazások.

8. Neutrontomográfia és elemanalízis együttes alkalmazása

A BNC egyik neutronvezetőjén kialakított NIPS-NORMA mérőberendezés világviszonylatban is unikális.



18. ábra. Neutronos és röntgenes képalkotás, valamint lokális elemanalízis együttes alkalmazásával komplex tárgyak is roncsolásmentesen vizsgálhatók, pl. a fenti léptető motor belső szerkezete látható, a baloldali képen a motor egyes „szeletei” jelennek meg a fentről lefelé haladva a tomográfiai ábrázolással, a lenti diagram pedig az elemösszetételt mutatja az egyes szeleteknek megfelelő

A mintakamrát úgy alakították ki, hogy kb. 10x10x10 cm³ méretű tárgyakon ún. neutrontomográfiával kapcsolt PGAI (Prompt-Gamma Activation Imaging) méréseket is meg lehessen valósítani. Ez a kombináció lehetővé teszi, hogy a tomográfiával a tárgy belsejében érdekesnek talált helyeken lokális elemanalízist lehessen végezni. A nyaláb, elhagyva a mintakamrát vagy a tomográfot, vagy egy repülési csövön át a nyalábcspadba jut. A tomográf tartozéka egy xyz mintamozgató asztal, amellyel a tárgyat olyan pozícióba juttathatjuk, amelyet radiográfiai vagy tomográfiai képek alapján érdekesnek vélünk. Leszűkítve a neutronnyalábot és a gamma-detektor kollimátor nyílását a tárgy egy kis térfogatának (ún. izotérfogat) elemi összetételét határozhatjuk meg, azaz PGAI mérést végezhetünk [12]. A 18. ábra egy ilyen kombinált mérést mutat.

9. Régészeti leletvizsgálat

Többféle neutronos technika együttes alkalmazása – más módszerekkel kiegészítve – különösen jól ér-



19. ábra. Az egyiptomi el-Gerzeh piramis egyik sírkamrájából származó rekonstruált nyaklánc és ennek egy eredeti darabja, az egyik „vasgyöngy” (bal alsó kép).

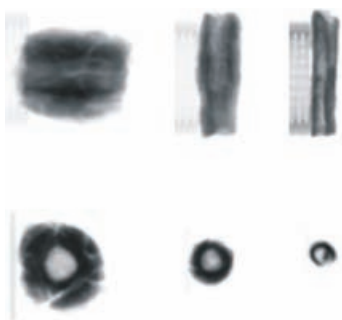
vényesülhet a kulturális örökség tárgyainak roncsolásmentes vizsgálatában, ami iránt az elmúlt másfél évtizedben egyre nagyobb az érdeklődés. A fentebb már bemutatott geográfiai helymeghatározás mellett, a régészeti leletek, műalkotások komplex anyagvizsgálati eredményei nyújtanak segítséget a tárgyak eredetének felderítésében, ősi technológiák megállapításában vagy a műtárgyak restaurálásában, ill. állaguk megóvásában. Pl. egy londoni múzeum gyűjteményében lévő, az emberiség legrégibb vas tárgyainak tartott „egyiptomi vasgyöngyök” meteorit eredetének megállapítása a BNC-s vizsgálatok elmúlt évekbeli egyik kiemelkedő eredménye volt. Mintegy száz évvel ezelőtt az egyiptomi el-Gerzeh piramis egyik sírkamrájában brit régészek kilenc vasgyöngyöt találtak. A régészeti vizsgálatok szerint az említett ékszereket 3200 évvel időszámításunk előtt készíthették, és a feltételezések szerint ezek az emberiség legrégebbi vastárgyai. Először 1928-ban, később az 1980-as években alapos vizsgálatokat végeztek rajtuk, de mindvégig csak a felszínen lévő vasoxid-réteget tudták tanulmányozni, mivel mintavétellel, szétbontással vagy egyéb roncsolással járó vizsgálat szóba sem jöhetett ezeknek a felbecsülhetetlen értékű leleteknek az esetében. Egy EU projekt keretében Thilo Rehnen brit régész a vasgyöngyök közül hármat a BNC-be hozott, hogy neutronos módszerekkel, mintavétel nélküli, roncsolásmentes méréseket végezzen a leletek felületi és tömbi összetételének, szerkezetének megismerése céljából.

Három db vasgyöngyöt vizsgáltunk roncsolásmentes technikákkal: neutronradiográfiával, neutron-diffrakcióval, PGAA -val, és PIXE-val (ez utóbbi is a BNC campuson belül működő eljárás, részecske indukált Röntgen-emissziós spektroszkópia).

A vizsgálatok alapján bizonyítottnak tekinthetjük a vasgyöngyök fémes anyagának meteorit eredetét, ami az elemösszetétel komplex analiziséből következik. A gyöngyök formáját kalapálás, esetleg hengerlés révén hozták létre – például a lapítás ciklikus kalapálás-hőkezeléssel történt, majd a lemezt hengerre formálták. A roncsolásmentes diffrakciós vizsgálat fontos megállapítása, hogy fémes szerkezet (állapot) nem mutatható ki a mintákban az idők folyamán bekövetkezett teljes korrózió miatt. Továbbá azt a következtetést is levontuk, hogy a meteorvasakra jellemző eredeti fémes textúrák (mintázatok) a kalapálós-hőkezeléses megmunkálás során, vagyis már a teljes korróziót megelőzően eltűntek.

Az elemösszetétel és a készítési technika alapján kizárhatjuk ezeknek a gyöngyöknek a késői származását, tehát valóban az el-gerzeh-i lelet ékszerdarabjait tekinthetjük az eddig ismert legősibb, ember által készített vastárgyaknak [14].

A BNC által kínált széleskörű anyagvizsgálati módszerekkel a legkülönbözőbb ipari vagy régészeti kérdésekre lehet választ találni. Nemzetközi összehasonlításban a miéinknél jobb spektrométerek is léteznek, de a berendezéseink együttese és komplexitása egyedülálló. Ezért ha minden kérdésre nem



20. ábra. Az egyik vasgyöngy neutronradiográfiás felvétele.

is tud választ adni a neutronvizsgálat, nagyon sok esetben olyankor is találunk megoldást, amikor más módszerek már tehetetlenek. Az itt végzett vizsgálatok általában eltérnek a gyártásban megszokott minőségellenőrzéstől. Az idehozott speciális ipari problémák első sorban a gyártástechnológia fejlesztését vagy pl. más anyagvizsgálati eljárások eredményinek megerősítését (validálását), esetleg más mérési eszközök kalibrálását szolgálják. Az eredményeket, az azonosított hiba okát szakértői esettanulmány formájában kapja meg a megrendelő. Fontos, hogy ezek az eseteleírások mindig a nyers adatokon túlmutató, komplex analízisek, amelyekkel az anyagtudományi munkatársak a gyártástechnológia javításának irányába mutató megoldásokat javasolnak.

Korszakváltás a neutronkutatásban – új lehetőségek a közeli jövőben

A hazai neutronkutatási, anyagvizsgálati perspektívák szempontjából a következő évtized jelentős változásokat hozhat. A számottevő alapkutatási tevékenység mellett, a neutronnyalábokkal való átvilágítás és megfigyelés eddig is lényeges szerepet játszott számos ipari, archeometriai alkalmazásban. A Budapesti Kutatóreaktor a következő öt évben (jelenleg engedélyezett ciklusának végéig, azaz 2024-ig) továbbra is biztosítani fogja 14-16 mérőállomással az anyagvizsgálati lehetőségeket, sőt egy felújítással vagy átalakítással, azaz egy újabb 10 éves élettartam-hosszabbítással ez a periódus ki is tolódhat. Az Európai Unióhoz való csatlakozás óta megnyílt (könnyebbé és elérhetőbbé vált) az út számos európai neutronforráshoz, ill. ezeknél működő csúcsberendezésekhez. Magyarország csatlakozott az ESS-hez is, tehát 2023 után hozzáférhető lesznek a hazai neutronfelhasználók számára is a világ legjobb neutron spektrométerei.

Másfelől, Európában ma a legtöbb fejlesztés arra irányul, hogy gyorsító-alapú neutronforrásokkal hogyan lehetne kiváltani a tervezett működési idejüket elérő kutatóreaktorok kieső mérési kapacitását. Ehhez nagyobb, 30 – 100 MeV proton energiájú gyorsítókra van szükség, és 30 – 60 milliárd Ft költségű berendezésekre gondolnak, amelyek továbbra is a nagy kutatási infrastruktúrák világába tartoznak. Et-



21. ábra. A Tokiói Egyetemen működő kompakt neutronforrás részei: a nyaláb mentén jobbról balra kaladva: 1. ionforrás, 2. protongyorsító, 3. Be-célállomás, 4. neutronnyaláb vezető, 5. minta és detektor egység.

től eltérő irányban Európában csak Martonvásáron folyik a kompakt neutronforrás fejlesztése, aminek célja egy mindennapi alkalmazások számára hozzáférhető berendezés létrehozása. Ebben a szegmensben eddig Japán jár az élen.

A modernebb hazai fejlesztésnek az is célja, hogy a gazdaságos kompakt neutron-források hatékonyabb, optimalizált, új generációjának prototípusát hozza létre. Ez, mint innovatív, világviszonylatban versenyképes új termék, a hazai neutron műszerexportot is kiterjesztheti.

A fejlesztés a Mirrotron Kft, a MTA Energiatudományi Kutatóközpont és a Varius Kft. által alkotott konzorcium, EU strukturális alapokból jelentősen támogatott vállalkozása [15]. A zöldmezős beruházás 2017 novemberében indult. A normál üzemben két szakember végzi majd az üzemeltetést, és idővel egyszerre akár 8-10 mérőhelyen is dolgozhatnak a felhasználók. 2018 végére elkészült a protongyorsítónak helyet adó épület. Közbeszerzési eljárás keretében történik a gyorsító beszerzése, 2020-21-ben kerülhet sor az első üzemi próbákra. A tervek szerint a gyorsítónak helyet adó épület mellé egy másik is épülhet, ahol onkoterápiás célra használhatják a ne-



22. ábra. Kompakt neutronforrás nagyfontosságú fejlesztése Japánban - mobil alkalmazásként - hidak, felüljárók vasbeton szerkezeteinek átvilágítására.

utronokat.

A csillebércei kutatóreaktorral összehasonlítva az új kompakt neutronforrás az országon belül nem fog konkurenciát teremteni a nagyberendezés használatában. A kutatóreaktor lényegesen nagyobb teljesítményű, mintegy ötezerszer nagyobb intenzitású neutronnyalábjai sokkal szélesebb területen és sokrétűbben használhatók. A daganatos betegségek (agydaganat, melanóma, mellrák) kezelése, az ún. bór-befogásos neutronterápia (BNCT) az egyetlen lehetséges alkalmazási terület, ahol a marionvásári forrás paraméterei a kedvezőbbek. De ez csak esetleges hosszú távú perspektíva, Japánon kívül ma még igen kevesen foglalkoznak BNCT-vel. Ugyanakkor a marionvásári neutronforrás a rugalmas és könnyen hozzáférhető alkalmazásával, lényegesen alacsonyabb működési költségeivel a BNC mellett is igen vonzó vizsgálati laboratórium lehet számos alkalmazás tekintetében. A marionvásári projekt egyik konzorciumi tagja éppen a csillebércei kutatóreaktor működtető MTA Energiatudományi Kutatóközpont hosszú távú szakmai érdekeinek megfelelően, ha nem is a következő pár évben, de belátható időn belül elkerülhetetlen az 1959 óta a hazai tudományt és gazdaságot kiválóan szolgáló csillebércei kutatóreaktor leállítása. A folytatásra időben gondolni kell. Az egyértelmű, hogy Magyarországnak szüksége van tudományos célokat szolgáló korszerű neutronkutatóra, a csillebércei reaktor utódjára. A marionvásári beruházással éppen az ennek gazdaságos megvalósítására alkalmas korszerű kompakt neutronforrás know-how-ja jelenik meg hazánkban. Ezért fontos az akadémiai intézetnek az új beruházás, hiszen itt hozzák létre azt a technológiát, amely megalapozhat egy később megépülő hazai kutatóbázist.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott módszerek és eredmények a Budapesti Neutron Centrum több mint negyedszázados innovációs tevékenységét tükrözik – ezért a munkáért nagyon sok korábban, ill. jelenleg is itt dolgozó kollégát, a Reaktor-üzemben valamint a kísérleti állomásokat üzemeltető laboratóriumokban dolgozó mintegy 100 fős kollektív tagjait illeti köszönet. Az eredmények számos hazai és nemzetközi projekthez is köthetők, melyek a finanszírozáshoz jelentősen hozzájárultak, itt a jelenleg is futó SINE 2020 (EU H2020 Grant No. 654000), a V4-Korea RADCON (NKFIH NN17 127102), az NKFIH K17 124068 és a CAK (NVKP_16-1-2016-0014), BrightNESS-2 (EU H2020 Grant No. 823867) projekteknek nyilvánítunk köszönetet.

Irodalomjegyzék

- [1] Budapesti Neutron Centrum, (n.d.), www.bnc.hu.
- [2] ISIS Neutron and Muon Source near Oxford, www.isis.stfc.ac.uk
- [3] J. M. Carpenter, "Development of Compact Neutron Sources." Nature Reviews Physics1, published online 28 January 2019, pp.177-179. Issue date March 2019.
- [4] NIST SRM 57b - Silicon Metal, (n.d.). www-s.nist.gov/srmors/view_detail.cfm?srm=57B.
- [5] Kasztovszky Zsolt, Magyar Tudomány, 10, 1238 (2011), Zöldfüldi Judit, Kasztovszky Zsolt, Mihály Judith & Sophie Richter: Archeometriai Műhely (<http://www.ace.hu/am/>) 2004 I/1, 16-22.o.
- [6] Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya, M. Balaskó, L.Z. Horváth, B. Maróti, Neutron Based Imaging and Element-mapping at the Budapest Neutron Centre, Phys. Procedia. 69 (2015) 40–47. doi:10.1016/j.phpro.2015.07.005.
- [7] H. Staf, Z. Kis, L. Szentmiklósi, B. Kaplan, E. Olsson, P.-L. Larsson, Determining the density distribution in cemented carbide powder compacts using 3D neutron imaging, Powder Technol. (n.d.).
- [8] Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya, NIPS–NORMA station—A combined facility for neutron-based nondestructive element analysis and imaging at the Budapest Neutron Centre, Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip. 779 (2015) 116–123. doi:10.1016/j.nima.2015.01.047.
- [9] L. Szentmiklósi, B. Maróti, Z. Kis, J. Janik, L. Zoltán, Use of 3D mesh geometries and additive manufacturing in neutron beam experiments, J. Radioanal. Nucl. Chem. (2019) 1–7. doi:10.1007/s10967-019-06482-0.
- [10] V. Crupi, B. Fazio, A. Gessini, Z. Kis, M.F. La Russa, D. Majolino, C. Masciovecchio, M. Ricca, B. Rossi, S.A. Ruffolo, V. Venuti, TiO₂–SiO₂–PDMS nanocomposite coating with self-cleaning effect for stone material: Finding the optimal amount of TiO₂, Constr. Build. Mater. 166 (2018) 464. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.172.
- [11] A. Kiss, M. Balaskó, L. Horváth, Z. Kis, A. Aszódi, Experimental investigation of the thermal hydraulics of supercritical water under natural circulation in a closed loop, Ann. Nucl. Energy. 100 (2017) 178–203. doi:10.1016/j.anucene.2016.09.020.
- [12] Belgya T, Kasztovszky Zs, Kis Z, Szentmiklósi L; Nukleon, 121, 1-6 (2012).
- [13] Szentmiklósi L, Kis Z, Belgya T, Maróti B, Horváth L.Z., Papp M, Fizikai Szemle 2017 (7-8) 240-244
- [14] Rosta L, Belgya T, Káli Gy, Kasztovszky Zs, Kis Z, Kovács I, Maróti B, Szentmiklósi L, Szőkefalvi-Nagy Z, Jambon A, Rehren Th; Hungarian archaeology e-journal • 2013 WINTER, <http://www.magyarregeszet.hu/wp-content/uploads>
- [15] „Moderált neutronok” http://www.innoteka.hu/cikk/moderalt_neutronok.1689.html

Hegesztés automatizálás



Hegesztő robotok és kooperatív, a változó feladatokhoz könnyen, gyorsan alkalmazkodó tanítható robotok



Cégünk vállalja hegesztési feladatok automatizálását, robotizálását. Alkalmazás-technikusaink és mérnökeink a vevői igényt megvizsgálva segítenek kiválasztani a megfelelő megoldást. A folyamat eredménye lehet egy egyszerű automatizálás, vagy akár korszerű számítógépes szimulációval megtervezett robotcella. A kapott eredmény függvényében akár valós bemutatóra is sor kerülhet. Automatizálás esetén akár partnerünknel, míg robotizálásnál a Miskolci Egyetemmel közösen üzemeltetett robot laboratóriumban.



Roncsolásmentes vizsgálatok a vasúti közlekedés biztonságaért

Marosi Ákos - osztályvezető, MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft., Síndiagnosztikai osztály

1. Bevezetés

A vasúti pályadiagnosztika egyik legfontosabb területe a felépítmény elsődleges teherhordó szerkezetének, azaz a sínek állapotának rendszeres vizsgálata, garantálva ezzel a forgalombiztonság magas szinten tartását, és a pálya fenntartásához szükséges adatokat.

A sínek élettartamának növelése, évtizedek óta folyamatos kihívást jelent a szakemberek számára. A 70-es 80-as években a fő szempont az élettartam növelés tekintetében a kezdeti minőség javítására irányult, úgymint a sínben ébredő feszültségek csökkentése (keresztmetszet növelés, profil korszerűsítés), a síngyártás minőségének javítása (hosszúsín gyártás megvalósítása, méretpontosság növelése, szennyezők csökkentése), sínacélok szilárdságnak növelése (kémia összetétel változtatása, hőkezelés). Napjainkban e követelmények a korszerű síngyártással megvalósultak, azonban a hosszú élettartam szempontjából a kezdeti magas minőség megvalósítása önmagában nem elegendő, legalább ugyanilyen fontos a folyamatos karbantartási tevékenység elvégzése is.

Ahhoz, hogy figyelemmel tudjuk kísérni a pálya állapotát, nélkülözhetetlen a pálya diagnosztizálása és az egyes hibaforrások időben történő felismerése. Ezt erősíti az a kialakuló trend is, hogy a vasúti pálya fenntartásban az 1990-es évek előtt jellemző tervszerű megelőző karbantartást fokozatosan felváltotta a (pályaállapot függő) karbantartási stratégia, mely napjainkban kezd kiegészülni a diagnosztika alapú, preventív jellegű karbantartási szemlélettel, valamint az életciklus költségeket (LCC) szem előtt tartó karbantartási stratégiával.

E körülmények megkövetelték a vasúti pályadiagnosztikával foglalkozó szakemberektől, hogy vasúti alkalmazásokra fejlesszenek ki olyan speciális diagnosztikai eszközöket, melyek alapvető roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárásokon alapulnak. A kísérletek a MÁV-nál a pályában fekvő belső sínhibák műszeres felderítésére az 1950-es évek közepén kezdődtek meg. A nyugat-európai vasutaknál hosszú ideig nem volt egyértelmű döntés az ultrahangos sínvizsgálati módszer bevezetése mellett, hanem szinte egy időben foglalkoztak mágneses, radioaktív izotópos, röntgenes és ultrahangos vizsgálatokkal is. A külföldi vasutak többsége – a MÁV-hoz hasonlóan – a megszerzett tapasztalatok alapján az ultrahang-

gal történő sínvizsgálatokat tartotta a legmegfelelőbbnek.

Napjainkban számos vasút specifikus vizsgáló berendezés áll a felhasználók rendelkezésére, az egy és két sínszálas kézi készülékektől kezdve a mérővonalakra telepíthető 50-70 km/h vizsgálati sebességre képes technológiáig. Ezek az eszközök jellemzően a vasúti sínek belső, szabad szemmel nem látható hibáinak felderítésére, azaz a keresztmetszet belsejéből induló repedések, anyagfolytonossági hiányok kimutatására vannak specifikálva.

A vasúti pályát érő igénybevételek ugyanakkor folyamatosan nőnek, köszönhetően az egyre modernebb, nagy teljesítményű, nagy sebességre képes vontató járműveknek és az egyre növekvő vonatforgalomnak. Ennek megfelelően a napjainkban jellemző sínhibák a korábban gyártási eredetű és hegesztési hibák szegmenséből egyre inkább eltolódnak a gördülő érintkezéssel terhelésből eredő fáradásos sínhibák felé. E sínhibák közös jellemzője, hogy nem a sínkeresztmetszet belső tartományából indulnak ki a repedések, hanem a sín futófelületéről kezdődő, a forgalom hatására egyre növekvő repedések keletkeznek.

Bízom benne, hogy e bevezető rávilágít arra a folyamatra, mely a síndiagnosztikai vizsgálatokat egy komplex rendszer szerves és nélkülözhetetlen, folyamatosan fejlődő tevékenységévé teszi. Jelen írásban bemutatásra kerülnek a MÁV KfV Kft. sínek diagnosztikájára irányuló roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerei, melyről elmondható, hogy megfelel napjaink legkorszerűbb technikájának.

2. Roncsolásmentes vizsgálatok a vasúti gyakorlatban

A bevezetőben ismertetett fejlődési folyamatok eredményeként napjainkra kialakultak a vasúti sínek diagnosztikájának jól körülhatárolt vizsgálati módszerei és vizsgáló eszközei, melyek a továbbiakban részletesen bemutatásra kerülnek. A MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft. síndiagnosztikai gyakorlatában az alábbi fő vizsgálatokkal és mérésekkel történik a pályahálózat rendszeres ellenőrzése:

- Ultrahangos sínvizsgálat
- Örvényáramos sínvizsgálat
- Sínek keresztmetszeti kopásának mérése
- Hullámos sínkopás mérés

3. Ultrahangos vizsgálat

Az ultrahangos vizsgálat tekinthető a síndiagnosztika egyik fő tevékenységének, mely egyben a legnagyobb tömegben végzett vizsgálat is. Az alapvető forgalombiztonság fenntartásának rendszeres eszköze, mely a sín (1. Kép) és hegesztési hibák sánto-



1. kép: Ultrahangos vizsgálatnál kimutatott sínhiba

résig történő fejlődési kockázatának minimális szinten tartásához elengedhetetlen. Éves szinten közel 25.000 km vágány ellenőrzése történik meg a kézi és gépi mérőeszközökkel a MÁV KfV Kft. szakemberei által a MÁV és GYSEV vasútvonali mellett további három szomszédos országban.

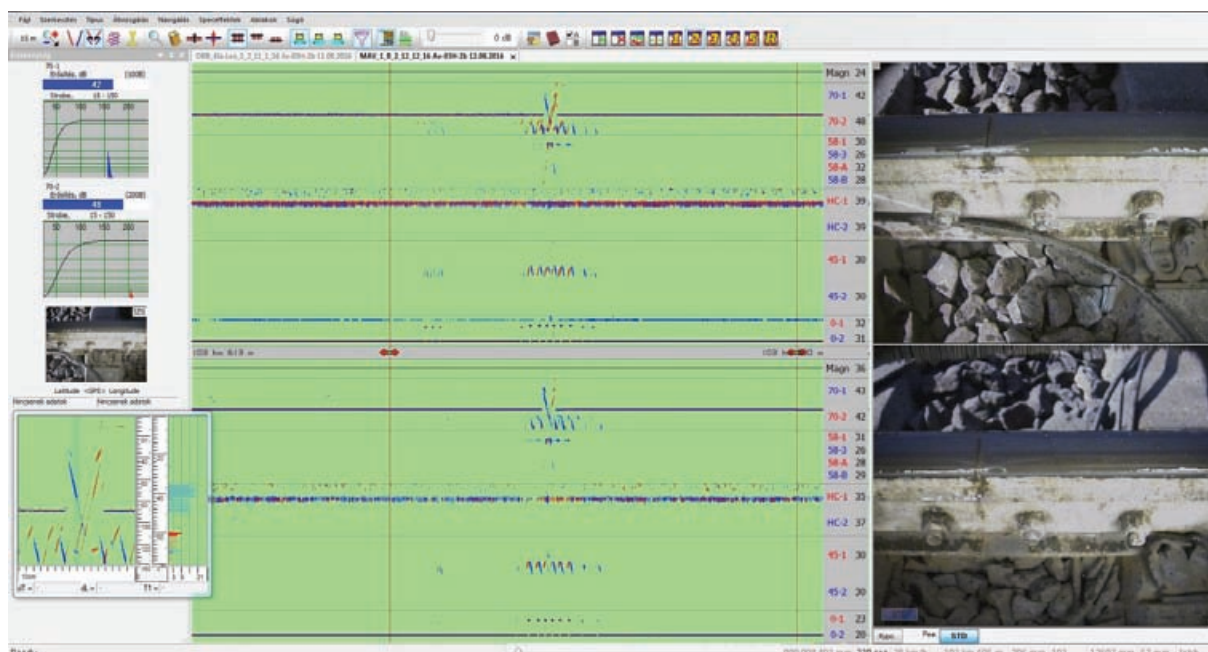


2. kép: Mérő forgóváz és mérő gerenda az ultrahangos vizsgáló fejekkel

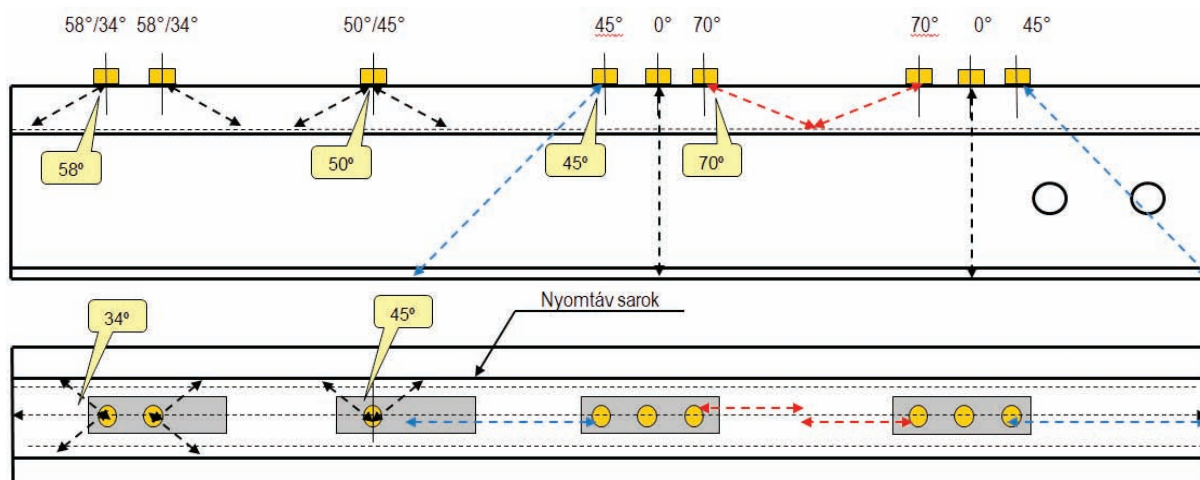
Mérővonati ultrahangos vizsgáló rendszer

A mérővonatra telepített ultrahangos vizsgáló rendszer alkalmas fővágányok nagy volumenű folyamatos vizsgálatára. A mérőrendszer sínszálánként 12 ultrahangos csatornával rendelkezik. A vizsgálófejek pontos pozícionálását (sín középtengelye) és a kitérőkön való biztonságos áthaladását a mérőkocsi közepén elhelyezkedő mérő-forgóváz és annak tengelyei között vezetett mérőgerenda biztosítja (2. kép).

A vizsgálófej csoportok öntött, esztergált műanyag fejhajókban vannak elhelyezve. A maximális vizsgálati sebesség jó minőségű hézagnélküli pályán 70 km/h. A vizsgálat során az egyes ultrahangos csatornák „A” és „B” képei valós időben megjelennek az operátor előtt, aki szükség esetén (csatoláshiány,



3. kép: Ultrahangos vizsgálat „B” képe videó képpel kiegészítve



1. ábra: FMK-008 és SDS mérőkocsi besugárzási elrendezése

sérülés, nem megfelelő pályaállapot, stb.) be tud avatkozni. A vizsgálat során az „A” és „B” képek folyamatosan rögzítésre kerülnek, és a regisztrátum már párhuzamosan a vizsgálat közben értékelhető. A kiértékelő munkáját nagyban segítik a sínszálakról készített jó minőségű lineáris video kamera képek, melyeket a „B” képek mellé szinkronizáltan hozzá illeszt a rendszer (3. kép).

A mérőrendszer a MÁV KfV Kft. FMK-008, valamint SDS síndiagnosztikai szerelvényein üzemel.

Alkalmazott vizsgálófejek sínszálanként 2 db mérőleges, 2 db 45° (előre, hátra), 2 db 70° (előre – hátra), 4 db 58°/34° mely függőleges értelemben 58°, vízszintes értelemben pedig a sín hossztengetyéhez képest 34°-al kiforgatott vizsgálófej (előre, hátra irány, vízszintes értelemben pedig mindkét irányban kiforgatva) és 2 db 50°/45°-os fej. Az alkalmazott vizsgáló frekvencia 2,5 MHz. A besugárzási elrendezést egy sínszála vonatkozóan az 1. ábra szemlélteti.

A fenti képeken és ábrán jól látható, hogy az ultrahangos szondák a sín futófelületén, a sín hossztengetyében vannak vezetve. Ezt a pozicionálást megköveteli az a kíváncsi, hogy a sínfej mellett a teljes síngerinc egészen a sántalpig vizsgálható legyen. Egyfajta kötöttséget jelent, hogy a mérőgerenda keresztirányú mérete bizonyos pályaszerkezeti elemek miatt csak korlátozott méretű lehet, mely így nem teszi lehetővé sínfej szélső keresztmetszeteinek közvetlen, futófelületről történő besugárzását.

A gördülő érintkezési terhelésből eredő fáradásos repedések (Head-Check) zónájának, valamint a sínfej szélső tartományában lévő hibák (4. kép) megbízható detektálása vezetett a fentiekben ismertetett besugárzási elrendezés kifejlesztéséhez. Az ismertetett kötöttségek miatt ebben az esetben ugyanis az ultrahang nyalábot nem lehet közvetlenül a repedésekre irányítani, hanem a sín válláról

visszaverődve kell az ultrahang hullámoknak elérni a reflektáló felületet. Ilyen vizsgáló fejek az 58°/34°-os és 50°/45°-os szondák a mérővonati rendszerben. A Head Check zóna e módon történő közvetett (ugrás távolságú) besugárzása miatt nehézkes a repedések futófelülettől mért mélységének a meghatározása. Az 50°/45°-os vizsgálófej viszonylag nagy érzéken-



4. kép: Head Check hibából eredő sántörés

séggel bír, azonban a mérőrendszer által rögzített regisztrátumon a repedésekről kapott indikációkat jelenleg még nem lehet egyértelműen értékelni és párhuzamba állítani az örvényáramos mérőrendszer által szolgáltatott Head Check repedések károsodási mélységével. A Head Check sínhibák ultrahangos vizsgálatának témaköre, annak fontossága és szakmai kihívásai miatt a jövőben érdekes fejlesztési irány lehet a sínvizsgálatok területén.

Ultrahangos sínvizsgáló kiskocsik (USK)

A kiskocsik alkalmazási területe első sorban olyan másodrendű vasútvonalakra koncentrálódik, melyek mérővonattal nem vizsgálhatók, valamint állomási mellékvágányok és kitérők vizsgálata végezhető el hatékonyan ezzel a mérőeszközzel. A kiskocsik váza az elektronikai egységek, akkumulátorok és



5. kép: Ultrahangos sínvizsgáló kiskocsi

csatolófolyadék hordozására, valamint a berendezés ergonomikus kezelésére szolgál, a kiskocsik kerekei és speciális fejvezető egysége pedig a mérőszondák megfelelő pozicionálását biztosítja a sín futófelületén. Egy ilyen kiskocsit láthatunk az 5. képen.

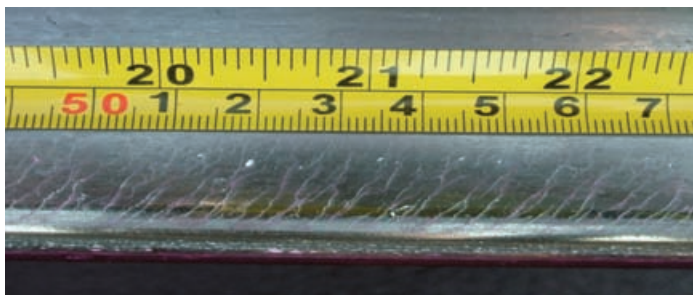
Cégünknel ugyanakkor jelenleg folyamatban van egy fejlesztés az USK kiskocsik korszerűsítésére, melynek során a meglévő gyakorlati tapasztalatokat felhasználva a mai kornak és elvárásoknak megfelelő elektronikával felvértezett (A és B képes megjelenítés, regisztrátum rögzítése) ergonómiailag is testreszabott vizsgáló eszköz megalkotása a cél. A vizsgáló elektronika egyszerre 9 ultrahangos csatornát tud kezelni, mely lehetővé teszi komplexebb besugárzási elrendezés alkalmazását, azaz a sínkeresztmetszet egyidejű letapogatását több ultrahangos vizsgáló szondával

4. Örvényáramos vizsgálat

Mielőtt rátérnék a vasúti környezetben alkalmazott örvényáramos vizsgálati technika bemutatására röviden érdemes összefoglalni a Head Check sínhibák legfontosabb tudnivalóit, mely jelenség ezt az anyagvizsgálati eljárást napjainkra a sínvizsgálatok rendkívül fontos tevékenységévé tette az ultrahangos vizsgálat mellett.

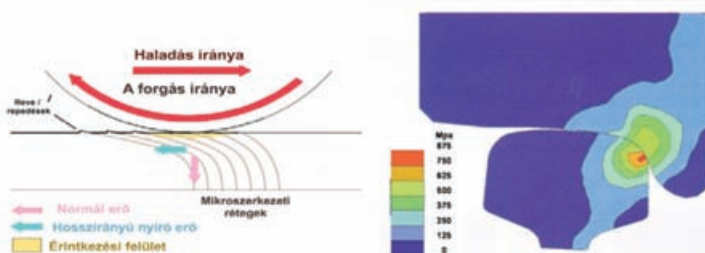
Head Check sínhibák ismertetése

A gördülő érintkezési fáradásból eredő sínhibák egyik legelterjedtebb, legnagyobb tömegben jelentkező típusa, a sín futófelületén, a kerék-sín érintkezési pont környezetében kialakuló hajszálrepedések rendezett sorozata. Ezek a repedések sűrűn,



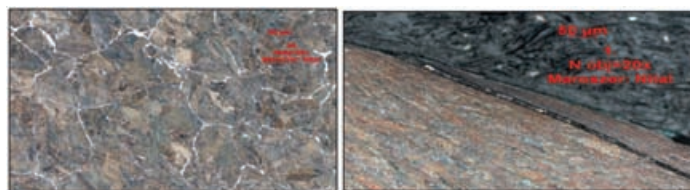
6. kép: Head Check repedések a futófelületen

egymástól néhány milliméter távolságban, a sín hossz tengelyével kb. 45°-os szöget bezáróan jelennek meg a futófelületen, így egy méteres szakaszon akár több száz repedéssel is találkozhatunk (6. Kép). A képen látható repedések első sorban a kerék-sín érintkezési pont fokozott igénybevétele és a jelen lévő súrlódó erők hatására alakul ki (2. ábra). A nagy teljesítményű és tengelyterhelésű mozdonyok kerekei a sínfejjel „körömnymi” felülettel érintkezve, - első sorban gyorsításkor és fékezéskor - nagy hosszirányú csúszatóerőt közvetítenek a felületre, ami a sínfej felső rétegében a kristályrácsok összenyomódását és egymáson való elcsúszását eredményezi.



2. ábra: Repedések kialakulása a hosszirányú nyíróerők hatására és a feszültség eloszlás a sínkerék érintkezési pontban (egy pontos érintkezés esetén)

A nagy feszültségek következtében kialakult folyamatos nagymértékű képlékeny alakváltozás hatására a futófelület közeli rétegek szövetszerkezete átalakul, az anyag felkeményedik, akár az alapszövet keménységének másfélszeresére is. Az ilyen nagymértékű alakváltozás az anyag alakváltozó képességének kimerülését eredményezi, ami repedések kialakulásához vezet (7. kép). A hiba minden



7. kép: Ép alapszövet a bal oldalon és a repedés környezetében deformálódott szövetszerkezet a jobb oldali felvételen

vágánytípuson előfordulhat, de jellemzően az ívekben és a síndőlés nélküli kitérőkben találkozhatunk vele. Azokban az ívekben, amelyeknél túlemelés hiány van, nagyobb valószínűséggel található meg a hiba. Az eddigi vizsgálatok alapján elmondható, hogy a sín korától és összetételétől függetlenül minden sín típuson megjelenik ez a fajta sínhiba, azonban a sín anyagminősége jelentősen befolyásolja a

repedések kifejlődésének gyorsaságát, a repedések alakját, és sűrűségét. A fejrpedések kialakulhatnak elszeparáltan is, pl. nyomszűkülettel rendelkező egyenes pályaszakaszokon, de tipikusan egy hosszabb vágányhosszon vannak jelen, jellemzően egy ív külső sín-szálának teljes hosszában, ahol az elsődleges menetirány (kétvágányú vonalak), vagy az erőteljes vontatási irány (egyvágányú vonalak nagy hosszlejtésű, gyorsítási, fékezési szakaszai) a jellemző.

A repedések kialakulását és növekedését alapvetően két fázisra lehet osztani (3. ábra):

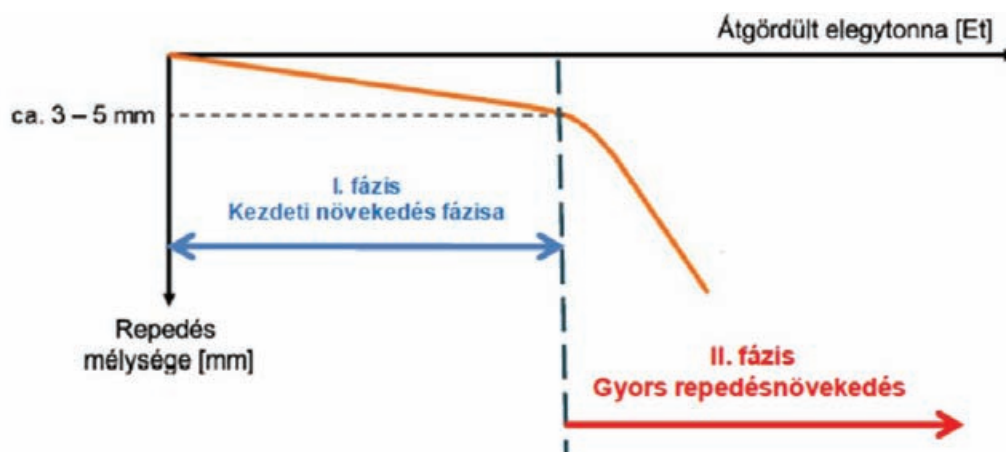
- I. fázis: kezdeti növekedés fázisa, csekély repedésfejlődés,
- II. fázis: gyors növekedés fázisa.

Kezdetben a kerék-sín kapcsolatnál a terhelés hatására bekövetkeznek a képlékeny alakváltozások, és a felkeményedés. Ennek jeleit az érintkezési zónában elszíneződött, barnás árnyalatú sávok mutatják.

Miután a Head Check repedések a sín e felső igen

dési irányát és egy lényegesen nagyobb szög alatt növekszik tovább a sínfejben, egyre növelve a sín-törés kockázatát.

A Head Check sínhibára a 2000-es évek elejétől figyelt fel a szakma az Egyesült Királyságban (Hatfield) bekövetkezett siklásos, sajnos halálos áldozatokat is követelő vonatbaleset kapcsán. Mára a Head Check hibák majd minden vasúttársaság hálózaton – a MÁV hálózaton is – megjelentek. A hibák különböző súlyossági állapotának megfelelően a vasúttársaságok számára egyaránt fontos szempont, a már súlyosan károsodott szakaszok kiszűrése a forgalombiztonság megfelelő szinten tartásához, hosszabb távon pedig a kialakuló hibák kellő időben történő rendszeres diagnosztizálása, mely alapján karbantartási stratégiát lehet kidolgozni a gazdaságosabb pályafenntartás érdekében. Mindkét cél eléréséhez a roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások vasúti környezetben való alkalmazása és fejlesztése jelenti a megfelelő megoldást.



3. ábra: Head Check hibák növekedési fázisai

szilárd rétegén átjutnak mintegy 30°-os szögben tovább növekednek a sínfej belseje felé kb. 3-5 mm-es mélységig. Ezzel egyidejűleg a repedések futófelületen látható hosszai is növekednek. A kritikusnak mondható felületi repedéshossz kb. 20 mm-nél állapítható meg. Eddig a repedések lassabb tempóban és kisebb szögben növekednek.

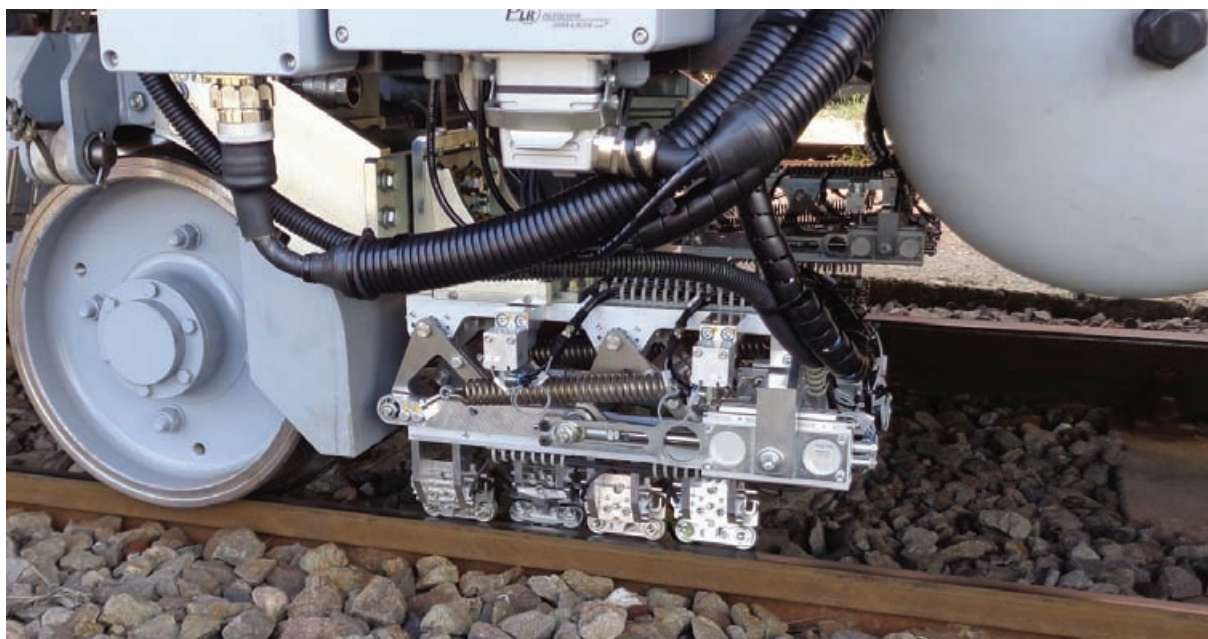
A mintegy 3-5 mm-es repedésmélységtől a sínfej hajszálrepedései megváltoztatják növekedésük lefolyását, melynek során alapvetően két lehetőség van.

A szomszédos repedések együtt növekednek a felület alatt, ami aztán később kitörésekhez vezethet a futófelületen.

A látható repedéshossz növekszik a futófelületen, ezzel egyidejűleg a repedés megváltoztatja növeke-

Mérővonati örvényáramos vizsgáló rendszer

Mivel a Head Check hibák esetén a futófelületről induló, felület közeli repedések diagnosztizálása az alapvető feladat, így az örvényáramos technológia kiválóan alkalmas e repedések kimutatására már az egészen kis mélységű, kezdeti stádiumban lévő hibák esetén is. További előnye e vizsgálati eljárásnak, hogy még a vizuális és penetrációs módszerek csak a repedések felületi hosszára szolgáltatnak konkrét információkat, addig az örvényáramos vizsgálat eredményei a repedések mélységével is összhangba hozhatók. A pályakarbantartás szempontjából a repedések mélysége sokkal informatívabb adat, mivel ennek ismeretében már különböző karbantartási munkákat (sín-csiszolás, sínköszörülés, sínmarás) is jól lehet tervezni.



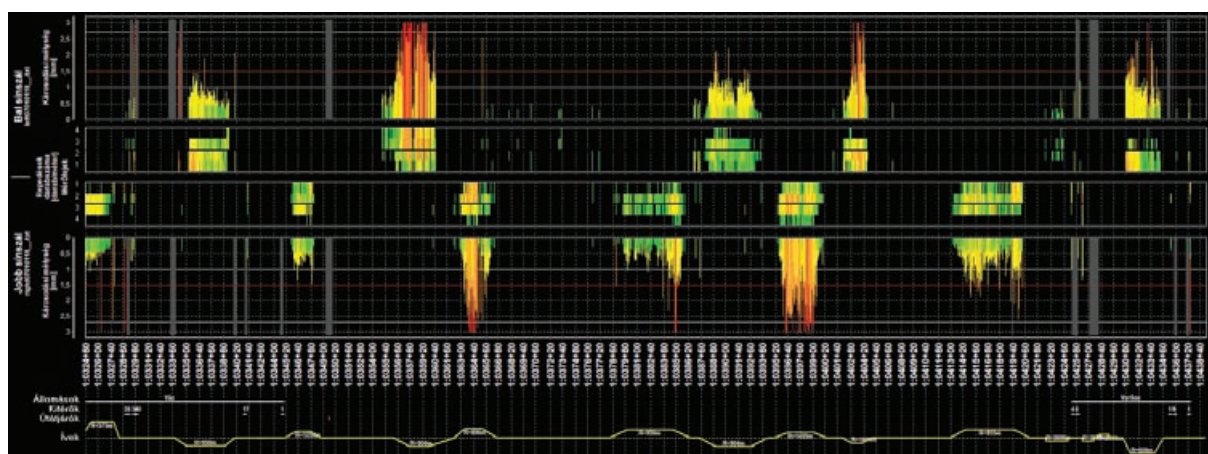
8. kép: Gépi örvényáramos mérőrendszer vizsgáló szondái

A gyakorlatban számos vasúti vizsgálatokra kifejlesztett mérőeszköz áll az anyagvizsgáló szakemberek rendelkezésére. Közös jellemzőjük, hogy a Head Check repedések mélységének számított értékét (károsodási mélység) szolgáltatják fő adatként, melyhez a nemzetközi gyakorlatban meghatározott 25°-os kiértékelési szöget veszik alapul. E műszerek mérési tartománya jellemzően 0,01 – 3,00 mm, így leginkább a repedések kialakulási és kezdeti növekedési stádiumában szolgáltatnak megbízható adatokat, a pályakarbantartás számára

A pályahálózaton tömegesen jelentkező Head-Check hibák feltérképezése, károsodás folyamatának és ütemének megismerése valamint kézzel tartása megköveteli, a nagy teljesítményű mérővonati vizsgáló rendszer alkalmazását. A MÁV KfV Kft-nél, mindkét síndiagnosztikai mérővonatra (SDS és FMK-008) ugyan azt, a német cég által gyártott örvényáramos mérőberendezést telepítettük, mellyel egyszerre mindkét sínszál örvényáramos vizsgálata elvégezhető akár 70 km/h sebesség mellett. A vizsgálat során mindkét sínszálon 4-4 db örvényáramos szonda diagnosztizálja a sín futó és vezetési felületének meghatározott pozícióiban a kialakult hajszál-repedéseket. A szondák vizsgálat közbeni állandó pozícióban tartását (távolság a futófelületről) kis átmérőjű acélgörgők biztosítják. A vizsgáló mechanika a mérőforgóváz kerekei elé nyúlik ki egy konzoltartón keresztül (8. kép).

A hibák minősítése a károsodási mélység alapján történik, melynek méterenkénti maximális értékét és az adott méterhez tartozó repedés darabszámot szolgáltatja a mérőrendszer mindkét sínszálra. A mérési eredmények irodai programban, út alapú diagramon, tetszőleges léptékben, szemléletes formában ábrázolhatók ezáltal könnyen áttekinthető a

A hibák minősítése a károsodási mélység alapján történik, melynek méterenkénti maximális értékét és az adott méterhez tartozó repedés darabszámot szolgáltatja a mérőrendszer mindkét sínszálra. A mérési eredmények irodai programban, út alapú diagramon, tetszőleges léptékben, szemléletes formában ábrázolhatók ezáltal könnyen áttekinthető a



4. ábra: Head Check hibák grafikonja egy állomásközbe

vizsgálat pályaszakasz állapota (4. ábra) és a szükséges karbantartási munkálatok megtervezhetők.

Kézi örvényáramos sínvizsgáló rendszer

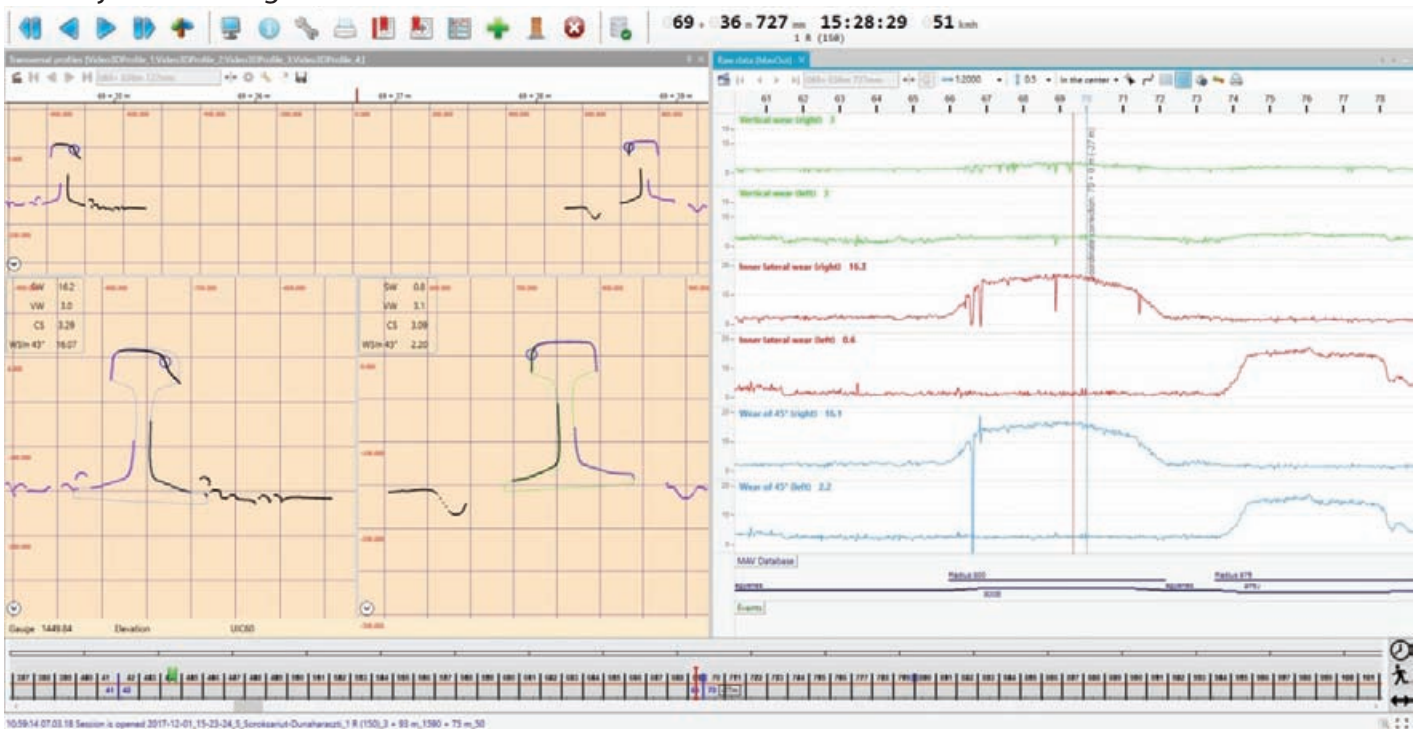
A kézi örvényáramos műszerek a mérővonati rendszerrel egyező paramétereket szolgáltatnak, mint a repedések károsodási mélysége és darabszáma egy méteren azonban egyidejűleg egy sínszál vizsgálatára alkalmasak összesen 4 mérőszondával. Alkalmazásuk első sorban kitérők, vizsgálatára koncentráliódik.

5. Sínek keresztmetszeti kopásának mérése

Az üzemszerű használat során a közlekedő járművek kerekei a vágány sínjeivel vannak kapcsolatban, azokat folyamatosan koptatják, lapítják, esetleg deformálhatják. A síndiagnosztika fontos eleme a vasúti

felvehető, ilyenek például a külső oldalkopás-síndőlés, sínfej szélesség, magasság, stb.

A mérővonatra telepített gépi sínprofilmérő berendezés mérőfejei a sínszálak felett helyezkednek el a sín futófelülete fölött 258 mm-el, a mérőkocsi futó forgóvázának közvetlen közelében. A mérőrendszer sínszálanként 2-2 lézer egység segítségével dolgozik. A sínszálra vetített lézersugarak képét optikai kameracsoport veszi fel és illeszti a szabványos szintípusra, melynek alapján a kopási paraméterek számíthatók. Ennek megfelelően ez az elv érintkezésmentes mérést tesz lehetővé, maximum 120 km/h sebességgel. A jó adatgyűjtés érdekében 2-2 lézer egység és optikai kamera rendszer került sínszálanként elhelyezésre egy-egy sínprofilmérő egységben. A sínkopási jellemzők tehát a gyári sínprofilhoz képest adják meg az eltéréseket, ezért a sínprofil mérés során a vizsgált sín típusát, annak gyári keresztmet-



5. ábra: Kopott sínkeresztmetszet a jellemző sínkopási paraméterek grafikonjával

vágány sínjeinek alak és kopás szempontjából történő ellenőrzése, a kopási folyamat nyomon követése és a határértékeket meghaladó keresztmetszetek kiszűrése. E feladatnak tesz eleget a sínprofil mérés. A sínprofil mérés során a sínkeresztmetszet több jellemzőjét vizsgáljuk.

Ezek közül legfontosabbak a következők:

- Magassági kopás, oldalkopás, valamint e két értékből számított kiegyenlített magassági kopás.
- Ezeken kívül még számos sínkopási paraméter

szeti adatait is ismerni kell. Az egyes sínkeresztmetszeti jellemzők mértékét előírás szerinti határértékek szabályozzák. A mérővonatainkon működő sínprofil mérőrendszerek az egyes sínkopási paramétereket grafikus formában (5. ábra) az út függvényében megjelenítik, valamint a megrendelő által kért jellemzőkről nyomtatott grafikonokat, illetve a határértéket túllépett helyekről hibalistát szolgáltatnak. Az irodai számítógépes rendszer segítségével további elemzések készíthetők.

Egyenértékű kúposág paraméter

Az egyenértékű kúposággal való foglalkozás viszonylag új téma a felépítmény diagnosztikában, mely szorosan kapcsolódik a sínprofil méréshez. A kötelezően alkalmazandó infrastruktúra ÁME (átjárhatósági műszaki előírás) megjelenése óta kell a témakörrel alaposabban megismerkedni. Az egyenértékű kúposág egy olyan mennyiség, amely egy adott kerékpár keresztirányú mozgását jellemzi egy adott vágányon, állandó sebességű haladás és egyenes pálya esetén. Az egyenértékű kúposág a kigyózó-mozgást befolyásolja, és ezen keresztül a járművek keresztfutási stabilitására, illetve az utasok lengéskényelmére, komfortérzetére van kihatással. Nagy értéke esetén instabil futás alakulhat ki, mely szélsőséges esetben siklás veszélyt is jelenthet.

Mivel az egyenértékű kúposág a kerékpár és sín-pár kölcsönhatását leíró mennyiség, így a számításának elvégzéséhez pályás szempontból a sínprofil, síndőlés és a nyomtáv a három szükséges paraméter, jármű oldalról pedig a kerékprofil és kerékhátlap távolság a bemenő adat. Számítható elméleti új profilok és valós, mért kopott profilok alapján is. Különböző célokra e profilok különböző párosításai használatosak:

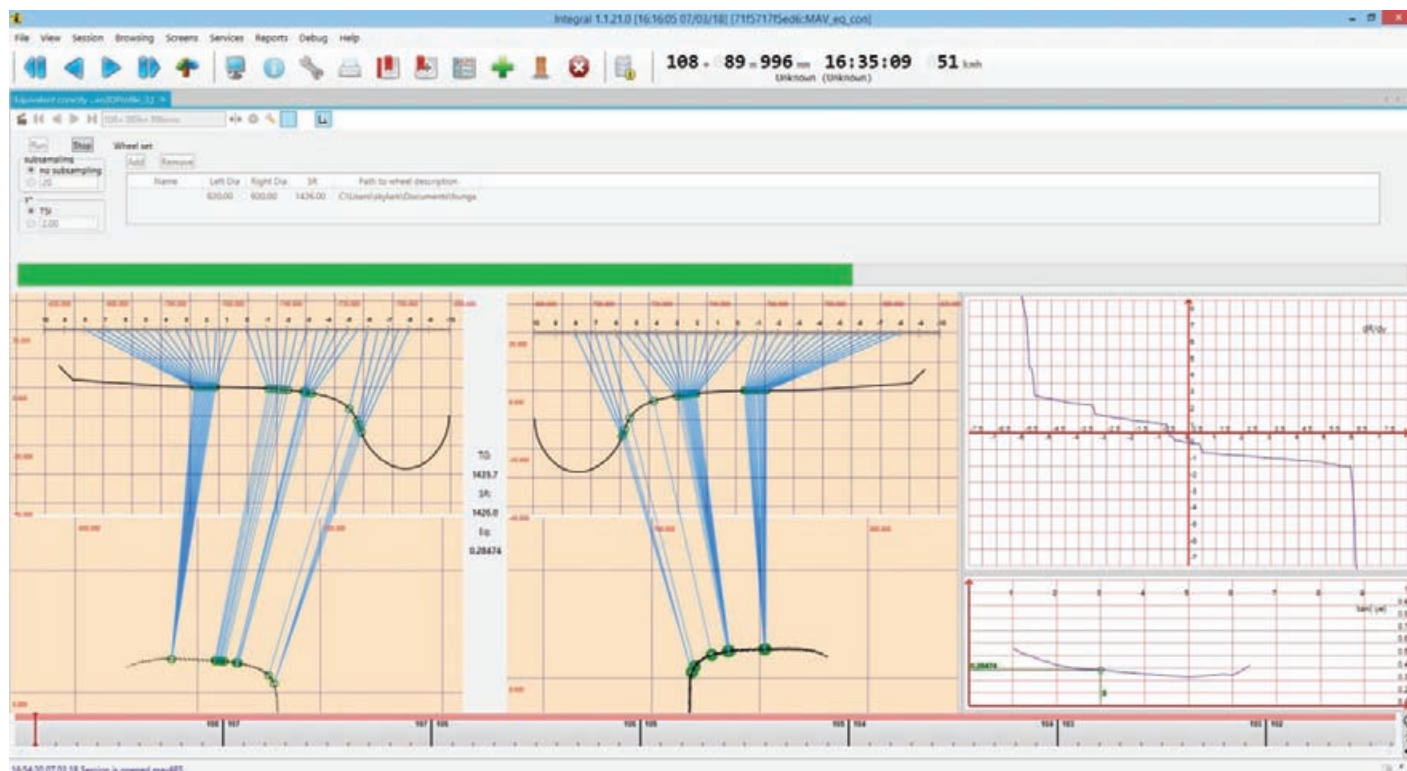
- elméleti új kerékprofil-pár – elméleti új sínprofil-pár: pálya-tervezésnél, jármű-tervezésnél használják;

- elméleti új kerékprofil-pár – mért, kopott sínprofil-pár: pálya üzem közbeni minősítéséhez használják;
- mért, kopott kerékprofil-pár – elméleti új sínprofil-pár: járművek üzem közbeni minősítéséhez használatos;
- kopott kerékprofil-pár – kopott sínprofil-pár: új járművek típusvizsgálata során a befutandó pálya minősítéséhez, illetve üzem közben felmerült futási problémák behatóbb vizsgálatához használják.

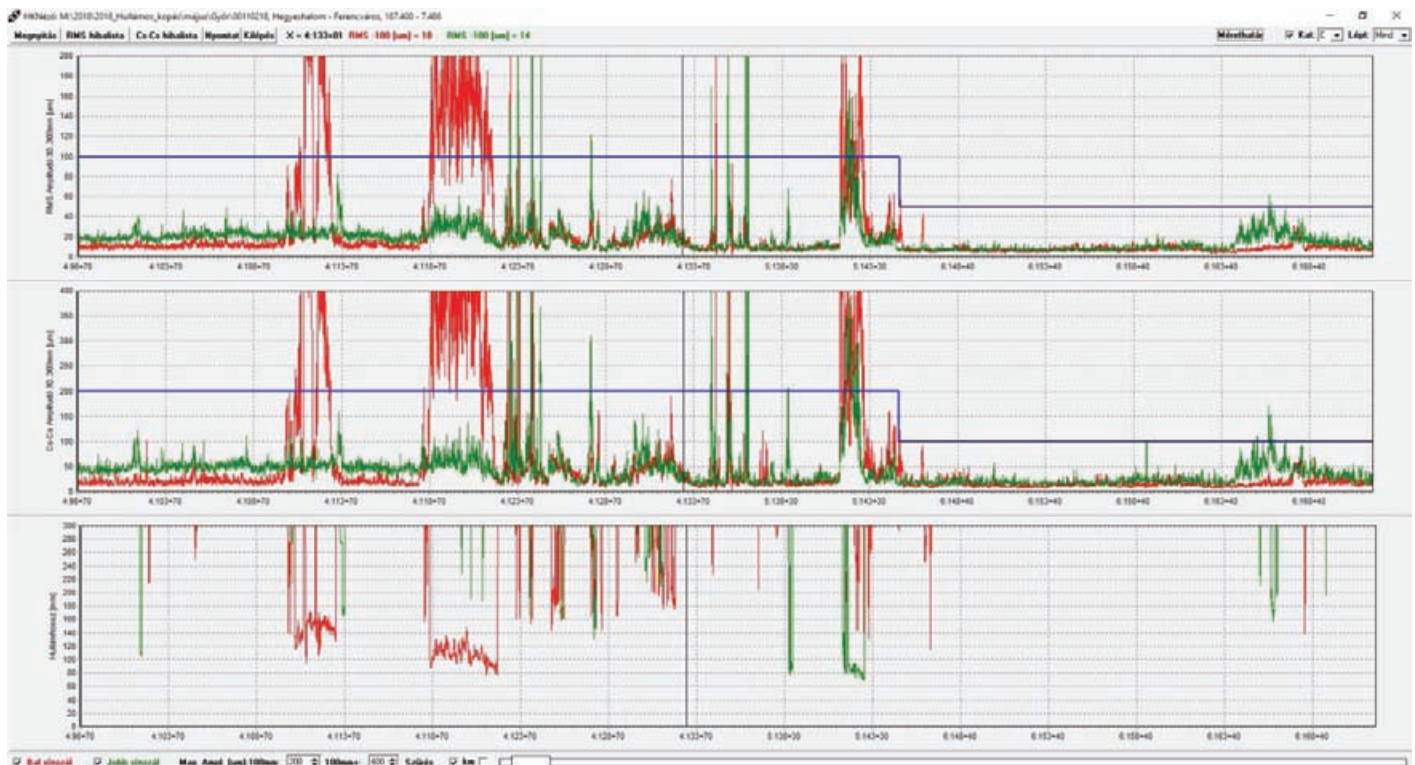
A 6. ábrán az egyenértékű kúposág számításának első lépései láthatóak, azaz a keréksugár-különbség előállítás a kerékpár keresztirányú kitérésének függvényében, melyhez egy tartományon belül minden keresztkitérésre illeszteni kell egymáshoz a kerékprofil-párt és a sínprofil-párt. A számítás az FMK-008 mérőkocsin üzemelő sínprofil mérőrendszer szoftverével elvégezhető.

6. Hullámos sínkopás mérés

A vasúti sínek magassági és oldalkopása mellett, jellemzően a kissugarú ívek belső sínszálán figyelhető meg a sínfej felületi hullámos kopása. Ezek általában rövid hullámhosszúságú (30-300 mm) kopások, kis hullámmélységgel, ismétlődésük szabályosnak mondható. A gyakorlatban előfordulnak hosszabb



6. ábra: Egyenértékű kúposág számítása



7. ábra: Hullámos sínkopás mérési grafikon

hullámhosszúságú hibák is, ezek már szemmel nem megfigyelhetők. A hullámos sínkopás vizsgálata az utóbbi időszakban került előtérbe, ugyanis a pályasebességek növekedésével a hatásuk egyre jobban megmutatkozik. A sín futófelületén kialakuló hullámos sínkopással érintett pályaszakaszokon átgördülő szerelvények jelentős többlet dinamikus erőhatást okoznak mind a jármű, mind pedig a vasúti felépítmény számára.

A sínek ilyen jellegű futófelületi hibáit hosszuk és mélységük alapján osztályozzuk és hullámosodás (10-30 mm), rövid (31-300 mm), és hosszú hullámú (301-1000 mm) hullámos kopás megnevezéssel különböztetjük meg. A hullámhosszak néhány centimétertől több méterig terjedhetnek, a mélységük a századmilliméteres nagyságrendtől kezdve nagyobb hosszak esetén elérheti a néhány milliméteres nagyságot is.

A mérővonatokon működő mérőrendszer képes a hullámoskopás nagyságát megmérni, azaz a kialakult hullámok amplitúdóját (A) valamint hullámhosszát (W) meghatározni a 30 – 300 mm-es hullámhossz tartományban. Sínszálszámként két-két induktív tekercs van elhelyezve a hőmérsékletfüggőség kompenzálás miatt egy megfelelő bázishosszúságú ultrahangos fejhajóban. A mérés kontaktus nélkül, nagy felbontású induktív érzékelőkkel történik, melyek a bázissík és a futófelület közötti távolságot rögzítik. Az egyes érzékelők mérési tartománya

5mm. E tartományon belül a mérőfejek felbontása jobb, mint 1µm, ami lehetővé teszi a nagysebességű pályákon történő mérést.

A mérőrendszer által szolgáltatott eredmények (amplitúdó és hullámhossz értékek) irodai programban út alapú diagramon, tetszőleges léptékben szemléletes formában sínszálszámként megjeleníthetők (7. ábra). Az mért amplitúdók kiértékelése két módszer szerint is megtörténik, csúcstól csúcsig (MÁV D.54. sz. utasítás), valamint az RMS (EN 13231-3) értékek formájában. A mérethatár értéket meghaladó szakaszokról hibalista generálható a további elemzések elvégzéséhez. A sínkarbantartási munkák (csiszolás, köszörülés, marás, gyalulás) megtervezéséhez a Head Checking hibák mellett szintén fontos és figyelembe veendő paraméter.

7. Egyéb vizsgálati módszerek

Az előzőekben ismertetett, nagy volumenben végzett négy fő sínvizsgálati módszer mellett érdemes még említést tenni a sínek semleges hőmérsékletének méréséről, valamint az egyenességmérésről.

Semleges hőmérséklet mérés

Az összehegesztett sínekben, vagyis a hézag nélküli vágányokban jelentős hosszirányú erők lépnek fel. A hézag nélküli vágányokat úgy kell megépíteni és fenntartani, hogy stabilitásuk bármilyen előfordu-

ló sínhőmérsékleten fellépő hőmérsékleti erők és a járművek által átadott erők hatása alatt is megmaradjon. A tényleges semleges hőmérséklet (az a sínhőmérséklet, amelynél a sínszálban nincs hőmérsékleti feszültség) megbízható ismerete a vasút biztonságos üzemeltetésének egyik fontos kérdése. A vágány tényleges semleges hőmérséklete (TSH) sokféle ok miatt nem marad meg a kialakítási értéken. A TSH rendkívüli fontossága miatt annak helyes kialakítását mérésel szükséges ellenőrizni, a forgalom biztonsága, valamint a HN (hézagnélküli) vágányokban szükséges munkák szakszerű elvégzése érdekében!

A TSH meghatározásának egyik módszere az úgynevezett RailScan műszerrel történő mérés. A RailScan készülék a mért felületet hossz- és keresztirányban átmágnesezve kapott Barkhausen zajból egy mágneses jellemzőt határoz meg. E mágneses jellemző értéke függ a sínben lévő nyomó ill. húzó feszültség értékétől. A termikus feszültség értéke változik a sín hőmérséklet függvényében, így ha különböző sínhőmérséklet mellett meghatározzuk a mágneses jellemző értékét, akkor számítani lehet a sínszál semleges hőmérsékletének értékét. Az eljárás hátránya, hogy két különböző hőmérsékleten (min. 7°C különbség) kell ugyanazokban a keresztmetszetekben elvégezni a mérést.

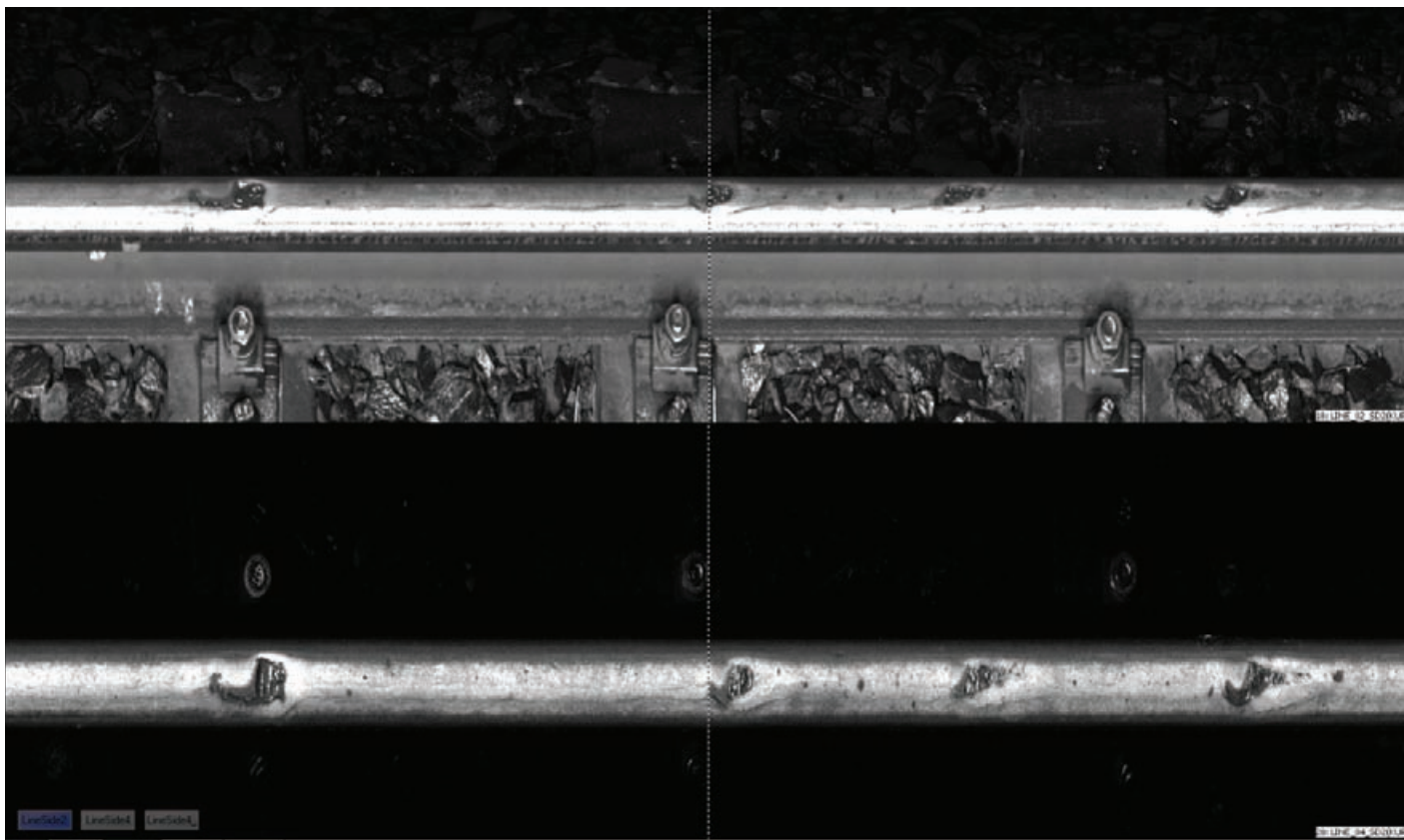
Egyenességmérés

A sínekben a hegesztések kialakításával egy kemény pont került elhelyezésre, melynek geometriai egyenessége nagymértékben befolyásolja a vágány állapotát. A hegesztéseken fellépő tizedmilliméteres futófelületi hibák jelentős vágánygeometriai hibákat okoznak. A hegesztések kivitelezéskor az egyenességet kezdetben csak acélvonalzóval ellenőrizték, de a sebesség emelkedése, a minőségre való nagyobb igény, a pályafenntartási költségek csökkentése egy új vizsgálati eljárást a műszeres egyenesség méréstette szükségessé. Ennek az eszköznek a segítségével a sínszálak egyenességének a mértéke (futó és vezetőfelületen) nagy pontossággal mérhető és eltartható.

Az egyenességmérő készülékek 1 m hosszúságú mérőgerendából és a hozzá csatlakoztatható kézi számítógépből állnak. A mérőgerenda, mint bázissík és a mérendő felület közötti távolságot fix kapacitív elven működő szenzorok mérik.

8. Jövőbeni fejlesztési irányok

Elmondható, hogy a bemutatott sínvizsgálati módszerek és eszközök teljes mértékben megfelelnek a síndiagnosztikával szemben támasztott követelményeknek, és napjaink korszerű technikájának egy-



9. kép: Lineáris kamerákkal detektált futófelületi sínhibák

aránt. Mindezek mellett azonban, szükséges folyamatosan figyelemmel kísérni az egyes szakterületek fejlődési irányait, és az abban rejlő lehetőségeket. A számítástechnika fejlődésével már megvan annak a lehetősége, hogy az ipar más területén alkalmazott és bevált módszerek a síndiagnosztikai vizsgálatokban is alkalmazásra kerüljenek. A jövőben nagy potenciál lehet többek között a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálati technológia vasúti környezetbe történő adaptálásában, mellyel már több cég konkrét technikával jelentkezett.

A MÁV KfV Kft.-nél a síndiagnosztikai szolgáltatások színvonalát jelenleg az ultrahangos vizsgálatot kiegészítő video kamera felvételek automatikus kiértékelésének fejlesztésével igyekszünk emelni. Sínszalanként két-két lineáris kamera alkalmazásával a sínek felületén szabad szemmel is jól látható hibák automatikus felismerése, azaz a futófelületi sínhibák kimutatására specifikált videoinspekciós rendszer kifejlesztése a kitűzött cél (9. Kép).

A roncsolásmentes vizsgálati módszerek fejlesztése mellett egyes kutatási témák kidolgozása és felkutatása is rendkívül fontos lenne néhány témakörben, mint például

- Az érintkezési feszültségek, feszültségcsúcsok vizsgálata sín-kerék kapcsoltnál,
- Dinamikus igénybevételek hatása (hullámos sínkopás, kívülgyelődött hegesztés, lapos kerék)
- Sín-kerék anyagok törésmechanikai jellemzőinek vizsgálata, összehangolása

9. Összefoglalás

A cikkben bemutatásra kerültek a vasúti sínek roncsolásmentes vizsgálatának legfontosabb módszerei és eszközei. E komplex rendszer elsődleges célja a forgalombiztonság garantálása, a síntörések megelőzése az egyes sínhibák minél korábbi fejlődési stádiumban történő kimutatásával. A síndiagnosztikai tevékenység hatékonysága a korszerű és megbízható vizsgáló eszközök alkalmazása mellett a rendszerességben rejlik. A vizsgálatok periodikussága lehetőséget biztosít az egyes sínhibák fejlődési ütemének megfigyelésére, mely információk nélkülözhetetlenek a hosszú távon gazdaságos, életciklus költségeket tekintve optimális sínkarbantartási stratégia felépítéséhez egy vasúttársaságnál.

Irodalom:

- [1] Marosi Ákos, Ultrahangos vizsgálatok alkalmazása és korlátai a vasúti sínek Head-Check hibáinak diagnosztizálásában, UT3 fővizsga dolgozat, 2018
- [2] Béli János: Síncej-hajszálrepedések megjelenése a MÁV hálózaton 1.-4. rész, Budapest, 2010-2011
- [3] Széchenyi István Egyetem, A síncej hajszálrepedések (HC hibák) kezelésének lehetőségei, Győr, 2014.
- [4] ÖBB, Florian Auer, Alfred Wöhhart, - Head Check – Síncej hajszálrepedések, Bécs, 2008
- [5] Railtrack tanulmány, Gördülési érintkezési fáradás a sínekben, 2001
- [6] MÁV Zrt.: D.5. Pályafelügyeleti Utasítás, Budapest 2017
- [7] MÁV Zrt.: D.10. Utasítás – Vasúti sínek diagnosztikája, Budapest 2017
- [8] Daczi László, Felépítménydiagnosztika, MÁV, BGOK oktatási segédlet, 2018
- [9] Noel Dubé (R/D Tech), Bevezetés a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálati technológiába, 2004
- [10] Tóth Anita: A síndiagnosztika szerepe a vasúti pálya felügyeletében, különös tekintettel a napjainkban jellemző sínhibák kezelésére, BME TDK konferencia 2017., Budapest
- [11] Dr. Tóth L., Dr. Béres L., Dr. Unyi B. Korszerű sínanyagok és minősítésük, Közlekedéstudományi szemle 1979, 338-344.-oldal,
- [12] UIC 70712:2018 Nemzetközi vasútegyet – Sínhibák
- [13] Ágh Csaba, Egyenértékű kúposág, PPT előadás, 2017



tripladuplav.hu

VELÜNK HÁROMSZOR JOBBAN JÁR

- ☑ Domain név regisztráció
- ☑ Tárhely szolgáltatás
- ☑ Internetes alkalmazás fejlesztés
- ☑ Honlap készítés
- ☑ On-line marketing
- ☑ IT biztonság
- ☑ Kreatív design

www.tripladuplav.hu **webstúdió**

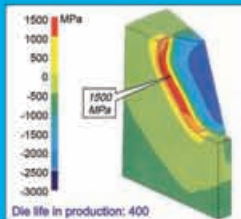


Triplán megbízható társ a webes világban

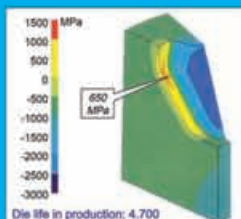
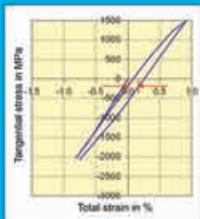


ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

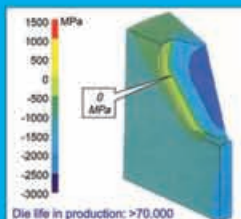
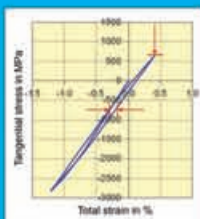
Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu 2019/IV. lapszám



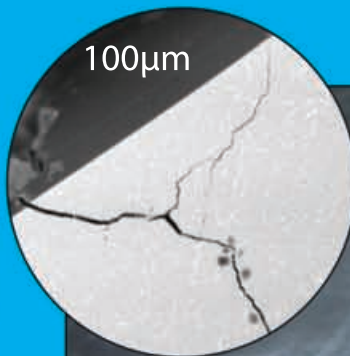
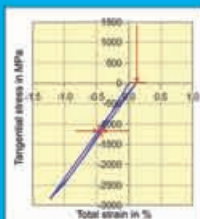
Die life in production: 400



Die life in production: 4,700



Die life in production: >70,000



ELŐZETES

- *Nyomástartó rendszerek biztonságáért díj*
- *MAROVISZ hírek*
- *Roncsolásmentes vizsgálattechnika*
- *Helyzetkép*
- *Képzések és tanúsítások*
- *Portré*

A HAJDÚSZOBOSZLÓI TARTÁLYFELSZAKÍTÁSI AKUSZTIKUS EMISSZIÓS MÉRÉSEK

(Tanulságok a Hajdúszoboszlón végzett tartály-felszakítási kísérletek alapján)

Pór Gábor¹, Geréb János², Zsoldos Zsuzsa³, Szabó Szebasztián⁴

¹ECOTECH Nonprofit Zrt, Dunaújváros

²Geréb és Társa kft, Budapest

³ÁEF, Budapest

⁴Dunaújvárosi Alkalmazott Tudományok Egyeteme

Kivonat

A 2010 óta már több alkalommal végzett tartályfelszakítási vizsgálatok közül elsősorban a legutóbb a Hajdúszoboszlón a PÉBÉ-COOP Kft és a kezdeményező BME ATT jóvoltából végzett kísérletek tanulságára koncentrálna áttekintjük a hazai és nemzetközi gyakorlatot. Mindegyik mérés igen értékes tapasztalatokkal gazdagította az akusztikus emisszióval foglalkozók fegyvertárát. Összefoglalónkban elsősorban a szerzett extra tudásokról akarunk beszámolni, némi nemzetközi kitekintéssel. Ebben benne van, az osztrák és ukrán résztvevők sikeres detektálása, de bemutatjuk a második méréssorozat feldolgozása során az AED-40 konfigurálható szűrővel szerzett jobb lokalizációs tapasztalatainkat is, amelyek elsősorban a hasonló feladatokon dolgozó fejlesztők érdeklődésére tarthat számot. Bizonyítjuk, hogy lehet tovább javítani a lokalizációt, ami a felhasználások előrejelzésére is használható.

1. Bevezetés

A PÉBÉ-COOP Hajdúszoboszlói telepén két év különbséggel végrehajtott, 5 köbméteres tartályokon végzett tartály-felszakítási kísérletek egyik célja az volt, hogy az üzemeltető egy olcsóbb tartályminősítési módra térhessen át. Ennek lényege, a bevezetendő új szabvány [1] szerint az, hogy egyszerű falvastagság méréssel, és az adott anyagok anyagszerű tudására támaszkodva is lehessen minősíteni a tartályokat a továbbüzemelés szempontjából, elkerülve a költséges, és a tartály élettartama szempontjából, egyes vélemények szerint, nem kívánatos nyomásterheléses méréseket. Ehhez, kiegészítésként, két alkalommal akusztikus emissziós (AE) méréseket is szerveztek, korlátozott számú résztvevővel, meghívásos alapon. A résztvevő akusztikus emissziós mérőcsapatok szívesen vettek részt a mérésekben, hogy fejlesszék ismereteiket a tartályok tönkremenetelének AE mérésekre alapozott értékelésére. Az egyes mérőcsoportok elég különböző gyakorlatossággal rendelkeztek. AE terén igen kevés lehetőség van összehasonlító mérésekre, hiszen

nincs, aki finanszírozza. Márpedig az ilyen mérések-ből nagyon sokat lehet tanulni: lehet a módszereket továbbfejleszteni, össze lehet vetni a már ismert és használt esemény- és lokalizációs eljárások eredményével. Ez még az azonos gépet használók esetében is igen érdekes és értékes, hátha még az osztrák és ukrán műszerekkel mértekkel is össze lehet vetni! És nyertünk! Mit is nyertünk? Tapasztalatokat! Módszereket. Bepillantást a másik munkájába. Nyugodtan tekinthetnénk akár körvizsgálatnak is, ha mindenki részt vehetett volna a mérésekben, és a körvizsgálat egyéb előírásai is teljesültek volna.

A Dunaújvárosi (akkor még) Főiskolán Fodor Olivér aktív segítségével (és már akkor is a PÉBÉ-Coop-tól leselejtezett tartályokon) 2009 és 2011-ben rendeztünk két tartály-felszakítási kísérletet bevallottan módszertani összehasonlítás céllal [2,3]. A második - Fücsök Ferenc jóvoltából - valódi körvizsgálatná ne-mesedett. Most Dobránszky Jánosnak kell köszönetet mondanunk, hogy a BME tanszék és a PÉBÉ-Coop érdekében és jóvoltából összehozott tartály-felszakítási kísérletekbe bevont minket [4], még akkor is, ha a meghívás nem volt teljes körű, amit többen fáj-laltak. A 2019. évi RAKK konferencián mutattuk be a legutóbbi mérések néhány eredményét, és az ott leadott cikk alapján kaptunk felkérést az Anyagvizsgálók Lapjában (AVI Lap) való publikálásra. De ez a cikk nem annak az egyszerű ismétlése. Azóta megkaptuk az egyik szerző (GJ) ukránokkal publikált részletes eredményeit [5], amire nem egyszerűen csak hivatkozunk, hanem több eredményt beillesztünk ebbe a cikkbe, mivel az eredetileg orosz nyelven íródott, és nem mindenki tudja könnyen olvasni. Hivatkozni szeretnénk Pál Csabának az AVI Lap előző számában megjelent cikkére is [11], amelyben bemutatta, hogy ők milyen módszereket használnak a hazai AE tartályminősítési gyakorlatban.

Ennyi bevezető után pedig fogjunk hozzá, mit is mértünk, és mit is tanultunk a két alkalomból, hozzátéve, hogy az első, a gazdagabb alkalomról már beszámoltunk az előző RAKK konferencián [6]. Itt most a nagyobb hangsúlyt az új eljárásokra, tapasztalatokra helyezzük.

2. Tartályok, résztvevők, mérések leírása

2.1 Tartályok

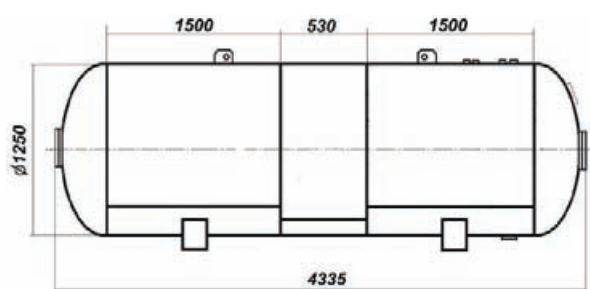
Az összes vizsgált tartály valamennyi paraméterét nem írjuk itt le, azok megtalálhatók a hivatkozott jelentésekben [5,7,9]. Bár az 5 köbméteres tartályok fő méretei azonosak, de a hegesztési varratok elrendezése nem (lásd az 1. ábrát).

A Hajdúszoboszlón végzett kísérletekben csak egyetlen tartály, a 24344. számú került előpreparálásra. A 2. ábrán látható helyen köszörüléssel elvékonyították a falát. A felszakadás természetesen itt következett be. Viszont például a 24452-es tartályt többször megemelték, modellezve ezzel az esetleges durvább szállítást és helyre emelést. A daruzás része volt kb. 0,4 m magasságból a lábakra történt leejtés.

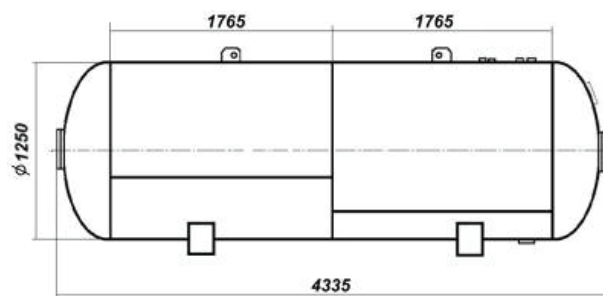
A második szakaszban (II.) 2017-ben négy másik tartály került vizsgálatra és felszakításra (v.ö. 1. Táblázattal). A tipikusan 15 bar nyomáson üzemelő tartályok a gyártás végén 20 bar-os próbanyomást

kaptak, (ami fontos az AE szempontjából). Látható, hogy a megfolyás 27-36 bar-on következett be, kivéve a 3mm-es falvastagságra gyengített tartályon (folyáshatár: 16,5bar). A felszakadás még a gyengített tartályon is csak 36 bar-nál következett be, míg a többi tartály több, mint 45 bar-ig bírta a túlnyomást. Tehát jelentős tartalék van ezekben a tartályokban. Fontosnak tartjuk, hogy a folyáshatár és a felszakadás között is csaknem 20 bar a különbség. A folyás megindulása jelentős AE eseménysorral jár, így elég tartalékunk lehet az előrejelzésre.

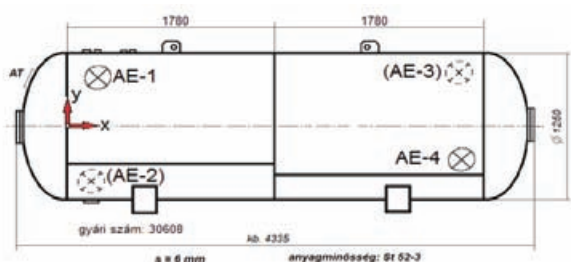
A 3-5. ábrán néhány felszakadási képet mutatunk be. Az esetek többségében nem a hegesztési varrat adta meg magát. A 20. ábrán egy érdekes jelenség figyelhető meg. A felszakadás előtt a tartály falára nehezű nagy belső nyomás kötözött szalámi módjára felfújta a tartályt, amely - amint a belső nyomás elérte a folyáshatárt - az alkotói mentén jelentősen tágult, de a hegesztési varratok merevebbek lévén kisebb alakváltozással reagáltak, és ezért abroncsként tartották össze a tartályt.



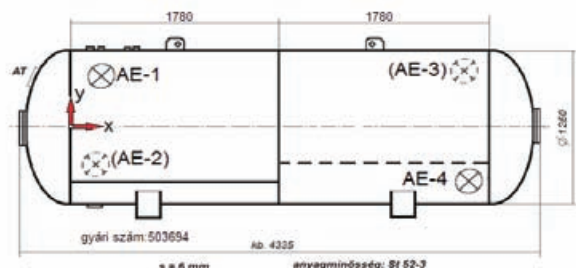
I/1 tartály (gyengítésre került)



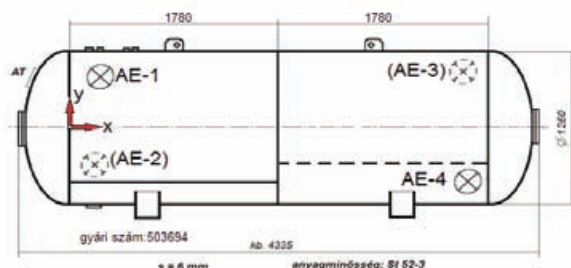
I/2 tartály



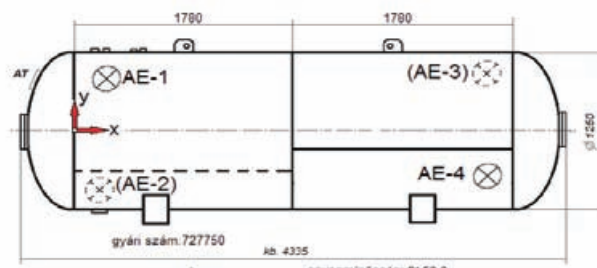
II/1 tartály



II/2 tartály



II/4 tartály



II/3 tartály

1. ábra: A tartályok fő méretei

1. Táblázat

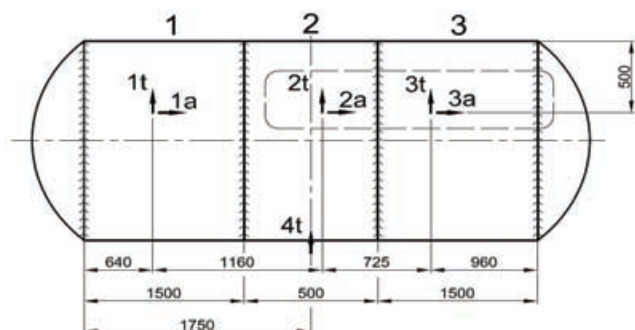
tartály	gyártási szám	gyári próbany.	gyártó	gyártás éve	felszakadás	folyáshatás *bélyegalapján **becslés	anyaga
I/1	24344	19,6 bar	FMF	1995	gyengített 36 bar	**16-17 bar	St52-3N.
I/2	24452	19,6 bar	FMF	1996		*27 bar	St52-3N.
II/1	30608	20 bar	W.Krämer GmbH	1995	46,6 bar	*35 bar	acél, St52-3
II/2	503694	20 bar	Vasipari és Tartálygyártó Kisszövetkezet	1994	53,1 bar	*28 bar	acél, St52-3
II/3	727750	20,3 bar	ERMERT GmbH	1993	46,5 bar	**36 bar	acél, St52-3
II/4	961450	20 bar	Gönczi és Fia Kft	1996	47 bar	*34 bar	acél, St52-3

3. Elsődleges eredmények (összehasonlítás)

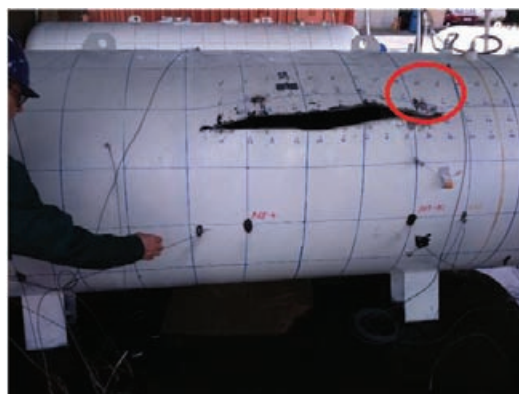
3.1 Hasonlóságok a Real-Time mért eseményekben

A több száz oldalra rúgó, több résztvevő által produkált mérési görbéket nincs módunkban ebben a limitált hosszúságú cikkben megjelentetni. De választottunk néhányat az egyezések és eltérések demonstrálására.

A 7. és 8. ábrán a DUE és ÁEF által a 2015-ös kísérletekben regisztrált AE események amplitúdói igen jó egyezést mutatnak, különösen a 7. ábrán látható Kaiser effektusban. A 9. ábrán a sum of hit függése a két mérésben sokban hasonlít egymásra (megint különösen a Kaiser effektusban), de az ÁEF exponenciálisan növekvő függvénye sokkal jobban mutatja a szokásos kádgörbe jelleget, azaz tönkremenetel alakot.



2. ábra: A 3mm-re vékonyítás helye



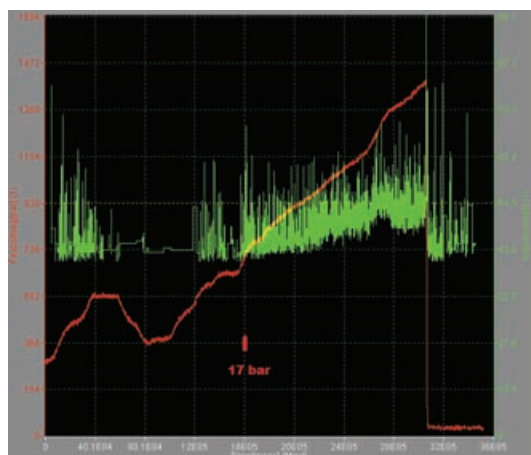
3. ábra: A gyengített tartály felrepedés után



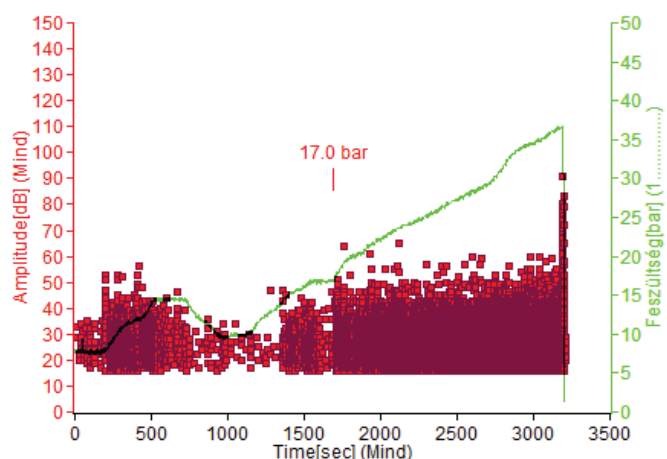
4. ábra: A II/1 sz. tartály felszakadása (30608)



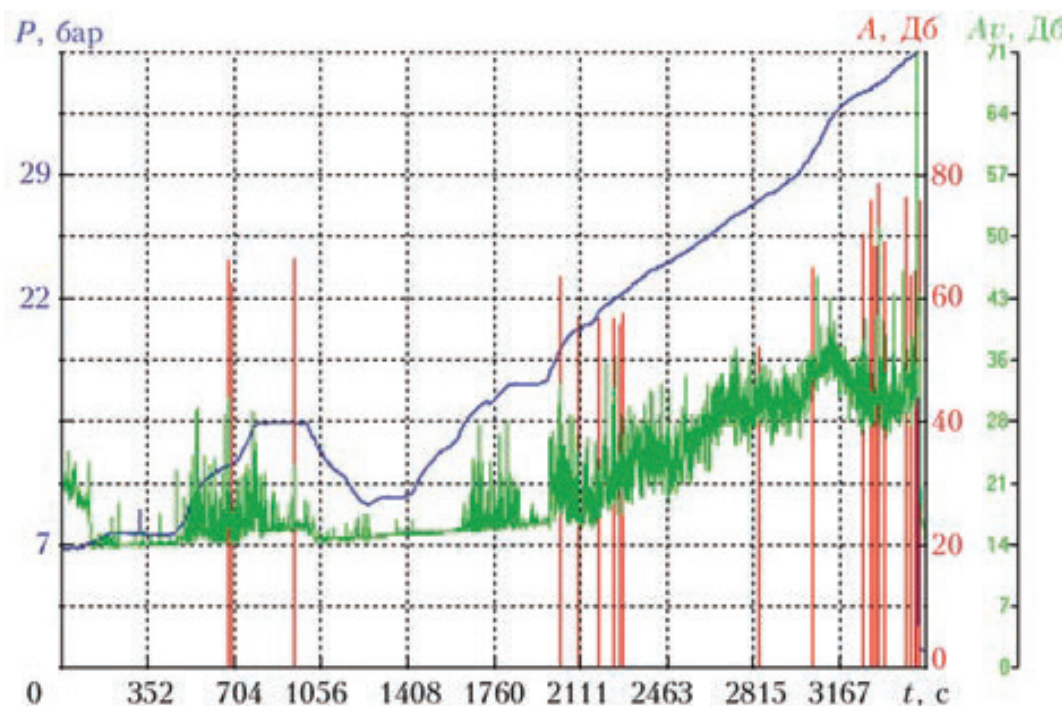
5. ábra: A II/2 sz. tartály (503694). Alul látható a felrepedés



a)

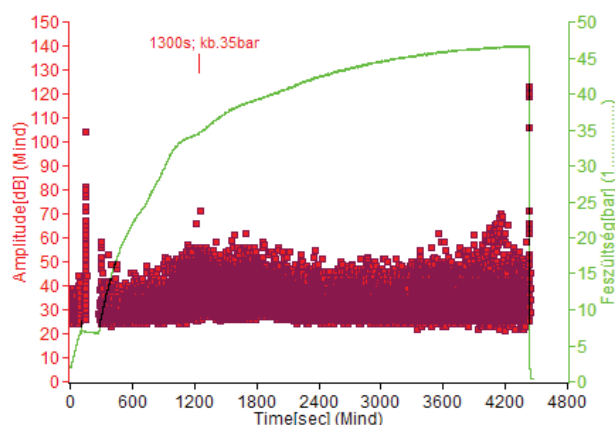
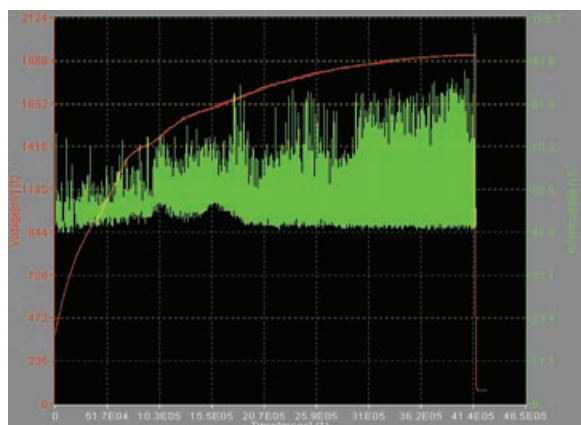


b)

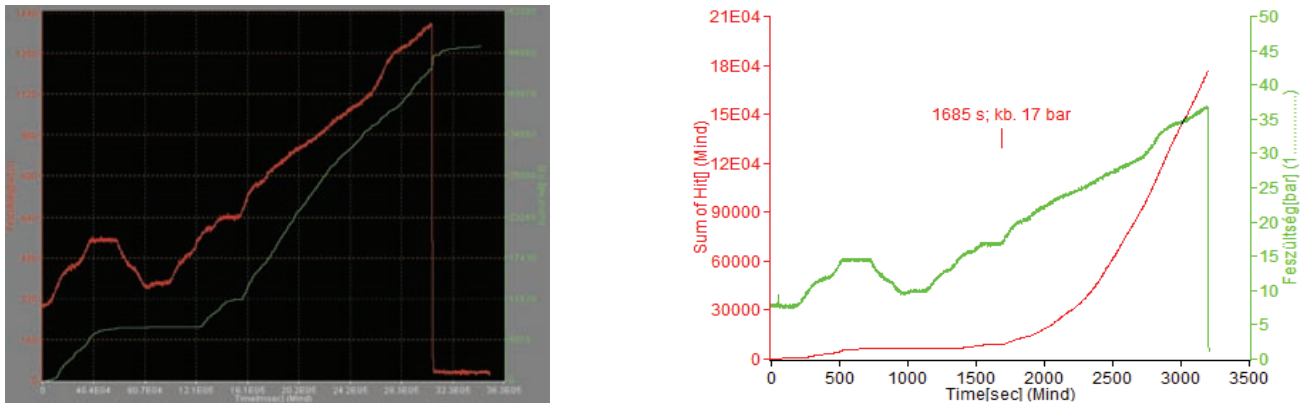


c)

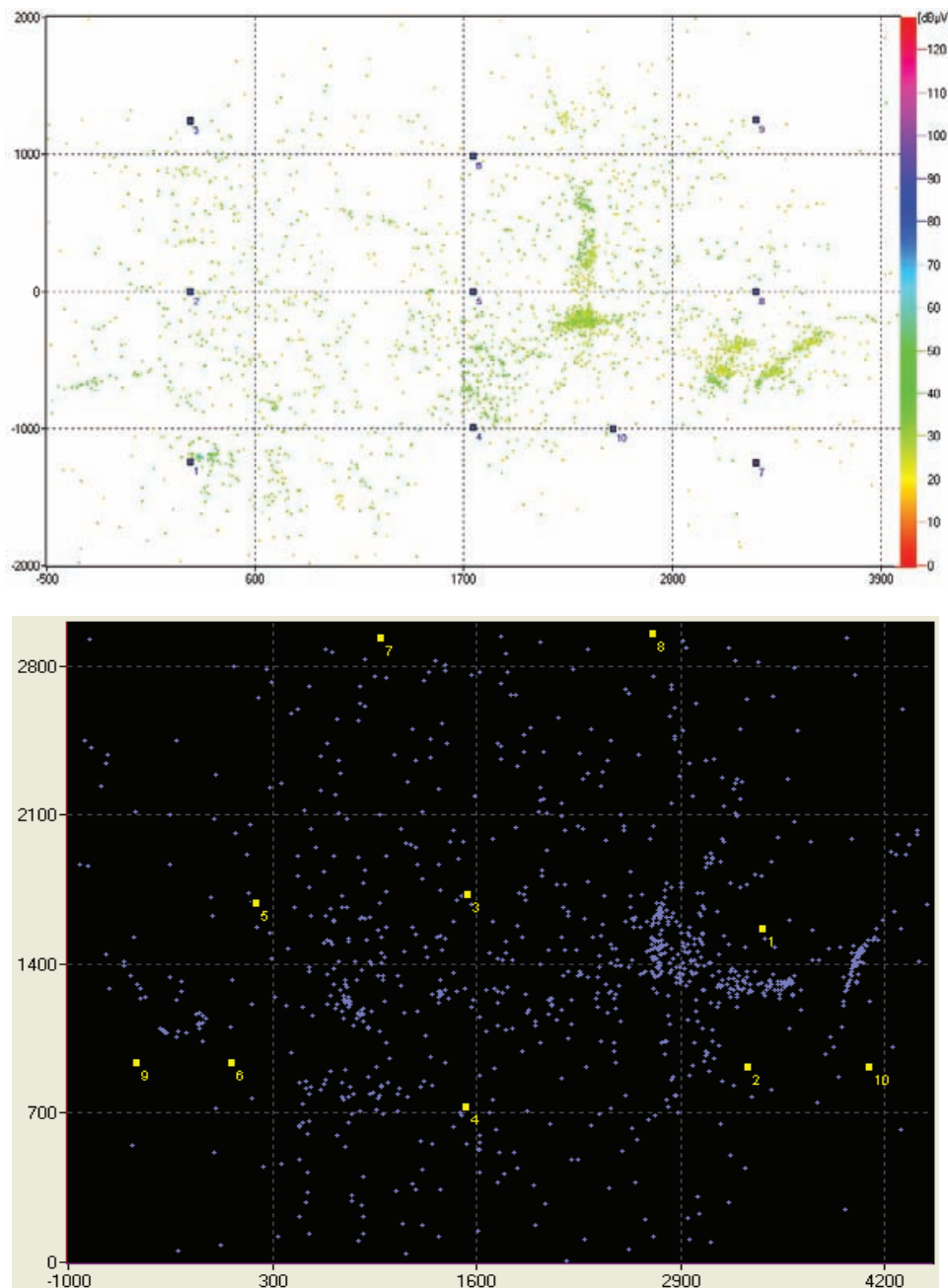
7. ábra A DUE csapat (a) és az ÁEF csapat (b) által rögzített események amplitúdó és average változásai jó egyezést mutatnak a gyengített tartály felszakítási folyamatában és igen jó egyezést az ukrán feldolgozással (c)



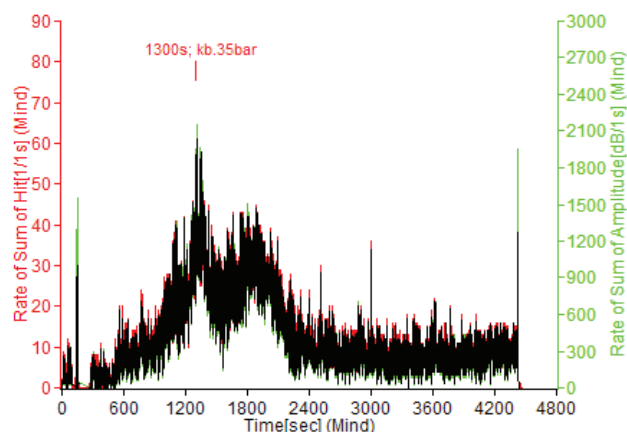
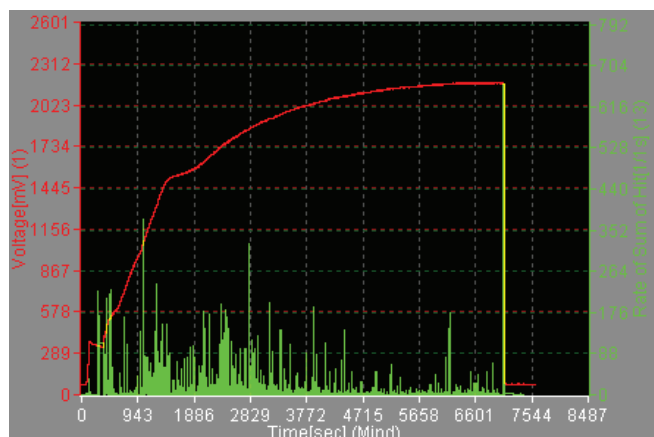
8. ábra A DUE és az ÁEF által mért AE amplitúdók a 24452-es tartályon



9. ábra Hasonlóságok és eltérések a DUE és ÁEF által mért sum of hits görbéken



10. ábra Az ÁEF által (fenti kép) és a DUE által lokalizált AE források sűrűsödési göcai is hasonlóságot mutatnak



11. ábra A regisztrált AE események amplitúdó és gyakorisági görbéi az időben igen hasonlóak a DUE(bal oldal) és az ÁEF (jobb oldal) alapkiértékelésében

A 10. ábrán látható hasonlóság az ÁEF és a DUE által végzett lokalizációs helyekről igazán meggyőző. A két csapat a saját érzékelőit használta, amelyeket ráadásul nem is tudott ugyanoda elhelyezni. Mégis, mind a felszakadás helyén lévő sűrűsödés, mind a többi sűrűsödési helyek igen hasonlóak.

2017-es mérés 1 tartály[4]

A 2017-es összemérésnél is igaz, hogy a mért görbék igen hasonlóak egymáshoz. Ez további bizonyítéka annak, hogy a két résztvevő csapat már elég jól tud AE eseményeket mérni, és hogy mérési eredményeik valóságok, a következtetések megalapozottak.

Tehát az elsődleges mérési eredmények összegzéseként megállapíthatjuk, hogy a különböző cégek különböző eszközeivel végzett mérések jellemző alapvető görbéi igen hasonlóak, ami alapján az összemérést sikeresnek is tekinthetjük. Egy körvizsgálatnál elsősorban ezt szokás vizsgálni és nem a következtetéseket.

3.2 A különböző résztvevők általi értékelések

Természetesen fontos kérdés, hogy sikerült-e AE módszerrel megnyugtató módon előre jelezni a tartály felszakadását? Azt kell mondanunk, hogy ez egy rosszul feltett kérdés. Az első tartály esetében, ahol a 6 mm-es falvastagságot egy jelentős területen 3 mm-re csökkentettük, mindenki előre tudta, hogy hol fog felszakadni. Bár a résztvevők, becsületből, igyekeztek a megszokott elrendezést követni az érzékelők felhelyezésénél, mégis érezhetően koncentráltak a felszakadó részre. A 10. ábrán jól látható, hogy az AE források erősen sűrűsödtek a felszakadás helyén (az alsó ábrán az 1 és 2 érzékelők közötti részen). Azt is bemutattuk már az előző RAKK 2017 konferencián egy animációban (pon-

tok megjelenésének időbeni mozijával), hogy ezek nem a szakadáskor, hanem már azt megelőzően is megjelentek (és erre még visszatérünk az a 2017-es eredmények szűrésénél a következő fejezetben). De joggal felvethető, hogy vannak más sűrűsödési pontok is. Azokkal mit csináljon az elemző? A gondot némileg csökkenti, hogy látható módon mindkét csapat ugyanott lokalizált sűrűsödést. Az egyik ilyen sűrűsödés a 10. ábrán az alsó képen, jobb oldalon, a 10sz. érzékelő feletti ív. Erről hamar be lehet látni, hogy az a hegesztési varratra esik (a mérési bizonytalanságon belül), mind a két csapatnál. Tehát ez a varrat „zenélt”. Van egy másik, kevésbé feltűnő sűrűsödési hely is, (a 10. ábrán az alsó képen) a 3-4-5-6 érzékelők között. Valójában az ÁEF lokalizációs ábrán is megjelent ugyanez. De persze nem itt történt a felszakadás, ahol 6mm volt a falvastagság. Viszont a tapasztalatok alapján elmondható, hogy nem is a felszakadás (képlekeny esetben) a fontos, amit látunk és látni szeretnénk, hanem már az azt megelőző állapot, vagyis a megfolyás (ami amúgy is időben elhúzódó folyamat és lényegében az edény tönkremenetelét jelenti). Különböznélhetők többek között a deformációk miatti festékpattogzások és alakváltozások miatt is van olyan nagyszámú esemény a lokalizációs térképen.

Az ukrán kiértékelő program sokkal határozottabban fogalmaz. Olyan szoftvert alkalmaznak (EMA [10]), amely rögtön figyelmeztető jelzést ad, amikor úgy véli, hogy a jelek alapján prognosztizálni lehet a felszakadás veszélyét, és prognózist is biztosít [5]. Idézzük: „Az első, „Figyelmet fordítani!” figyelmeztetés 14,56 bar terhelésnél lett kiadva. 19,02 bar nyomásnál szintén az 1-es szintű figyelmeztetés – „Figyelmet fordítani” – lett kiadva a tartály tönkremenetelének előrejelzésével 31,71–38,05 bar nyomásértékre. A figyelmeztetés második szintje – „Fokozni a figyelmet”

№ п/п	Время, с	Тип	Кластер	Событие АЭ	Текущее значение НДС, б/р	№ предупреждений	Прогноз минимум, б/р	Прогноз максимум, б/р
1	943,767	Уровень опасности	1 (X=710 мм, Y=958 мм)	3	14,553	1		
2	2031,205	Прогноз ИЧ	1 (X=710 мм, Y=958 мм)	4	19,876	1	31,71	30,052
3	2101,381	Уровень опасности	1 (X=710 мм, Y=958 мм)	5	20,16	2		
4	2105,501	Уровень опасности	1 (X=710 мм, Y=958 мм)	6	21,328	3		
5	3477,5	Максимум ИЧ			36,683			

12. ábra Az EMA-4 rendszer 1-es, 2-es és 3-as szintjére vonatkozó figyelmeztetési listája a elszakadási nyomás prognózisával (PO EMA-3.91)

– 20,16 bar-nál lett kiadva. Emellett a prognosztizált felszakadási nyomás értéke változatlan maradt. A figyelmeztetés harmadik szintje – „Veszély” – 21,16 bar-nál lett kiadva. Emellett a prognosztizált felszakadási nyomás értéke szintén változatlan maradt.” (vö. 12. ábrával)

A TPA-KSS GmbH [7] sem csak AE beütéseket és eseményeket regisztrál. Ők döntést hoznak az AE események amplitúdója alapján. Érdekes észrevenni, hogy a jelentésük csupán néhány érzékelőn alapul, de nagy súlyt fektetnek az AE hullámok csillapodási tényezőjének kimérésére, mivel ez fontos, ha a forrás amplitúdót akarjuk hasznosítani a döntés meghozatalára.

Érdekes a méréshez fűzött szakmai megjegyzésük is. Állításuk szerint a falelvékonyítás természetesen

képes lehet imitálni a korróziós folyamatok miatti elvékonyodást, azonban, ha ilyen a valóságban előfordul, akkor annak megtalálása AE módszerrel igen könnyű, mivel a korrózió általi elvékonyodás helyén a korróziós termékek leválása miatt az AE aktivitás igen jelentős lesz, így ki lehet jelölni az AE segítségével, hogy hol kell falvastagságot mérni. Az AE pedig ott is jelezni fog, ahol nem korrózió miatti elvékonyodás, hanem kezdeti repedésnövekedés és/vagy szivárgás váltja ki a későbbi meghibásodást. Szerintük az ő gyakorlatukban ez sokkal gyakoribb, mint a tartálykorrózió!

E fejezet végén megállapíthatjuk, hogy igenis lehetséges AE segítségével előrejelzést adni, ami ugyan nem 100%-os biztonságú, de figyelembe veendő. A hazai gyakorlatban, mint látható [11] a hagyomá-

Result:

Specification for review:

A1 = 90dB_{AE} N1 = 3

A2 = 75dB_{AE} N2 = 10 N3 = 2

**The measurement revealed critical active sources at a test pressure of 12,5bar.
Source severity classification: 3 (critical active sources)**

Reaching the termination criteria at 12.5 bar:

3x <100dB_{AE} source amplitude, max. absolute energy: 9475aJ

From 23 bar carried a significant increase in absolute energy and the amplitudes, which continues to the break. In the area of the rear longitudinal seam to be located over the entire course of the pressure test AE-events with high source amplitudes (at 15bar cluster with source amplitudes up 107dB_{AE}) were detected.

13. ábra A TPA-KSS osztrák Kft által korai szakasz amplitúdói alapján hozott döntés

nyos AE eseményjellemzőket használják. A hivatkozott cikkben az értékeléshez elsősorban a következő paramétereket használták: „folyamatos AE aktivitás 70 dB felett, összegzett jellemzők exponenciális emelkedése, a beütések száma elérte a 11×10^3 Hit értéket, a lokalizált események max. AE aktivitása elérte a 90 dB értéket, rezgésszám növekedés értéke 2100 RateofSumofCounts/18sec volt”. Ezután, elsősorban a kiértékelő szakember megfelelő képzettségén és tapasztalatán múlik, hogy milyen értékelést tud adni. Látható, hogy a külföldi gyakorlatban korszerűbb algoritmusokat is alkalmaznak.

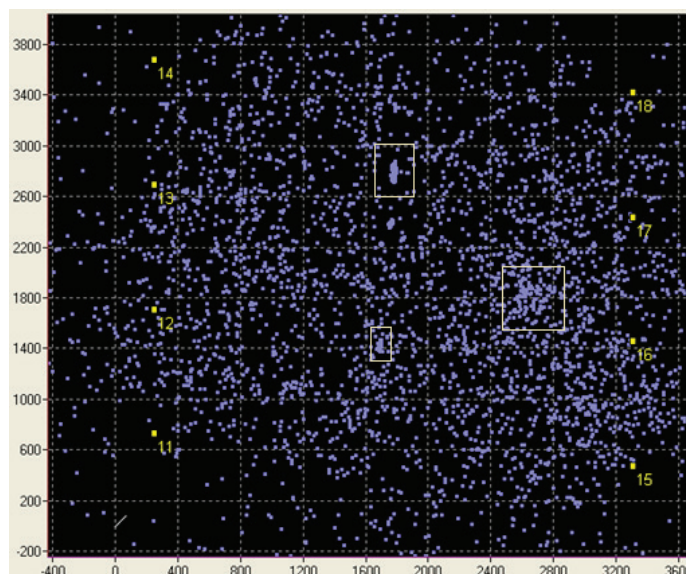
4. Utófeldolgozások néhány új módszertani eredménye

Ebben a fejezetben az AE hagyományos értékelési eljárásain túlmutató, új fejlesztéseket mutatunk be, amelyek alkalmazásával jelentősen javíthatóknak véljük a jövőben az AE hatékonyságát a tartályokon végzett AE mérések értékelésében. Nem ismételjük itt meg, de emlékeztetünk arra, hogy már a 2015-ös felszakítás RAKK 2017-en történt bemutatásánál [6] egy új módszer, az animáció jelent meg, ami megkönnyítheti a mérési eredmények utóértékelését.

4.1 Utólagos elemzések az AED_40 szűrési lehetőségeivel [8]

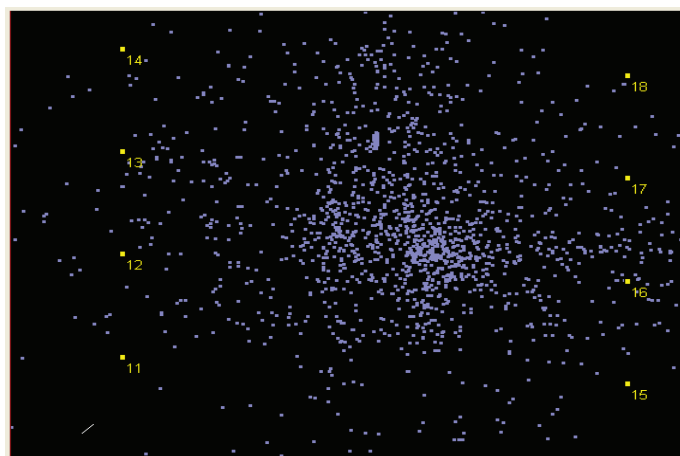
A 14. ábrán az egyik tartályon az AED-40 eszközzel mért és elvégzett forráslokalizálás eredményeit mutatjuk be. Látható, hogy a számtalan detektor hármas- és négyes kombinációból a mérés ideje alatt nagyon sok forráspontot lehet kapni a késleltetési idők hagyományos eljárásával. A helyzetet tovább nehezíti, hogy a hengeres tartályon körben is terjedhetnek a hanghullámok, és a varratokról is keletkezhetnek visszaverődések. Ez egy-egy AE esemény esetében számos „hamis” forrás lokalizációt is jelenthet. Az is jól látható, hogy a „csillagos ég” szerű forrástérképen vannak sűrűsödési helyek. Eláruljuk azt is, hogy a felső négyszög, ahol a legsűrűbbek a forráspontok (össze is érnek), az a hely, ahol végül az adott tartály felszakadása megtörtént. Tehát az információ ott van, csak jobban meg kellene jeleníteni! Ebből a célból több szűrési lehetőség van az AE készülékekben, és így az AED-40-be is beépítve.

Az első szűrési lehetőség, amit még on-line, in-situ is szoktak alkalmazni, a holtidős szűrés. Amennyiben bekövetkezett egy esemény, akkor adott ideig (amíg elképzeléseink szerint a visszavert jelek vagy a hengeren körbefutó jelek lecsillapodnak) letiltjuk



14. ábra: A szenzorok által lokalizált összes AE esemény

a forrás lokalizációt. Ily módon számos másodlagos lokalizációtól megszabadulunk. A 15. ábrán a holtidős szűrés hatása látható. Számos forráshely eltűnt. Az előbb említett sűrűsödési pont megmaradt. De van olyan átrendeződés is, ami eltérő forráshelyeket mutat az előzőtől, - és ez zavaró. De tudjuk, a holtidő letiltás érzékelőnként történik. Ezért lehetséges, hogy a négyes kombináció egy tagja már egy korábbi beütés miatt le van tiltva, nem alkothat forráshelyet. És akkor más detektor hármasok-négyesek hozzak létre a forráshelyeket.

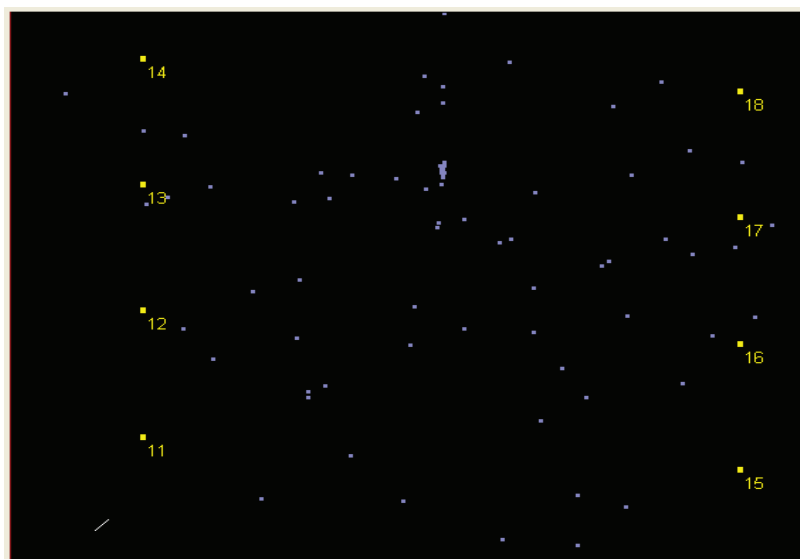


15. ábra: Holtidővel szűrt lokalizációs térkép

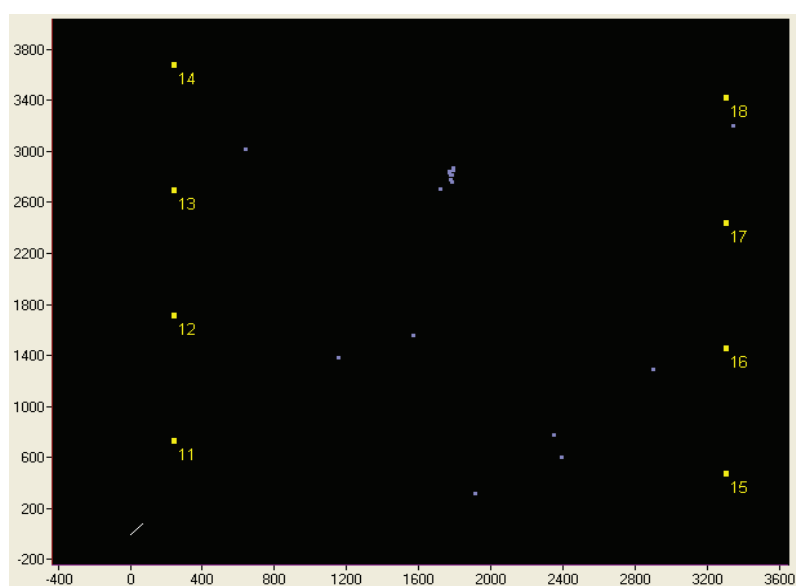
A 16. ábrán rezgésszám, (count) szűrővel tisztított képet láthatjuk. Ez sokkal hatékonyabb. A csillagos ég csaknem eltűnt. Ez a kép már majdnem alkalmaznak is tekinthető, hogy a felszakadás helyét azonosítsuk.



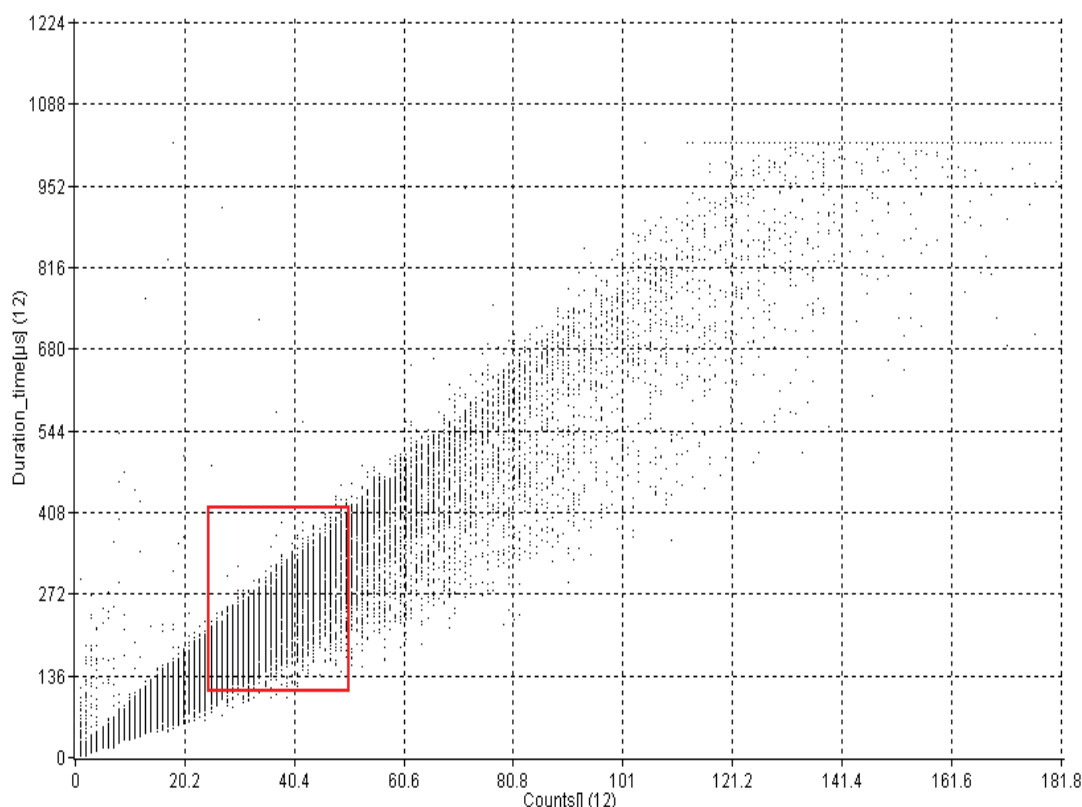
16. ábra: Lokalizációs térkép rezgésszám szűrésével



17. ábra: Lokalizációs térkép rezgésszám és eseményhossz szűrésével



18. ábra: A legszűkebb intervallum



19. ábra: A kiválasztott szűrési négyszög (tartomány) két paraméter (rezgésszám és eseményhossz esetén)

A 17. ábrán még egyet léptünk, az eseményhosszt is figyelembe vettük a szűrésben

Végül a 18. ábrán tovább szűkítettük a szűrés intervallumát. A repedés helyét jelentő események az alábbi tartományba esnek: Rezgésszám (Counts): 25-50, Eseményhossz (Duration): 100-410. Függvényen megjelenítve a 19. ábrán mutatjuk be a 18. ábrához tartozó kiválasztott szűrési intervallumot.

A lokalizációs térkép a tartály alján lévő 4 szenzor közötti területen rögzítette a repedésre utaló események helyét, a valóságban azonban nem teljesen a tartály alján, hanem a 4-es és 8-as szenzor közötti területen szakadt fel. Ennek ellenére a loka-

lizációs térkép hatékonynak mondható, mivel ilyen mértékű pontatlanság megengedhető, hiszen a tartály valóban az alján szakadt fel a nyomásteszt alatt (20-21 ábrák).

4.2. A fontosabb AE események lokalizálásának időpontja [8]

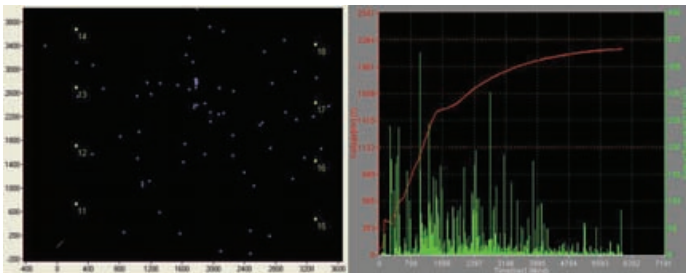
Az előző alpontban láthattuk, hogy megfelelően jó szűréssel az AE képes lehet, hogy a felszakadás legvalószínűbb helyére rámutasson. De azok az ábrák a teljes, a felszakadásig jutó folyamat során rögzített forráslokalizáció eredményeit tartalmazták. Joggal merül fel a kérdés, hogy csak post festo tudunk valamit, vagy már a felszakadás előtt? Azaz vannak-e a felszakadásnak előjelei még akkor, mikor a felsza-



20. ábra - Nyomástartó edény a mérés után



21. ábra A felszakadás a tartály alsó alkotója mentén történt



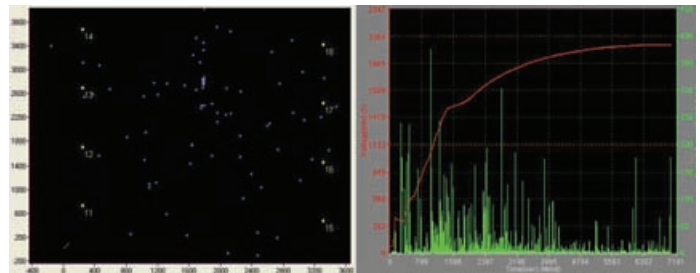
22. ábra: Lokalizált események 52 bar nyomásnál

kadás meg sem történt? Van-e némi idő a beavakozásra?

A 22. ábrán jól látható, hogy 52 bar nyomásnál, már tisztán kivehető az a terület, ahol a szűrt AE események sűrűbben jelentkeznek. Ekkor már sűrűsödtek a pontok a leendő felszakadás helyénél. A tartály 55 bar nyomáson szakadt fel. Tehát csaknem 3 bar tartalékunk volt még a szakadási nyomásig. Bár nem állíthatjuk nagy biztonsággal, hogy a folyamat még nem indult be megállíthatatlan módon. Sőt valószínűsíthető, hogy beindult, és pont ebből származnak az egy forráspontra utaló sorozatok. Azaz azt mondjuk, hogy hiába nem növelnénk a nyomást tovább, a szakadási folyamat már megindult, a repedés terjed, és lehet, ha nem növeljük tovább a nyomást, akkor is felszakad a tartály. De a 23. ábrából, amely a felszakadás pillanatában készült 55 bar nyomáson, látható, hogy a szakadásig még több mint 10 perc telt el ahhoz képest, hogy a 22. ábrán már egyértelműen látszik a forráshelyek sűrűsödéséből, hogy a folyamat zajlik. A 10 perc pedig bőven elegendő ahhoz, hogy döntést hozzunk a terhelés csökkentéséről, és megtegyük a szükséges életvédelmi beavatkozásokat.

5. Összefoglalás és kitekintés

Már a Bevezetésben rámutattuk arra, hogy a mérések részben az új szabvány indoklását szolgálták, illetve lehetőséget adtak arra, hogy vizsgáljuk az AE módszer használhatóságát a tartálydiagnosztikában. Mint az AE-ban érdekeltek, nem lehetünk döntőbírók abban, hogy az AE vagy az ultrahangos falvastagság mérés szolgálja-e jobban a biztonságot. Szerintünk a kettő együtt. Az elemzések megmutatták, hogy az AE képes időben előre jelezni, ha a tartály veszélyes állapotba kerül, és még a leendő felszakadás helyét is képes előre jelezni. Meg kell állapítanunk továbbá, hogy igen hasznosak voltak a kétévente rendezett tartály-felszakítási kísérletek az AE szakma szempontjából: sokat tanultunk belőle, és új módszereket is kezdünk fejleszteni. Az a tény, hogy a különböző résztvevők hasonló mérési ered-



23. ábra: Lokalizált események a tartály repedésének pillanatában(55bar)

ményekre jutottak, bizonyítja az AE mérések objektivitását. Világos, hogy a hagyományos AE kiértékelésen még van mit javítani. Itt most az utómunkák közül az animációs technikát és a már ismert AED-40 berendezésben részben beépített utószűrők hasznosságát mutattuk be. Ez ráirányítja a figyelmet arra, hogy ha az AE terén a régi analóg technikán kialakult alapparamétereken túllépünk, és korszerű, digitális szűrési technikákkal kombináljuk a méréseinket, akkor ez jobb lokalizációhoz és használhatóbb értékeléshez vezethet.

Cikkünk csak adalék ahhoz a polémiához, amely arról szól, hogy melyik a jó módszer a tartályok állapotvizsgálatában, és hogyan lehet megjósolni a balesethez vezető felszakadás valószínűségét. Bemutattuk, hogy az AE módszer igen értékes információkat szolgáltat, képes előre jelezni a felszakadás helyét és várható nyomását. Azt is láttuk, hogy van még mit fejleszteni a módszereken, és más országokban előbbre járnak ebben. Adalékként hozzátesszük, hogy az ilyen körvizsgálat-szerű méréseknél mindig fogadásokat szokás kötni, ki jósolja meg legjobban a felszakadáshoz szükséges nyomásértéket. A legutóbbi mérés során a legjobb tipp (hogy hol és milyen nyomáson szakad fel a tartály) Tóth László adta, két nappal a kísérletek előtt. Tehát az anyagismeret, gyártási ismeret és élettapasztalat döntő mértékű lehet a szokványos, a gyártási technológiát és üzemeltetési szabályokat a tartályon szigorúan betartók számára.

Az anyagvizsgálók számára trivialis, hogy az első lépés mindig a VT. Mit használjunk ezután? Falvastagság mérést vagy AT vizsgálatot? Cikkünk anyaga mutatja, hogy csak az utófeldolgozásokkal együtt kaptunk teljes képet az AT eljárásokban. De a kizárólag az ultrahangos falvastagság mérésen alapuló vizsgálatnak is vannak korlátai.

Mit tudunk akkor mondani az üzemeltetőknek? Nincs 100%-os módszer. A módszerek kombinálása mindig nagyobb biztonságot ad. Az üzemeltető felelőssége, hogy mekkora bizonytalansággal vállalja

tovább használni berendezését (tartályát). A következmények felmérése ad választ arra, hogy kell-e egy ultrahangos vastagságmérés mellett még egy AE mérést is megrendelni. Ha egy esetleges baleset következményei súlyosak lehetnek, akkor annak megelőzése megéri a plusz befektetést.

További vizsgálatokra van szükség annak egyértelmű kimutatására, hogy mikor, az üzemi paraméterekhez képest, milyen nyomáson kapjuk AE segítségével az első jelzéseket a tartály lehetséges felszakadására. Az osztrák résztvevők, már 12,5 bar nyomáson kritikus erősségű AE forráskibocsátást mértek, az ukrán EMA nevű automatikus on-line, real-time program már 14,56 bar-nál kiadta az első figyelmeztetést, majd ezt fokozta második szintűvé 20,16 bar-nál, végül felszakadás-veszélyt jelzett 21,16 bar-nál. Összevetni a gyártóművi nyomáspróbával (19,6 bar) illetve üzemi nyomással ezt nem ildomos, mivel ennek a tartálynak a falát felére vékonyítottuk (részben a korróziós veszteségek imitálására). De az sokatmondó, hogy a nyúlásmérő bélyegekkkel detektált folyáshatár meghaladás csak 16 bar-nál jelzett először, és a felszakadás 36 bar-nál következett be.

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban Fodor Olivérnek tartozunk köszönettel, aki már a Dunaújvárosban végzett korábbi felszakítási kísérletekben is a fő háttérbeli mozgató személy szerepét játszotta, neki köszönhető ez a ma már nemzetközi téren is jelentős tartályfelszakítási összemérési sorozat. A hajdúszoboszlói két kísérlet megszervezésért, levezénylésért, és az AE méréseket most már az új szabvány szempontjából a más mérésekkel való összevetésért Dobránszky Jánosnak tartozunk köszönettel. Hajdú Istvánnak és a PÉ-BÉ-COOP vezetésének szeretnénk kifejezni őszinte köszönetünket, mind a mérés helyének biztosításáért, jelentős anyagi áldozatukért, és a rendkívül barátságos vendéglátásért, ami sokban hozzájárult a mérések sikeréhez. Az adott cikk szerzői közé ugyan nem vettük be, de az ÁEF részéről a 2017-es méréseket Fehérvári Attila végezte, a DUE részéről Molnár János és Kocsó Endre vett részt e mérésekben (mindhárman már kiléptek a vállalataiktól, amit igen sajnálunk).

Felhasznált és/vagy hivatkozott irodalom

1. Föld feletti propán-bután gáz tároló berendezések maradék élettartamának meghatározása, MSZE 1728j szabvány
2. PÁLCSABA: NYÚLÁSMÉRÉSEK ÉS AZ AKUSZTIKUS EMISSZIÓSMÉRÉSEK KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSA TARTÁLYTERHELÉS FOLYAMATÁBAN *Anyagvizsgálók Lapja*, (2011) 1_5 pp.31-33
3. FÜCSÖK FERENC, GERÉB JÁNOS: EGY ÉRDEKES JÁRTASSÁGI VIZSGÁLAT. AKUSZTIKUS EMISSZIÓS HELYMEGHATÁROZÁS. *Anyagvizsgálók Lapja* 2012/2, pp.34-38
4. Dobránszky J.: Pébégáztartályok felszakítási kísérlete akusztikus emissziós vizsgálat keretében in: A pébétartályokidőszakos ellenőrzésésszolgálat korszerű módszerek tudományos kutatásának eredményei, DyTh Műszaki Tanácsadó Bt. (2017)
5. А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, М. А. ОВСИЕНКО, М. А. ЯРЕМЕНКО, Я. ГЕРЕБ, С. А. КУШНИРЕНКО: Испытания сосудов давления международной группой специалистов — Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2016. № 3.
6. Rakk2017-es előadás animációja <https://youtu.be/oY52s5rMDgA>
7. Pébégáztartályok felszakítási kísérlete akusztikus emissziós jártassági vizsgálat keretében Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 2016
8. 1/Melléklet: A tartályok műszaki jellemzői és előzetes vizsgálata, (Dobránszky J.-Szabó P.P.)
9. 2/ melléklet: A 24452-es tartály felszakítási kísérlete, (Dobránszky J.-Szabó P.P.)
10. 3/ melléklet: A 24344 GYÁRI SZÁMÚ TARTÁLY AE-VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSÁVAL VÉGZETT VÍZNYOMÁSPRÓBÁJÁNAK JEGYZŐKÖNYVE (Geréb és Társa Műszaki Fejlesztő Kft. (Bengria) Geréb János; ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины С.А. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсиенко; Одесский припортовый завод (Украина) С.А. Кушниренко)
11. 4/melléklet: A 24452 GYÁRI SZÁMÚ TARTÁLY AE-VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSÁVAL VÉGZETT NYOMÁSPRÓBÁJÁNAK JEGYZŐKÖNYVE (Geréb és Társa Műszaki Fejlesztő Kft. (Bengria) Geréb János; ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины С.А. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсиенко; Одесский припортовый завод (Украина) С.А. Кушниренко)
12. 6/ melléklet: Inspection Certificate No. 8900487 /2016 (Ing. Martin Turkowitsch, TPA-KKS GmbH)
13. 7/melléklet: TEST REPORT Acoustic emission tests of a 5m3 pressure vessels Hajdúszoboszló 12.05.2016 (Kocsó E. Pór G. ECOTECH Co.)
14. Szabó Sz. AKUSZTIKUS EMISSZIÓS MÉRÉSTECHNIKA ALKALMAZÁSA IPARI CÉLOKRA SZAKDOLGOZAT, Dunaújvárosi Egyetem, 2018
15. AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYVEK 4,85 m³-es PB tartály kísérleti felszakításánakakusztikus emissziós vizsgálata 11443_AT1,2,3,4. készítette: Fehérvári Attila, ÁEF Kft, Anyagvizsgáló Laboratórium
16. С. А. НЕДОСЕКА: ПРОГНОЗ РАЗРУШЕНИЯ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2007. — № 2
17. Pál Cs.: Akusztikus emissziós méréssel feltárt LPG és PB-gáz tartály meghibásodások www.anyagvizgaloklapja.hu 2019/II. szám 23. oldal

Mágneses Barkhausen-zaj mérésen alapuló mérőrendszerek fejlesztése roncsolásmentes anyagvizsgálati célokra

Harasztosi Lajos^{1,2} Kovács László¹ Posgay György¹ Dr Molnár Péter¹ Dr Szabó István²

¹Metalelektro Méréstechnika Kft. Budapest, Borszék köz 13

²Debreceni Egyetem, Szilárdtest Fizika Tanszék, Debrecen, Bem tér 18/b

Kivonat

A mágneses gerjesztés hatására létrejövő Barkhausen-zaj analízisével az anyagok mikroszerkezetére, belső feszültségállapotára egyaránt következtethetünk. A zajcsomagok jellegzetessége ugyanakkor függ a gerjesztő tér paramétereitől és a minta mágneses állapotától is. Az általunk kifejlesztett mérőeszközök együttes használatával elvégezhetjük az elemi Barkhausen-lavinák statisztikus elemzését és megvizsgálhatjuk a technikai anyag külső mágneses térre adott válaszát egyaránt. A vasúti sínen végzett vizsgálatok alapján egy olyan mérőtechnikai megoldást fejlesztettünk ki, amely a remanens mágnesség hatását korrigálva lehetővé teszi a feszültségállapot meghatározását. A korrigált mérési módszer segítségével javítható a semleges hőmérséklet meghatározásának pontossága.

Bevezetés

A folyamatosan hegesztett vasúti sínekben (CWR) a hőmérsékletváltozás hatására felépülő feszültségek töréshez, vagy kihajláshoz vezethetnek. A biztonságos vasúti közlekedéshez szükséges annak a hőmérsékletnek, a semleges hőmérsékletnek (SFT), az ismerete, amelyen a sín feszültségmentes állapotban van. Ennek a hőmérsékletnek a roncsolásmentes meghatározása a mágneses Barkhausen-zaj (MBN) mérésével megvalósítható. Az általunk erre a célra kifejlesztett eljárást a RailScan

SFT mérőberendezésben került alkalmazásra [1].

A mágneses Barkhausen-zaj az átmágnesezési folyamat során a doménfal mozgás szakaszos jellegéből ered, amelynek hatására a mágneses momentum ugrásszerűen változik. A kialakuló lavina jellegű átrendeződések által keltett fluxusváltozás detektálása révén az anyag mikroszerkezeti és -a magnetostrikciós effektus miatt- feszültségállapotát is következtethetünk [2,3]. Megfelelő kalibrálás után, két különböző irányban, a sín hossza és kereszt iránya mentén elvégzett mérés révén a mikroszerkezet hatásától függetlenül jellemezhetővé válik a mechanikai feszültségállapot.

Egy további zavaró tényező a sín remanens mágneses állapota, ami szintén befolyásolja a MBN zaj jellegét és nagyságát. A sín remanens mágnessége helyről-helyre és időről-időre változhat. A remanens mágnesség kialakulását okozhatja a gyártási technológia, a mágneses emelőgép használata, a föld mágneses tere, a vasúti forgalom és a sínkopás is.

A továbbiakban megvizsgáljuk ipari laboratóriumi körülmények között a vasúti sínben kialakuló mágneses tér hatását az MBN mérésre. A kísérleti eredmények alapján bemutatunk egy olyan módszert, amivel a remanens mágnesség hatása kompenzálható [4].

Kísérleti eszközök és módszerek

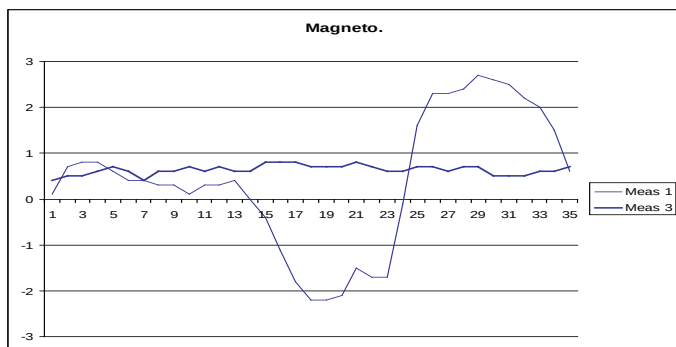
A vasúti sínen végzett kísérleti vizsgálatokra a Metalelektro Kft telephelyén került sor, ahol rendelkezésre



1. ábra: A vasúti sín mágnesezésére szolgáló tekercs, és a mérési pontok elhelyezkedése

állt egy a vasúti sín fel- és lemágnesezésére alkalmas tekercs (1. ábra), továbbá egy feszítőmű (7. ábra bal oldali kép) a feszültségállapot megváltoztatására. Az anyagszerkezeti hatások csökkentésére a vasúti sín hossza mentén 36 mérési pontot jelöltünk ki (1. ábra). A méréseket minden esetben ugyan azokon a pontokon végeztük. A mérőfej lehetővé teszi, hogy mind a sín hossza mentén, mind arra merőlegesen el lehessen végezni a méréseket. A vizsgálatokhoz használt RailScan berendezést átalakítottuk, hogy a teljes zajcsomagot és a gerjesztő jeleket egyidejűleg tárolni lehessen a későbbi feldolgozáshoz és elemzéshez.

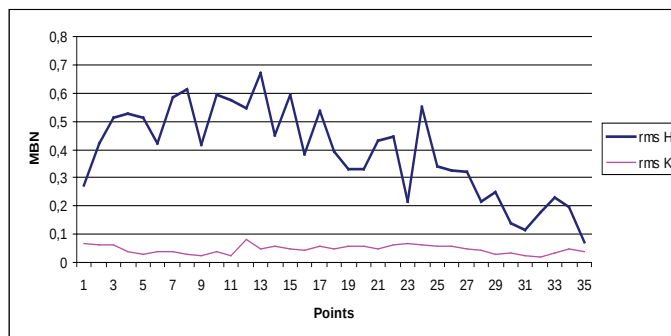
A sín lemágnesezésére a váltakozó áramú, fokozatosan csökkentett amplitúdójú gerjesztést alkalmaztunk a tekercseken. A felmágnesezés során a gerjesztőáram megszakításával idéztünk elő olyan körülményeket, amely a vasúti sín remanens felmágneseződésére vezetett. A mágnesezettség mérése során a sínből kiszóródó teret egy Hall-szondás mérőeszközzel detektáljuk. A mérést fel- és lemágnesezett állapotban is elvégeztük, így a 2. ábrán látható mágnesezettség értékeket határoztuk meg. Látható, hogy a sín első (1 - 13 mérési pontok), tekercsen kívüli része nem mágneseződött fel. A második szakaszon hosszirányban két ellentétesen felmágnesezett tartomány található (14-24, 25-35). Az ipari MBN mérés technikában a zajcsomagok effektív (RMS) értékét szokás mérni.



2. ábra: A sín mágnesezettsége remanensen mágnesezett állapotban (Meas 1) és lemágnesezett állapotban (Meas 3)

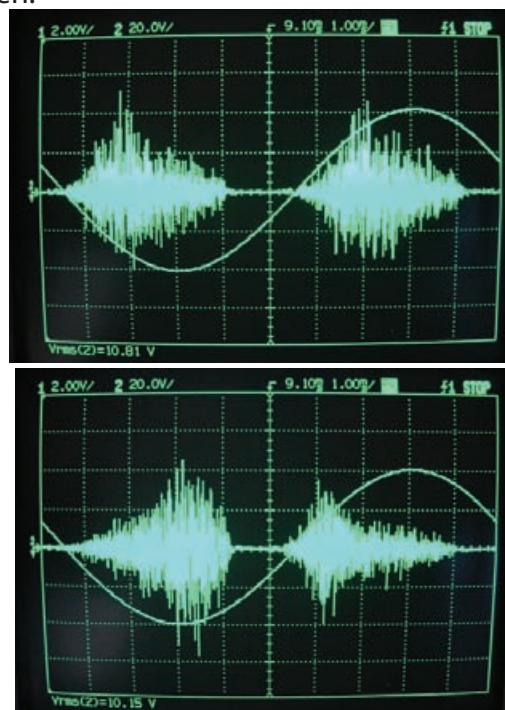
Az MBN RMS értékek alakulása a felmágnesezett sín esetén a 3. ábrán látható. Megfigyelhető az egyes pontokban mért értékek szórása, ami az eltérő szerkezeti tulajdonságok következménye. Ez a szisztematikus eltérés az ugyanazon pontban végzett mérések összehasonlításával kiküszöbölhető. Amíg a kereszt irányú értékek nem mutatnak szisz-

tematikus változást, a hosszirány mentén a minta felétől kezdődő felmágnesezett tartományban a MBN RMS értéke szisztematikusán lecsökken.

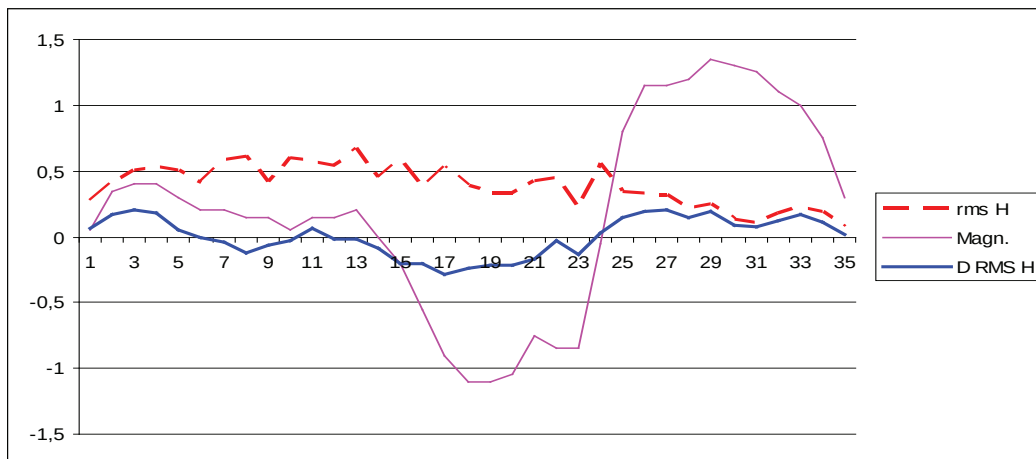


3. ábra: Az MBN érték változása hossz (rms H) és kereszt (rms K) irányokban a sín mentén

A csökkenés okát a zajcsomagok részletes vizsgálatával sikerült feltárni. A nem mágneses szakaszon a zajcsomagok nagysága független a gerjesztő tér előjelétől, a két félperiódusban ugyanakkora átlagos RMS járulékot ad (4. ábra felső kép). A mágnesezett tartományban a két csomag eltérő nagyságú, az egyik félperiódusban alacsony az MBN zaj RMS értéke (4. ábra alsó kép). Ez azt eredményezi, hogy a két periódus értékéből származó RMS érték is csökken.



4. ábra: Oszilloszkóp képernyő felvétel a gerjesztés és az MBN jel: remanens mágnesség nélküli és felmágnesezett állapot esetén.



5. ábra: A mágnesezettség (Magn) és a hossz irányú MBN RMS érték (RMS H) valamint az első és második félperiódusból számolt BHN RMS értékek különbsége (D RMS H)

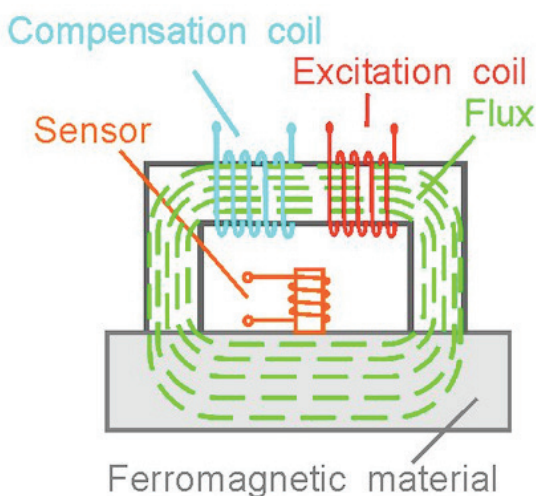
A jelcsomagok asszimetriája valóban szisztematikusan változik a sín mentén, amint ez az 5. ábrán megfigyelhető. Az ábrán a hosszirányú mennyiségeket jelenítettük meg. A mágnesezettség és az RMS érték mellett látható a két félperiódusra számolt RMS érték változása is. Látható, hogy a különbség előjele szisztematikusan követi a remanens tér változását.

A kompenzáló mágneses tér értékének meghatározása azt igényli, hogy a gerjesztés mellett egy szabályozó kört kell alkalmaznunk, amelynek hibajele a két félperiódusban mért zajcsomag közti eltérés. A remanens teret kompenzáló mérőberendezés elkészítése után a 7. ábrán látható feszítőmű segítségével ellenőrző és kalibráló méréseket végeztünk.

Sikerült meghatároznunk a remanens tér hatását az MBN RMS értékre, ugyanakkor a félperiódus mérésen és számoláson alapuló kompenzáció nem bizonyult elegendően pontosnak a remanens tér hatásának kiküszöbölésére.

A demagnetizációs RailScan készülék

A demagnetizációs hatások kiküszöbölése akkor lehetséges, ha a gerjesztő teret módosítjuk egy statikus járulék hozzáadásával, ahogy az a 6. ábrán látható kompenzációs mérés elvi ábráján látható.



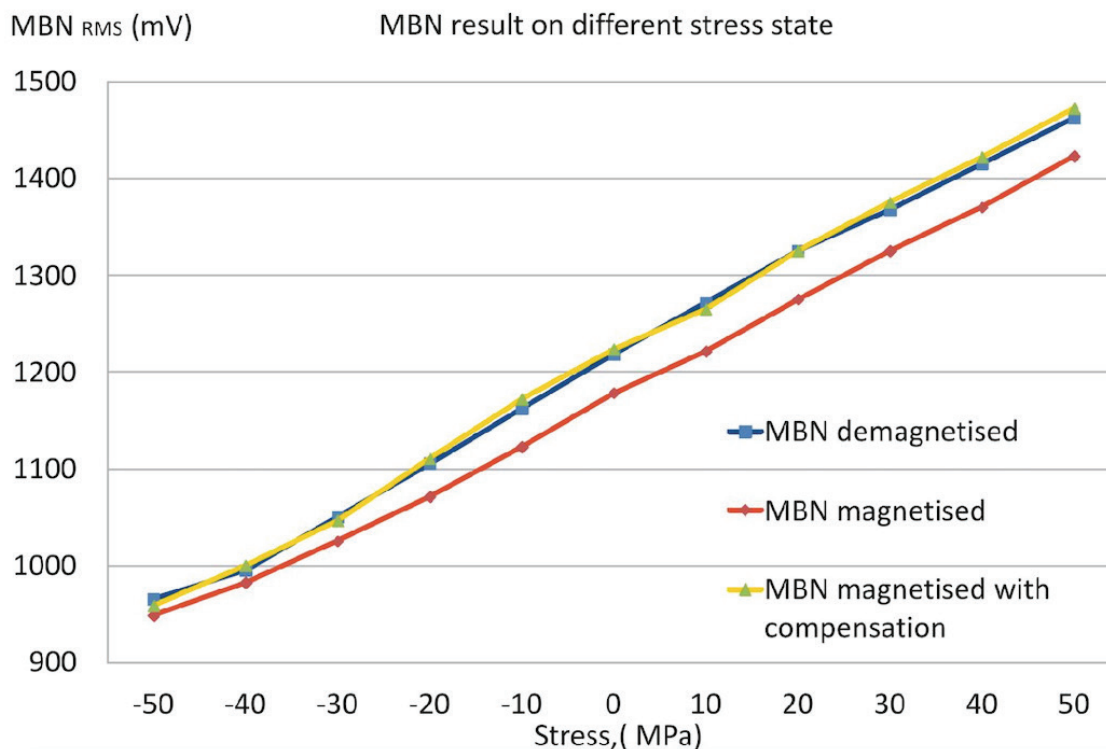
6. ábra: A kompenzáció elvi vázlata



7. ábra: A feszítőmű és a kompenzációs RailScan berendezés

A mérési eredmények alapján megfigyelhető, hogy a mágnesezett mintán végzett kompenzálatlan méréshez tartozó görbe minden feszültségértéknél kisebb MBN RMS értékeket mutatott (8. ábra). A kompenzálás segítségével ez az eltérés teljes mértékben megszüntethető volt.

A maradó mágnesség és a gerjesztés iránya nem feltétlenül esnek egybe, ezért egymásra merőleges gerjesztések használatával megkereshető az a kompenzáló mágneses tér a két gerjesztés kombinációjával, mely a maximális MBN értékeket biztosítja. A



8. ábra: Az MBN RMS értékek a külső feszültség függvényében demagnetizált sínen (MBN demagnetised) és felmágnesezett sínen mérve kompenzáció nélkül (MBN magnetised) és kompenzációval (MBN magnetised with compensation).

kompenzáció csak a mérendő térfogatban a mérés ideje alatt hat, így a felhasznált energia lényegesen kisebb, mintha a sínt teljesen lemágneseznénk.

Összefoglalás

Fejlesztésünkkel sikerült egy olyan eljárást és eszközt kifejleszteni, mely alkalmas a maradó mágnesesség negatív hatásainak kompenzálására MBN mérés során ipari körülmények között kis energiaigénnyel. A szabályozás a gerjesztés DC eltolásával, egy kompenzáló mágneses tér létrehozásával történik. Az így megvalósított analóg szabályozó kör révén elérhető, hogy a fel-, ill. lemágnesezés során keletkező MBN csomagok értéke egymással megegyezzen. Az így létrehozott -szimmetrikus- jel RMS értékét tekintjük a mérés eredményének. Az eljárásról egy szabadalmi alkalmazás is született, amely előzetes védelem alatt állt 2018-ig. [5]

A mérési eredmények igazolták, hogy a kompenzációs MBN mérés a vasúti sínek esetében is alkalmazható és a kb. öt hibaszázalékkal terhelt mérési eredmények pontosságát jelentősen javítja, a hibát egy százalék alá csökkenti.

Köszönetnyilvánítás

Az RSDMAG02 fejlesztési projektet a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs hivatal támogatta a Baross Gábor program keretében 2010-ben [4].

Irodalomjegyzék:

- [1] Wegner, A.: Zerstörungsfreie RailScan-Neutratemperaturprüfung, Der EisenbahnIngenieur 2008 November
- [2] Bükki-Deme A, Szabó I A, Cserháti C, „Effect of anisotropic microstructure on magnetic Barkhausen noise in cold rolled low carbon steel”, JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS 322:(13) pp. 1748-1751. (2010)
- [3] L. Harasztosi, L. Daróczy, I.A: Szabó, Z. Balogh and D.L. Beke „Temperature dependence of Barkhausen-noise parameters in carbon steels” Materials Science Forum, vols. 537-538 (2007) pp. 371-378.
- [4] Baross Gábor Program RSDMAG02 OMFB-00447/2010: 2010-2011, Demagnetizációs RailScan készülék
- [5] Kovács, L., Posgay, Gy., Molnár, P., Harasztosi, L., Szabó, I.: Measuring of Barkhausen-noise on a Ferromagnetic Material Having Remanent Magnetic Property, Hungarian Patent P0800747, 10/12/2008.

Zsoldos Zsuzsa

Azt gondolom, Zsoldos Zsuzsannát az ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft. munkatársát nem szükséges külön bemutatni: számos tanfolyamon volt oktatója sok kollégánknak, egyes munkáiról beszámolt az egri konferenciákon és mindemellett volt figyelme, energiája szakmai közösséget szervezni.

Amióta ismerem, és ennek már körülbelül másfél évtizede, Zsuzsa az ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft. munkatársa. (Javítson ki, ha tévedek.) Minek köszönhető ez a – az Ön korosztályának tagjainál és általában az anyagvizsgálat területén manapság már nem szokványos – tartós kötődés?

Igen, körülbelül annyi ideje dolgozom itt, ráadásul nekem az ÁEF az első munkahelyem. Azt gondolom, ez egyfelől személyiség típus kérdése, másfelől nyilván sok múlik az adott munkahelyen, meg hogy ez a két dolog összepasszol-e egymással. Ami engem illet, ha elkezdek valamit és abban jól érzem magam, akkor többnyire elég kitartóan tudom csinálni azt a tevékenységet, nem váltogatok hirtelen ide-oda. Másrészt jól érzem magam ezen a munkahelyen, elsősorban a kollégák miatt. Azt hiszem, elmondható, hogy ez alatt az idő alatt barátságok is születtek, és úgy érzem, a munkatársaim többsége elfogad, elismeri, amit csinálok, talán még kedvel is, és természetesen ez kölcsönös. Nem mondhatom, hogy soha nem jutott eszembe, hogy elmenjek. Ilyen gondolatok többnyire konfliktusokkal terhelt, fárasztó időszakokban szoktak előjönni, de ezeket a helyzeteket eddig még mindig sikerült valahogyan, közösen megoldani.

Milyen végzettséggel és korábbi munkatapasztalattal kezdett el anyagvizsgálóként dolgozni?

A BME Közlekedésmérnöki Karán végeztem, Gépészmérnök szakon és Járműgyártás-javítás szakirányon. A nyári szakmai gyakorlataimat leszámítva, teljesen kezdőként léptem be annak idején az ÁEF Kft-be.

Mi vonzotta erre a területre?

Pont a nyári szakmai gyakorlatom alatt, amit egy hegesztő szakmérnök szárnyai alatt töltöttem, találkoztam először az anyagvizsgálattal valós körülmények között és nagyon izgalmasnak találtam. Sok baj volt a hegesztési próbákkal (azóta se láttam olyan



Zsoldos Zsuzsa

gyönyörűen sorok között szakadó szakítópróbatesetet, talán még mindig megvan a darab, mert persze elkértem), és ez nekem nagyon tetszett. Talán éppen az az első jele annak, hogy valaki anyagvizsgáló „vé-nájú”, ha olyasmiben gyönyörködik, vagy annak örül, ami másokat kifejezetten bosszant, vagy fejtörést okoz nekik.

A másik dolog, ami később tetszett meg – és az már kifejezetten a roncsolásmentes vizsgálatokhoz kötődik – hogy itt élőben, testközelben találkozhat az ember a mérnöki szerkezetekkel, ami nekem az egyetemen nagyon hiányzott. A gyermeki énem imádott felmászni, bemászni olyan helyekre, ahova egyébként nem lehet és nem szabad. Nyilván ez a lelkesedés az évek alatt azért csökken, de én most is szeretem magam megnézni az adott darabot, magam végezni a vizsgálatokat és úgy írni meg a jegyzőkönyvet. Tudom, hogy ez nem mindenhol történik így, mert más a munkaszervezés, de nekem ez így teljes.

Milyen roncsolásmentes és más jellegű vizsgálati eljárásokkal, módszerekkel foglalkozott ez ideig, és milyen tanúsítványokat szerzett eközben?

Kettes szintű tanúsítványom van VT, MT, AT, UT eljárásból és hármas PT és LT eljárásból; ezeket lényegében a napi gyakorlatban is használom, váltakozó intenzitással. Elvégeztem még egy spektroszkópos

és egy nyúlásmérő bélyeges tanfolyamot is, de ezeken a területeken érdemben nemigen dolgoztam. Persze a tartályvizsgáló tanfolyamot is elvégeztem és a PED-es kiterjesztést is megszereztem, mivel ezek a mindennapi munkánk elengedhetetlen feltételei közé tartoznak.

Volt-e olyan érdekes, fontos vagy igen tanulságos vizsgálati munkája, amire szívesen emlékszik vissza, akár több év távából is?

Nekem az a tapasztalatom, hogy sokszor az ember csak csinálja, csinálja, nem történik semmi említésre méltó, már kezd benne megjelenni a kétség, esetleg a fásultság, és akkor szembe jön valami váratlan és anyagvizsgáló szemmel nézve érdekes dolog, ami képes feltölteni és erőt ad a további munkához. Van, ami azért emlékezetes, mert esetleg komoly baleset lehetett volna belőle, van, ami egyszerűen váratlan és elsőre érthetetlen, van, ami olyan vizsgálattechnológiát igényel, ami csak hosszas próbálkozás és kísérletezés után hozza a kívánt eredményt, és van, ami egyszerűen csak szép, mármint esztétikus. Én legjobban a kísérletezős, próbálgatós dolgokat szeretem, bár erre ritkábban nyílik lehetőség. Ezek közül számomra az a kísérlet sor a legkedvesebb, amit a PT és az LT 3-as dolgozatomhoz csináltunk (mindket-tőnél nagyon sok segítséget kaptam Szűcs Páltól). Ezekben áthatolások vizsgálatokat végeztünk, azok paramétereit néztük különböző változók függvényében. (Még sok kérdés megválaszolatlan maradt, remélem lesz majd mód egyszer folytatni.)

Jó pár éve már oktat is anyagvizsgáló képző tanfolyamokon. Mely eljárásokat és tantárgyakat tanítja, illetve elméleti vagy gyakorlati órákat tart-e inkább?

PT, LT és UT tanfolyamokon oktatok rendszeresen. PT és LT tanfolyamon elméletet, UT tanfolyamon az alapokat, ami ott leginkább vegyesen – részben elmélettel, részben gyakorlattal – megvalósítható feladat.

Hogyan látja, változott-e az elmúlt években – jó vagy éppen rossz irányban – a tanfolyamok hallgatóságának előzetes felkészültsége, tanulási készsége és, hajlandósága?

Az emberek nem egyformák. Van köztük ilyen is, olyan is. Van, aki tényleg érdeklődik és tanulni jön,

és van, akinek csak papír kell. Én egy dolgot viselek nehezen, ha nincs meg a szakma és így a hozzá kapcsolódó tudás iránti alázat. Nem tudom, hogy volt 30 évvel ezelőtt, csak sejtem, az viszont biztos, hogy ebben a mostani piacorientált világban javarészt megszűntek a korábban komoly szakmai múlttal rendelkező laborok, ahol a betanításnak is volt kultúrája. Ma szerencsésnek mondhatja magát az a kezdő anyagvizsgáló, akinek megadatik, hogy legalább egy-két rutinosabb munkatárs mellett dolgozhat, akik hajlandóak arra és az idejük is engedi, hogy egy kezdővel „szöszmötöljenek”. Sokakat egyből a mélyvízbe löknek, ami iszonyatosan nagy felelőtlenség, véleményem szerint. Összességében úgy látom, nem az emberekkel van a gond, sokkal inkább a körülményekkel.

Hoztak-e valami „pluszt” a Leonardo-kézikönyvek (a korábbi jegyzetekhez képest) az oktatóknak, illetve a hallgatóknak, mik a tapasztalatai?

Vegyes a kép: van olyan terület, ahol hasznos többletet adott hozzá az oktatási anyaghoz az új kézikönyv, és van, ahol korábbról átfogóbb, praktikusabb és – oktatói szemmel nézve – könnyebben kezelhető szakirodalmak léteznek.

Miben, hogyan kellene javítani a képzést véleménye szerint? Vagy másként: melyek az erősségei és a gyengeségei az anyagvizsgáló képzéseknek manapság?

A jelenlegi képzési és vizsgáztatási rendszer, úgy gondolom, nem a minőségi oktatást szolgálja, mivel rövid távon szinte mindenkinek az az érdeke, hogy minél több ember sikeresen levizsgázzon, és nincs valós külső kontroll. Nem tudom, hogyan lehetne ezen érdemben változtatni, pedig hosszútávon az egyes cégek és emberek – az egész szakma – érdeke is a minőségi, valós tudást adó szakember-képzés és az azt hitelesítő vizsgáztatási rendszer lenne. A rendszer erőssége talán azokban a rutinos és jól képzett kollégákban és oktatókban keresendő, akik a tantermekben és a cégeknél hajlandóak és képesek is átadni a tudásukat. Belőlük viszont egyre kevesebb van.

Mi indította arra, hogy Facebook-csoportot szervezzen az anyagvizsgálók körében? Mióta él ez a csoport és mennyire élénk az egymás közti kommunikáció?

Én egy kifejezetten ultrahangos témával foglalkozó csoportot indítottam kb. másfél évvel ezelőtt. Az eredeti célom az lett volna, hogy valamelyest pótolja, az előbb már említett mentorhiányt. Hogy legyen egy fórum, ahol bárki, bármit kérdezhet (akár teljesen egyértelmű, de számára érthetetlen dolgot is) és a csoporton belüli tapasztalt kollégák (a kérdés minősítése nélkül) jó szándékkal segítenek neki. Sajnos ez ebben a formában nem tudott megvalósulni. Ennek több oka is van, az egyik, hogy egy ideje én sem teszek ebbe megfelelő mennyiségű energiát. Teljesen még nem adtam fel, csak a jelenlegi élethelyzetem más irányba tereli a figyelmemet, meg hát kell egy kis erőt gyűjteni, mielőtt az ember újra nekiszalad fejjel a falnak.

Ehhez kapcsolódva (is) kérdezem: véleménye szerint lenne-e értelme valamiféle „mesterkurzusnak”, aminek keretében érdekes, speciális, különleges vizsgálati feladatok megoldását adnák elő az érintettek más kollégák, a szakmai közösség okulására?

Szerintem igen, én személy szerint nagyon örülnék neki. Viszont biztosan meg kell küzdeni egyfelől az érdektelenséggel, másfelől azzal, hogy a kollégák egy része félti a tudását átadni és sajnálja az energiáját rááldozni. Ha ingyenes lenne, és meg lehetne találni rá a vállalkozó kedvű előadókat, működhetne és hiánypótló is lenne. (Mi kezdtünk csinálni valami hasonlót az ultrahangos csoportban. Ott én múlt-jelen-jövő szála igyekeztem felfűzni a témákat. A múlt jegyében egy idősebb anyagvizsgáló beszélt volna a tapasztalatairól, a jelen rész lett volna olyasmi, amiről Ön beszél, vagy valamilyen aktuális téma, a jövő pedig az újfajta technológiák megismeréséről szolt volna.) Jó témák, jó előadók, odacsábítani az embereket – tényleg jó lenne...

Mit lehetne, kellene tenni azért, hogy vonzóbb legyen az anyagvizsgálói pálya, kisebb legyen a laborokban a munkaerő fluktuációja? Egyáltalán, hogyan látja a szakmai magyarországi jövőjét?

Amennyire én látom, ez a pálya nem sok fiataalt vonz. Nálunk azért viszonylag sokan megfordulnak pl. szakmai gyakorlaton vagy az egyetemi tanulmányok mellett félállásban. Többnyire jönnek, hosszabb-rövidebb ideig csinálják, és aztán választanak egy jóval kényelmesebb és jobban fizetett állást. Ezzel elég nehéz mit kezdeni és még csak haragudni sem tud rájuk az ember. Egyfelől azt mondom, hogy

rendesen meg kell fizetni az anyagvizsgálókat, de ez azért nem ennyire egyszerű, én is tudom. Viszont elengedni manapság egy jóképességű, elszánt, érdeklődő, megbízható, kezdő anyagvizsgálót, nagy „luxus”. Pláne egy hasonló kaliberű tapasztaltabbat. Persze a pénzen túlmenően is sok olyan dolog van, ami miatt jó valahol dolgozni, de a fontossági sorrend egyénekenként eltérő lehet, ráadásul az évek során változhat is. Például lehet, hogy egy fiatal, a pályája elején álló anyagvizsgáló szívesen dolgozik éjjel-nappal, hogy megteremtse az életkezdéséhez szükséges anyagiakat, ugyanakkor ezt családosan már másképpen láthatja. Szerintem a mai szakemberhiány mellett egy munkáltatónak ezeket is figyelembe kellene vennie.

Egyelőre nem látom túl rózsásan az itthoni anyagvizsgálat jövőjét, pont a szakember-utánpótlás hiánya miatt.

A MAROVISZ elnöke ez év februárjában felkérte, legyen tagja annak a munkacsoportnak, amely javaslatokat dolgoz ki a szövetségünk megújításához. Anélkül, hogy bárminek elébe akarnék vágni, vannak-e olyan ötletei ezzel kapcsolatban, amelyeket megosztana az olvasókkal?

A munkacsoport tagjaival emailen már több dologról egyeztetünk és sikerült személyesen is találkozunk. Több régi-új probléma szóba került, de ezekről nem szeretnék még beszélni, mert a javaslatainkat, amennyiben születik ebből valami használható anyag, elsősorban a MAROVISZ elnökségnek és tagságnak szánjuk.

Viszont az AVI lap számára lenne egy ötletem: szívesen látnék a lapban egy fotópályázatot, amire rendszeresen lehetne beküldeni érdekes, jól sikerült felvételeket, lehetőleg esetleírással, amiből a szerkesztőség időnként válogatást adhatna közre a lapban.

Skopál István
rovatvezető

KEREKASZTAL PLUSZ

Az egri konferenciáink rendszeres programpontja a kerekasztal megbeszélés, amelynek állandóan visszatérő témája a képzés és tanúsítás. Így volt ez idén, a XI. RAKK-on is. A korábbiakhoz képest azonban volt két lényeges különbség: csak három, jól meghatározott problémával foglalkoztunk, valamint a be nem fejezett diskurzust – igaz, szűkebb körben – később folytattuk és eredményesen lezártuk. Utóbbi miatt kapta ez a rövid tudósítás a fenti címet.

A három témakör a következő volt:

- a nem érettségizett személyek tanúsításának rendezése
- a felsőfokú tanulmányok figyelembe vétele a képzésben
- a *vasúti karbantartás* szakterületre vonatkozó képzés és vizsgáztatás megszervezése.

A beszélgetést e beszámoló szerzője moderálta, Bartos Zoltán és Bodolai Tamás közreműködésével. Elsőként a harmadik témakör került terítékre: a kerekasztal keretében tartotta meg előadását Marosi Ákos (MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft.) *Vasúti vizsgálatok harmonizálása az üzemminősítések során* címmel. Ebben összegezte a vasúti járművek és infrastruktúra vizsgálataira vonatkozó aktuális európai elvárásokat, amelyek mind a karbantartással, mind a gyártással foglalkozó cégeket érintik. Fontosnak tartotta, hogy e területen korszerű, magas színvonalú legyen a hazai képzés, és késznek mutatkozott arra, hogy segítsen – felhasználva természetesen a MÁV lehetőségeit – ennek megszervezésében, különösen a megfelelő gyakorló és vizsgadarabok biztosításában. Az ügy gazdasági jelentőségét hangsúlyozta hozzászólásában Kecskés Péter. Elmondta, hogy várhatóan a közeljövőben a magyarországi üzemeket is átvilágítják a Deutsche Bahn szakemberei, és csak azok a vállalkozások számíthatnak majd német megrendelésekre, amelyek megfelelnek ezen az üzemminősítésen.

Az első két témakör vitaindítóját a MAROVISZ elnökségének állásfoglalás-tervezete képezte, amelyben az elnökség kifejtette, hogy

- sikeres előzetes tudásfelmérés esetén elfogadhatónak tartja azt, hogy érettségivel (régii meghatározás szerint: középfokú végzettséggel) nem rendelkező jelentkezők is kaphassanak teljes értékű tanúsítványt – legalább 1-es szinten, egyes eljárásokból;
- igazolt műszaki felsőfokú tanulmányok (akár

végzettség) esetén sem tartja indokoltnak azt, hogy a jelentkezők megkapják a szabvány által megengedett kedvezményeket: a tanfolyami óraszám és az ipari jártasság időtartamának csökkentését.

Ezek kapcsán az elnökség figyelembe vette,

- hogy mik az ipari munkáltatók igényei, hogy az EN ISO 9712 szabvány nem követel meg konkrét iskolai végzettséget, és hogy a Nemzeti Akkreditáló Hatóság nem várja el a szabvány magyar kiadásában lévő Nemzeti előszó alkalmazását; továbbá
- hogy a hazai műszaki felsőfokú képzések – melyekben a roncsolásmentes vizsgálatoknak egyébként is csak marginális szerep jut – nem biztosítanak kellő, ipari szolgáltatáshoz elfogadható szintű gyakorlatot.

Az élénk vitában – ami a rendelkezésre álló időtartam miatt gyakorlatilag az első témára korlátozódott – a hozzászólók több szempontból közelítettek a kérdéshez: szabad-e eltérni a magyar szabvány előszavától, nem vezet-e mindez színvonalcsökkenéshez, a munkáltatók akár segédmunkásaikat is tanfolyamra küldik, és így még olcsóbb anyagvizsgálókat dolgoztatnak majd, a végzettség vagy a szakmai elköteleződés számít-e, mi a jelenlegi gyakorlat e téren, és így tovább.

Miután Egerben a jelenlévők egyik témában sem tudtak közös álláspontra jutni, a vitavezető – tekintettel arra, hogy fontos és sürgős továbblépést igénylő problémákról van szó – a kerekasztal megbeszélés folytatására hívta fel a tanúsítókat, a képzőket és minden érdeklődőt, vállalva az újabb találkozó megszervezését. Erre három héttel később sor is került, és ez alkalommal – a mellékelt, közös Emlékeztető tanúsága szerint – eredményesen fejeződött be a RAKK-on elkezdett vita.

Az Emlékeztetőben meghatározott szakmai bizottság június 5-én tartotta meg első ülését. A bizottság munkájáról, kidolgozott javaslatairól a későbbiekben beszámolunk.

Skopál István
MAROVISZ elnökségi tag

EMLÉKEZTETŐ

a roncsolásmentes anyagvizsgálók képzésének és tanúsításának egyes kérdéseiről megtartott kerekasztal megbeszélésről

A megbeszélés dátuma: 2019. 04. 16.

Helyszíne: MAROVISZ Személytanúsítási Iroda

Résztvevők:

Kőrösi Józsefné	(MHtE)
Nagy Zsolt	(MHtE)
Klausz Gábor	(AGMI ZRt vezérigazgató)
Koczák Imre	(Hidra Felnőttképző Kft. ügyvezető)
Dénes Gáborné	(Hidra Felnőttképző Kft.)
Lantos Krisztina	(Hidra Felnőttképző Kft.)
Szűcs Pál	(ORSZAK Novum Kft. ügyvezető)
Bartos Zoltán	(MAROVISZ Személytanúsítási Iroda)
Bodolai Tamás	(MAROVISZ Oktatási Kft. ügyvezető)
Kecskés Péter	(MAROVISZ Elnökség, alelnök)
Skopál István	(MAROVISZ Elnökség)
Mordavszky Károly	(MAROVISZ HUANDTB)
Fücsök Ferenc	(MAROVISZ)
Méhész István	(MAROVISZ)

A megbeszélés – amelyet a MAROVISZ Elnöksége nevében Skopál István szervezett meg – a XI. RAKK konferencia zárónapján megtartott kerekasztal beszélgetés folytatása volt.

A résztvevők – rövid véleménycsere után – egyhangúan megegyeztek a következőkben:

1. A nem érettségizett személyek képzésének és tanúsításának tárgyában:

- Elfogadják, illetve támogatják azt, hogy középfokú végzettséggel nem rendelkező, szakmunkás végzettségű jelentkezők is szerezhessenek roncsolásmentes anyagvizsgálói tanúsítványt.
- Ezzel kapcsolatban szükségesnek tartják, hogy a két tanúsító testület
 - közösen határozza meg, mit fogadnak el középfokú végzettségnek – figyelembe véve az állami oktatási rendszer megváltozott nomenklatúráját is,
 - továbbá kezdeményezze az MSZT-nél az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány nemzeti előszavának a közösen kialakított, végleges

álláspontnak megfelelő módosítását.

- Helyeslik, hogy a középfokú végzettség nélkül jelentkezőknek kötelező legyen a szükséges alapismeretekre vonatkozó, előzetes tudásfelmérés.
- Az előzetes tudásfelmérés tartalmát egy MAROVISZ által felállított szakmai bizottság dolgozza ki, melybe a képző és tanúsító szervezetek is delegálnak tagokat.
- Javasolják, hogy az előzetes tudásfelmérést szolgáló vizsgákat, a közösen kidolgozott és elfogadott kérdéssorok felhasználásával, a két tanúsító testület egyikénél kelljen letenni, és ezeknek a vizsgának az eredményét a másik tanúsító testület és mindegyik képző szervezet fogadja el.
- Azoknak, akik az előzetes tudásfelmérésen nem felelnek meg, előképzésen kell részt venniük, és csak annak eredményes befejezése után kezdhetik el az anyagvizsgáló tanfolyamot. Az előképzés tananyagát is a fenti szakmai bizottság dolgozza ki. Az előképzés javasolt formája: e-learning.
- A szakmai bizottság döntsön a további, lényeges kérdésekben – mely eljárásokra vezessük be a nem érettségizettek tanúsítását, 2-es szintre is elfogadjuk-e a jelentkezéseket, egy-szerre vagy fokozatosan tegyük-e mindezt – is.

2. A felsőfokú tanulmányok figyelembe vétele tárgyában:

- A két tanúsító testület közösen – egyetemi oktatók segítségével – határozza meg, milyen felsőfokú műszaki vagy természettudományos végzettséget, illetve tanulmányokat tekinthetünk relevánsnak a roncsolásmentes anyagvizsgálók képzése és tevékenysége szempontjából.
- Ennek alapján az említett szakmai bizottság határozza meg, hogy a különféle releváns tanulmányok után 2-es szintre jelentkezők mely anyagvizsgáló tanfolyami órák alól kaphatnak felmentést, azaz mire terjedhet ki az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány által megengedett – legfeljebb 50%-os mértékű – óraszám csökkentés.



Röntgenátvilágítás szolgáltatás a KE-TECH-nél!

- Általános tapasztalat az, hogy a hazai felsőfokú (műszaki és természettudományos) képzések során a hallgatók nem szereznek használható roncsolásmentes anyagvizsgálói gyakorlatot. Ezért szükség van arra, hogy a felsőfokú tanulmányokkal közvetlenül 2-es szintre jelentkezők az anyagvizsgáló tanfolyam előtt bizonyítsák be (legalább 1-es szintű) gyakorlati készségüket, jártasságukat. A szakmai bizottság dolgozza ki az erre vonatkozó feltételeket és követelményeket is.
3. A vasúti karbantartás ipari szakterület tárgyában:
- Meghallgatva Kecskés Péter rövid ismertetőjét az EFNDT Railway Forum tevékenységéről, a Deutsche Bahn anyagvizsgálókkal szembeni elvárásairól, valamint a német részről várható – a magyarországi, vasúti karbantartást végző szervezeteket is érintő – üzemellenőrzésekről, a résztvevők egyetértettek abban, hogy a vasúti karbantartás ipari szakterületre vonatkozó, hazai anyagvizsgáló képzést és vizsgáztatást meg kell újítani.
 - A megújítás során figyelembe kell venni a vasúti alkalmazásokat tárgyaló, két új, európai szabványsorozatot és általában az európai szintű elvárásokat, különösen fel kell készülni a piaci szempontból igen fontos, német ellenőrzésekre.
 - A megújítás kidolgozása a MAROVISZ keretében megalakuló vasúti szakbizottság és az előzőekben említett (képzési és tanúsítási kérdésekkel foglalkozó) szakmai bizottság közös feladata lesz.
 - A gyakorlati képzést és vizsgáztatást – tekintettel arra, hogy a próbatestek speciális jellegűek, nagy tömegűek, nehezen szállíthatók és egyedi előállításuk több példányban drága lenne – egy vasúti karbantartást végző cég telephelyére koncentráltan célszerű megoldani. A próbatestek elkészítéséhez kérni kell az érdekelt szervezetek segítségét.

Budapest, 2019. 04. 17.
Készítette: Skopál István

Jármű alkatrészek; öntvények, elektronikai termékek, csomagolt készárúk, vagy prototípusok vizsgálata hibakeresés, minőségellenőrzés céljából.

• 2D röntgen, igény esetén CT-vel

Kiváló képminőség, digitális archiválás

• Kisebb vagy nagyobb szériák vizsgálata

• Műszer üzemidő bérlet vagy teljeskörű vizsgálati szolgáltatás, kiértékeléssel

Vizsgálható alkatrész méretek:

magasság x átmérő: max. 1500 mm x 800 mm

súly: max. 100 kg

falvastagság, kb.: acél: ≤ 35 mm, alumínium ≤ 65 mm



Ajánlatkérés:

atvilagitas@ketech.hu

T: +36 1 290 0151

Rendezvények

Hazai rendezvények

40. BALATONI ANKÉT, SIÓFOK 2019 NOVEMBER 21-23.

XX. SZÁZADI PROBLÉMÁK MEGOLDÁSA XXI. SZÁZADI MÓDSZEREKKEL A NYOMÁSTARTÓ RENDSZEREK GYÁRTÁSA, JAVÍTÁSA, KARBANTARTÁSA, VIZSGÁLATA TERÜLETÉN

A GTE Százhalombattai Területi Szervezete és a Magyar Hegesztési Egyesület, mint társszervező 2019 novemberében is megrendezi hagyományos őszi Balatoni Ankétjét, melyre minden kedves érdeklődőt szeretettel vár.

Részletek: <http://marovisz.hu/rendezvenyek/belfoldi/>

Külföldi rendezvények

KINT SYMPOSIUM 2019 - AMSTERDAM 30-31 OCTOBER

PHASED ARRAY ULTRASONIC TESTING OF WELDS IN THIN-WALLED MATERIALS

KINT SYMPOSIUM 2019: Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) of welds in thin-walled materials

The objective of this symposium is to share results of the KINT SKOP project "Development of Acceptance Criteria for the mechanised UT Phased Array Technique on welds in thin walled ferritic steel" and offer an opportunity to exchange knowledge with similar efforts elsewhere. Organized by the Dutch Quality Surveillance and Non-Destructive Testing Society

Details: <http://marovisz.hu/rendezvenyek/kulfoldi/>

2ND WORLD CONGRESS FOR CONDITION MONITORING & SINGAPORE INTERNATIONAL NDT CONFERENCE - SINGAPORE 2-5 DECEMBER

Following the successful inaugural World Congress on Condition Monitoring 2017 in London, the Non-Destructive Testing Society Singapore (NDTSS) and the International Society for Condition Monitoring (ISCM) are delighted to invite you to the premier global event, the Second World Congress on Condition Monitoring, the Marina Bay Sands Expo and Convention Centre, Singapore, 2-5 December 2019.

Details: <http://marovisz.hu/rendezvenyek/kulfoldi/>



Ginsztler János (1943-2019)

A földi lét megszakadása, az elmúlás mindig nehezen feldolgozható tény, de mindnyájunknak szembe kell nézni ezzel a megmászhatatlan pillanattal. Fiatal korunkban még a szakma „nagy öregjeként” tekintünk a távozókra és meghatódva, a példaképre gondolva állunk a ravatalnál, a sírnál egy-egy közös élmény pillanatait felidézve. Életünk múlásával azonban eljön az az időszak is, amikor már generációnk tagjai lépnek a végtelenség egyirányú ösvényére. Eszünkkel ezt is tudomásul vesszük, de érzelmeink felkavarodnak. E zűrzavar annál erősebb minél több közös esemény, pillanat részesei lehettünk. Nehezen csillapodó hullámokat indított el bennem is Dr. Takács János július 8. délutánján „Gyász hír – Dr. Ginsztler János” címmel küldött értesítése. A hír le-sújtott és a székemhez ragasztott, János a „mindig mosolygós arcával” jelent meg e pillanatban előtttem. Nem kívánok „szabályos” nekrológot írni, hiszen munkássága, eredményei, sikerei és ezek felsorolása, értékelése számos helyen fellelhető, így a Wikipédiában¹, a Magyar Mérnökakadémia², a Magyar Tudományos Akadémia³ BME⁴, honlapjain és a közelmúlt, valamint a közeli jövő méltatásaiban. Életének (1943. május 23. - 2019. július 7.) 27.805 napja adta számára azt a keretet, amellyel sáfárkodhatott. Hogy miképpen? A hivatkozott források egyértelműsítik azt a kifejezést, hogy „remekül és nagyon jó hatásfokkal”. Igaz erre már csillagjegye is predesztinálta, hiszen a generációk sorában őt megelőző Terplán Zénó május 25.-én született, igaz 22 évvel korábban. „Közös felületük” pedig egyrészt a Mérnöki Továbbképző Intézet volt, ahol Terplán Zénó⁵ 1945-50 között titkár majd főtitkár volt, Ginsztler János pedig 1998-ban az intézet igazgatója lett. A másik közös felületük a diákújságok kapcsán volt. Terplán Zénó a Miskolci Egyetem HÚZÓTÜSKE c. lapjának atyja és fáradhatatlan főszerkesztője, motorja volt, János a VICINÁLIS DUGÓHÚZÓ formálásában szerzett el nem múló érdemeket. Ginsztler János élete címszavakban és időpontokban így jellemezhető: Érettségi (1961), kalorikus gépészmérnök (1966), tanársegéd (1966),



adjunktus, docens (1981), egyetemi tanár (1984) a BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszéken, tanszékvezető (1986 – 1997, Villamosipari Anyagtechnológiai Tanszék), a Gépészmérnöki és Villamosmérnök karok egyesített tanszékének Prohászka Jánost és Artinger Istvánt követően. A szakmai életút hasonló egyszerűsítéssel: hegesztő szakmérnök (1968), műszaki tudomány kandidátusa (1980), doktora (1988), MTA levelező tagja (2001), rendes tagja (2007). A szakmai közélet egyik meghatározó egyénisége. E területen végzett tevékenysége ugyanilyen felsorolással: Magyar Mérnökakadémia alapító tagja (1990), főtitkára (1990-1996), elnöke (1997-2019), a Gépipari Tudományos Egyesület elnöke (1990-1993), Magyar Szabványügyi Testület vezetője (2004-től). Utolsónak hagytam a nemzetközi szakmai életben betöltött szerepét. A szó nemes értelmében a magyar műszaki tudományos élet diplomatájának tekinthető. Engedjék meg, hogy először kezdjem a felsorolással: a BME nemzetközi ügyekért felelős rektorhelyettese (1991-1998), Európai Akadémia tagja (1998), három angol nyelvű szakmai folyóirat szerkesztő bizottságának tagja, két egyetem díszdoktora (Melbourne, Helsinki). Szer-teágazó szakmai és tudományszervezési tevékenységét számos díj adományozásával ismerték el különböző fórumokon: Pattantyús Ábrahám Géza-díj (1986), Eötvös Loránd-díj (1993), MTESZ-díj (1998),

1 https://hu.wikipedia.org/wiki/Ginsztler_János

2 <http://www.mernokakademia.hu>

3 https://mta.hu/mta_hirei/elhunyt-ginsztler-janos-az-mta-rendes-tagja-109876

4 https://www.bme.hu/hirek/20190708/Elhunyt_Ginsztler_Janos_a_BME_korabbi_rektorhelyettese_nemzetkozi_hiru_professzora

5 Terplán Z.: Ifjan-Éretten-Öregen. Miskolc, 2001 és 2014. <https://mek.oszk.hu/html/vgi/kereses/keresesujgy.phtml?tip=gyors&cim=ifjan>

Akadémiai-díj (1998), Pázmány Péter felsőoktatási díj (1999), Széchenyi-díj (2010), miközben a Magyar Köztársasági Érdemkereszt középkeresztje kitüntetést is elnyerte (2007). És itt szeretném kiemelni a környezetének hatását. A szakmai közösség meghatározó egyéniségei Gillemot László és Konkoly Tibor szerepére. Mindkettő megalapozója és szemléletformáló egyénisége volt a BME szakmai, nemzetközi diplomáciájának. Ginsztler János méltán követhette a nagyszerű embereket egészen halálukig (Gillemot, 1977; Konkoly 2001). Kétségtelenül Konkoly Tibor volt az, aki – már koránál fogva is – nagyobb hatást gyakorolt életére. Számos tény közül említhető a Magyar Mérnökakadémia, a Magyar Szabványügyi Testület, avagy Konkoly Tibor utazási élményeit „Édesapám” címmel összefoglaló, mindössze 50 példányban megjelent könyv előszava, amely Ginsztler János tollából fakadt. Ide kívánczik egy újabb személyes élmény, amely ugyancsak személyeken át kötődik a nemzetközi szakmai diplomációhoz. Ginsztler János elismerései között szerepel egy „Európa Díj ASM (American Society for Materials, 1993)”. A rendszerváltást követően nyitottabbá vált hazánk szakmai közössége előtt újabb lehetőségek tárultak fel. Az ASM European Council elnöke, alelnöke és igazgatója részvételével a magyar szakmai szervezetek és egyetemek bevonásával 1990. november 30.-án¹ az MTA Országház u. székházában a csatlakozásunk lehetőségeiről, perspektívájáról. Ginsztler János a Magyar Mérnökakadémiát képviselte. A „Régi Országház” vendéglőben közösen elfogyasztott falatok után Jánossal hosszan beszélgettünk hazánk új, az anyagtudományhoz kötődő lehetőségeiről a Mária Magdolna-templom környékén. Tényként, 1991. október 30.-án Prof. Stephen M. Copley az ASME elnöke² átadja Konkoly Tibor professzornak az ASM Hungary első elnökének az alapító okiratot, Ginsztler János pedig 1993-ban a Gellért Szállóban rendezett Annual dinner-jén elnyeri az „Európa Díjat” és később 1999-2002 között a Magyar Anyagtudományi Egyesület elnöki funkcióját tölti be. Tenni, bármit is csak akkor tudunk, ha szívünk dobog. E csodás „szerkezet” Ginsztler Jánosnál kb. 2.4 milliárdot dobantott, majd megszűnt betölteni funkcióját, előidézve családjá körében a fájdalmat, barátai között pedig az ürességet, a hiányt, elemi gátat vetve a közös élmények gyarapodásának. Milyen ember is volt Ginsztler János? Nehéz egyszerűen

megfogalmazni, így idézem egyik professzortársamat: „Ő apám helyett is apám volt, mindent neki köszönhetek, szerencsém volt, hogy ilyen kiváló emberrel dolgozhattam”. Meggyőződéssel hiszem és vallom, hogy az előző mondat második felét elmondhatjuk mindnyájan, akik veled személyes kapcsolatba kerülünk. Kedves János, nem csupán én búcsúzok Tőled, hanem mindnyájan ezt tettük 2019. július 29.-én. Nyugodj Békében!

Tóth László, egyetemi tanár



¹ Országos Anyagtudományi Konferenciasorozat, 1997-2015. Jubileumi Kiadvány. MAE, Budapest, 2015.

² <https://www.asminternational.org/about/governance/past-presidents>

Technology you can trust.

- ✓ **Kompakt**
- ✓ **Hatékony**
- ✓ **Megbízható**



GUIDED ULTRASONICS LTD.

www.guided-ultrasonics.com

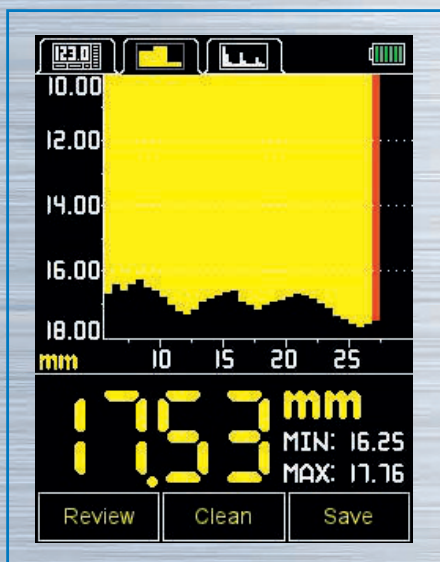
Legyen szó szűrő jellegű, vagy folyamatos állapot-ellenőrzésről, a csővezetékek korróziós hibái nem kerülhetik el a figyelmét. Wavemaker G4 vizsgálóegységeink a legkorszerűbb sík hullámokkal vizsgáló (GWT) rendszerek, nagy hatótávolságú feltérképező vizsgálatához. A technológia úttörőiként, harminc év tapasztalataival és folyamatos fejlesztéssel igyekszünk hozzájárulni csővezetékeinek és létesítményeinek biztonságához.



www.ketech.hu



ACOUSTIC
CONTROL
SYSTEMS



A1270 EMAT

ÉRINTKEZÉSMENTES IPARI FALVASTAGSÁGMÉRŐ
ELEKTROMÁGNESES-AKUSZTIKUS VIZSGÁLÓFEJJEL



- Világelső EMAT rendszer állandó mágnes nélkül
- Tiszta munka: csatolóanyagot nem igényel
- Egyenetlen, szennyezett felületeken is működik
- Festék- és bevonatrétegen keresztüli mérés
- A-scan üzemmód



Forgalmazás: www.ketech.hu