



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu 2021/III. lapszám

RAKK & AGY 2021

Konferencia cikkek válogatott gyűjteménye

A lap házigazdája
és kiemelt partnere:



Magyar Roncsolásmentes
Vizsgálati Szövetség

MAE

Magyar Anyagvizsgálók
Egyesülete

MAE elnökök
portréi:
Mihailich Győző



Magyar Szabványosítás Centenárium



Riport
Erdi Rékával

Szakmérnöki
képzés



Könyvajánló



Doktorandusz
hallgatók
cikkei



MAGYAR RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI SZÖVETSÉG

A Szövetség legfontosabb céljai:

- szakmai érdekegyeztetés, érdekvédelem
- szakmai kultúra javítása
- szakmai információ szolgáltatása
- szakmai képzések szervezése, lebonyolítása, képzési anyagok készítése
- vizsgálószemélyzet képzése és vizsgáztatása, tanúsítása
- közreműködés a szabványosításban
- folyóirat kibocsátása, publikálás
- szakmai képviselő nemzetközi szakmai szervezetekben
- szakértői tevékenység

A Szövetség legfontosabb tevékenységei céljai érdekében:

- kidolgozta és alkalmazza Etikai Kódexét
- kidolgozta és közzétette a roncsolásmentes vizsgálatok ajánlott árait
- rendszeresen megszervezi a Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferenciát és Kiállítást (RAKK)
- klubfoglalkozásokat, szimpóziumokat tart
- jártassági vizsgálatokat szervez a roncsolásmentes vizsgáló laboratóriumoknak
- képviseli a magyar roncsolásmentes vizsgálatokat a nemzetközi szervezetekben (EFNDT és ICNDT)
- kapcsolatot épít és tart fenn más nemzeti roncsolásmentes vizsgálati szövetségekkel
- szakmai együttműködést folytat más területeken működő szakmai és tudományos egyesületekkel
- együttműködik egyetemekkel a roncsolásmentes vizsgálatok népszerűsítése érdekében
- megjelenteti az Anyagvizsgálók Lapját: www.avilap.hu
- honlapot működtet a folyamatos kommunikáció biztosítása érdekében – www.marovisz.hu

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség Lapja
MAROVISZ

Az ország vezető szaklapja.
Alapítva: 1991-ben.

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

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztősége a
kiadó, 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. Dívós Ferenc

Dr. Dudra Judit

Kecskés Péter

Lutor Attila

Dr. Mankovits Tamás

Skopál István

Szűcs Pál

Zsoldos Zsuzsanna

Dr. Tóth László, felelős szerkesztő

Dr. Trampus Péter, felelős kiadó

Berki Gábor, főszerkesztő

Erdei Réka, digitális szerkesztő



tripladuplav.hu
webstudio

Az elektronikus folyóirat szerver háttérét a

tripladuplav.hu
webstúdió biztosítja.



ISSN: 1215-8410

JEGYZET

Tisztelt Olvasóim! Nyár van és fellélegzünk. Örömteli, hogy nem a pandémia tombolásáról kell beszámolni. Igaz a δ -variáns (indiai változat) rohamosan terjed, különösen az átvittságot bizonyító Angliában, mintegy jelezve, hogy ősszel – talán – újból gondja lehet a világnak és a negyedik hullám kifejlődése zuhanhat az emberiségre. Hazánk – amely az egy főre számított halálesetek számát vezette – az 5,5 millió átvittsággal ugyancsak előkelő helyezést ért el világviszonylatban. A „politika” újabb döntése a futball Európa-bajnokság időszakára Puskás Arénát teljesen megnyitotta, így a Magyarország – Portugália mérkőzésen 67.000 szurkoló „sírva-vigadott” a 0:3 eredménnyel. Igaz az első gólt a 80. perct követően kaptuk. Miért is olvashatta a Tisztelt Olvasó az előző mondatokat? Mi fűzi ezeket egységbe? A mögöttük meghúzódó DÖNTÉS-ek! Ezek okos (jó) vagy elhibázott volta mozdítja a közösséget előre vagy hátra. Mindig és minden közösségben szükség van döntéshozóra és a döntések végrehajtására. A mérnökök társadalmában is így van. A jó, helyes döntéshez pedig tudásra, tapasztalatra és emberi tisztességre van szükség. A „tudás” bővülését segítette a „Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnöki képzés” zárása a Debreceni Egyetem Műszaki Karán. A képzés eredményessége a végzetek anonim véleményéből ismerhető meg.

Lapunk jelenlegi számának szakmai tartalma alapvetően a MAROVISZ és MAE közösen, Egerben szervezett rendezvényére támaszkodik. A két szakmai szervezet jeles képviselőiből választott csapatok által válogatott előadások írott változatait közöljük a jelen generáció informálására és őrizzük meg a jövő számára.

Sikeres rovatainkat folytatjuk. A törésmechanikai megfontolások gyakorlati használatának illusztrálására újabb példa kerül bemutatásra. A Portré rovatban újabb hazai szakember mindennapjaiba tekinthetünk be, de a régmúltba pillantva a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének 1934-1939 közötti elnöke, Mihailich Győző tevékenységét idézhetjük fel röviden. Generációm örömteli tapasztalata, hogy a fiatalok egyre több területen kapcsolódnak be a lap szerkesztésébe, értékálló tartalommal történő kitöltésébe. Természetesen nem maradhat el az idei MAROVISZ-Díjas előadásának írott változata sem, valamint tisztelettel köszöntjük a Magyar Szabványügyi Testületet (MSZT) centenáriuma alkalmából.

A nyári hónapokra az emberiség általában „erő, energia gyűjtésének” periódusaként gondol és ennek megfelelően is cselekszik a Föld bármelyik pontjában, ahol ezt megéli. Teszi ezt azért is, hogy megújulva vethesse bele magát a várható időjárás „szürke periódusában” feltorló feladatainak megoldásába. Így van ezzel az Anyagvizsgálók Lapját gondozó Szerkesztők egy kisebb csoportja is. Lapunk megélte a 30. születésnapját is. Ez pedig arra ösztökél bennünket, hogy a „31. születésnapot” megújult „külsővel, de folyamatosan erősödő és terebélyesedő belsővel, tartalommal tegyük emlékezetessé” 2022-ben.

Tóth László

TARTALOMJEGYZÉK - CONTENT

MECHANIKAI VIZSGÁLATOK - MECHANICAL TESTING

Tatár L., Kocsó E., Bereczki P., Molnár J. - Optikai mérésekkel és szimulációkkal támogatott anyagtudományi vizsgálatok L. Tatár, E. Kocsó, P. Bereczki, J. Molnár - Material science studies with support by optical measurements and simulations	6
Nagy R., Király M., Szepesi T. - Atomerőművi fűtőelem burkolat csövek felfúvódásának és felhasadásának optikai vizsgálata üzemzavari körülmények között R. Nagy, M. Király, T. Szepesi - Optical observation of ballooning and burst phenomena of nuclear fuel claddings under accident conditions	15
Bocz A., Kiss B., Márkus D., Narancsik Zs., Vainel V. - Nyúlásmérés rejtelmek lágyacéloknál A. Bocz, B. Kiss, D. Márkus, Zs. Narancsik, V. Vainel - Mysteries of elongation measurements of mild steels	25
Kotroc L., Bakonyi P. - Mélységérzékeny benyomódásmérés hőmérsékletfüggésének vizsgálata DMA berendezésben L. Kotroc, P. Bakonyi - Investigation of the temperature dependence of depth-sensitive indentation measurement in DMA equipment	30

ANYAG, ANYAGSZERKEZET - MATERIAL, MATERIAL STRUCTURE

Barsy E., Hózer Z. - A Zr-1%Nb ötvözet magas hőmérsékletű oxidációjának modellezése anyagvizsgálati eredmények alapján E. Barsy, Z. Hózer - The high-temperature oxidation of Zr-1%Nb cladding - a model based on material testing results	36
---	----

ÁLLAPOTELLENŐRZÉS, ÉLETTARTAM GAZDÁLKODÁS - RELIABILITY ASSESSMENT, LIFE CYCLE MANAGEMENT

Dudra J., Erdei R., Tóth L. - Mindennapi törésmechanika – Méret és repedésterjedéssel szembeni ellenállás hatásának elemzése J. Dudra, R. Erdei, L. Tóth - Everyday Fracture Mechanics – Analysis of Size and a Crack Growth Resistance Effect	42
---	----

RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK - NON-DESTRUCTIVE TESTING

Fücsök F. - Fejlesztések a jártassági vizsgálatokban F. Fücsök - Improvements in Proficiency Testing	47
---	----

PORTRÉ - PORTRAIT

Skopál I. - Riport Erdei Rékával I. Skopál - Riport with Réka Erdei	54
Tóth L., Erdei R.: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja - Mihailich Győző (1934-1939) L. Tóth, R. Erdei: Presidents of the Hungarian Association for Material Testing - Győző Mihailich (1934-1939)	56

MÉRFÖLDKÖVEK - MILESTONES

Skopál I. - A Magyar Szabványosítás Centenárium I. Skopál - Standardisation in Hungary - 100 Years Jubilee	59
---	----

Farkas Gy. - Köszöntő, 100 éve alakult meg az első magyar szabványosító szervezet Gy. Farkas - Welcome to the Hungarian standardisation society have been founded 100 year ago	59
---	----

HÍREK - NEWS

Gáti J. - Könyvismertetés, Fehérvári Attila: Ifjan-éretten-öreg J. Gáti - Book review, Attila Fehérvári: Ifjan-éretten-öreg	65
--	----

Tóth L., Trampus P., Mankovits T. - Sikeresen befejeződött a Debreceni Egyetem Műszaki Karán (DE-MK) Európa első Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök képzése	66
--	----

L. Tóth, P. Trampus, T. Mankovits - Europe's first Structural Integrity and Non-Destructive Testing Engineer training course has been successfully completed at the University of Debrecen's Faculty of Technology (DE-MK)	
--	--

Trampus P. - A Debreceni Egyetem szakmérnöki tanfolyamának tapasztalatairól P. Trampus - About the experience of the engineering course at the University of Debrecen	69
--	----

NEKROLÓG - OBITUARY

Mertinger V. - Krállics György (1951-2021) V. Mertinger - György Krállics (1951-2021)	70
--	----

DOKTORANDUSZ HALLGATÓK CIKKEI - PAPERS OF PHD STUDENTS

<i>Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola</i> Magyar B. Szabó G. - Polimer kompozitok károsodásának meghatározása újszerű módszerrel B. Magyar, G. Szabó - Determination of damage in polymer composites by a novel method	71
---	----

<i>Vegyésszámológiai és Anyagtudományok Doktori Iskola</i> Herbáth B., Kovács K. - Anyagvizsgáló lehetőségek a cink-foszfátos felület-előkezelő folyamatok technológiai ellenőrzésére B. Herbáth, K. Kovács - Materials testing possibilities for technological control of zinc phosphate surface pre-treatment processes	75
---	----

Optikai mérésekkel és szimulációkkal támogatott anyagtudományi vizsgálatok

Tatár Levente^a, Kocsó Endre^b, Bereczki Péter^c, Molnár János^d

^aEnergiatudományi Kutatóközpont, kutatómérnök, tatar.levente@ek-cer.hu

^bDunaújvárosi Egyetem, kutatómérnök, KOCSEEE@uniduna.hu

^cDunaújvárosi Egyetem, tudományos munkatárs, BERECZKIP@uniduna.hu

^dDunaújvárosi Egyetem, kutatómérnök, Molnar.Janos@uniduna.hu

Absztrakt

Az anyagvizsgálati mérések hagyományos kiértékelése gyakran egyszerű számítási modelleken alapul. A mérések során fellépnek az egyszerű modellel nem kezelhető jelenségek. Optikai mérésekkel kiegészítő információkat nyerünk a próbatestek viselkedéséről. A méréseket a próbatestek digitális párján szimuláljuk. A mérést és szimulációt együttesen az anyagtulajdonságok jobb megismerésére használjuk.

Abstract

Traditional evaluation of material science measurements is usually based on simple models. Phenomena not covered by the simple models occur during measurements. Optical measurements give additional information on specimen behaviour. Simulating the measurements is performed on digital twins of real specimens. Both measurements and simulations are used to assess more realistic material behaviour.

Kulcsszavak

anyagtudomány, optikai mérés, szakítóvizsgálat, végeselemes szimuláció, digitális pár

Keywords

material science, optical measurement, tensile test, finite element simulation, digital twin

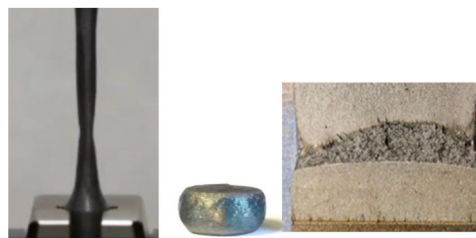
1. Bevezetés

Anyagvizsgálati mérések során általában valamilyen erő- és elmozdulás-jellegű mennyiséget mérünk egyidőben. Ez legtöbbször erő és elmozdulás, de pl. csavaróvizsgálat esetén lehet nyomaték és szögelfordulás is. Az erő jellegű mennyiségek mérése elvileg egyszerű, viszont az elmozdulás jellegű mennyiségek mérése az esetleges gyakorlati nehézségeken túl elvileg is problematikus. A Dunaújvárosi Egyetem és Energiatudományi Kutatóközpont

közös fejlesztéseként olyan rendszert dolgozunk ki, mely az elmozdulásokat optikai úton, a szokásosnál jóval több helyen méri. A mérések kiegészítéseként végeselemes szimulációval modellezzük az anyagvizsgálati méréseket. A mért és számított adatok összehasonlítására interpolációs keretrendszert dolgozunk ki, mellyel az eltéréseket számszerűsítve túlléphetünk a „ránézésre hasonló” szintű összehasonlításra.

2. A mérésnél alkalmazott modellek, problémák az elmozdulások mérésével

A hagyományos kiértékelés általában egyszerű modelleken, számításokon alapul. Erre legegyszerűbb példa a szakítás és a zömítés. A számítási modell egytengelyű húzást, illetve összenyomást feltételez. A kísérlet elején az egytengelyű állapot ténylegesen jó közelítést jelent. Noha már a folyamat kezdetén is felléphetnek többtengelyű hatások, ezek olyannyira kis mértékben befolyásolják a kiértékelt mérési eredményeket, hogy ezek hatása gyakorlati szempontból elhanyagolható. A kísérlet előre haladtával viszont dominánssá válnak olyan jelenségek, melyek az egyszerű modellekkel már nem értelmezhetőek. Ilyen szakítóvizsgálat esetén a kontrakció, zömítés esetén a hordósodás (1. ábra a, b). Törésmechanikai hárompontos hajlítás során maga a számítási modell bonyolultabb, de itt is felléphetnek olyan jelenségek, melyek az „egyszerű” modellel nem értelmezhetőek. Ilyen a görbült, ferde repedésfront (1. ábra c).



1. ábra: A hagyományos kiértékelés során problémát jelentő jelenségek:
a) kontrakció
b) hordósodás
c) görbült, ferde repedésfront

Az általunk javasolt megközelítésben a méréseket hagyományos műszerezéssel végezzük, viszont optikai úton kiegészítő információkat nyerünk, ezért optikai mérésekkel támogatott vizsgálatokról beszélhetünk. A mérés elvét szakítóvizsgálaton keresztül mutatjuk be, majd rátérünk a zömítésre és a hárompontos hajlításra is. Végül a Vickers keménységmérés és a folyásgörbe viszonyait tárgyaljuk.

Szakítóvizsgálat során a keresztfej-elmozdulás nem tekinthető a próbatest megnyúlását kellő mértékben jellemző mennyiségnek, ugyanis a próbatest hengeres részének megnyúlásán kívül számos egyéb elmozdulást is mér. Ilyenek (a teljesség igénye nélkül) a próbatest fejeinek megnyúlása, a befogópókák helyezkedése, csúszása (pofás befogás esetén), a menetes illesztések megfeszülése (menetes befogásnál és a befogó-keresztfej között), csapfurat helyi rugalmas alakváltozásai, stb. Éppen ezért az általánosan használt elrendezésben a próbatestekre extenzométert helyeznek, melynek a próbatesttel együtt mozgó karjai a próbatest hengeres részének (vagy a téglalap, négyzet keresztmetszetű résznek) az elmozdulását mérik. Feltételezve, hogy a mérés során a próbatest mérés szempontjából releváns részének alakja hengeres, vagy egyenes hasáb alakú marad, a feszültséget és a nyúlást egyszerű formulákkal lehet meghatározni. A feszültség meghatározásához feltételezni kell a térfogatállandóságot, ami a képlékeny szakaszon jó közelítésnek számít, de a rugalmas szakaszon nem az, viszont a nagyon kis rugalmas nyúlások miatt nem okoz számottevő hibát. A folyamat vége felé ez az egyszerű megközelítés nem alkalmazható, a folyásgörbe meghatározásához közvetlenül nem használható fel a

kontrakció utáni szakaszon a hosszirányú extenzométer által mért jel. Lehetőség van keresztirányú extenzométer használatára is, de ebben az esetben is problémát jelent a kontrakció, ugyanis:

- a feszültség- és nyúláseloszlás a kontrakciós szakaszban megszűnik egytengelyűnek lenni,
- semmilyen garancia nincs arra, hogy a próbatest pontosan a keresztirányú extenzométer fölhelyezésének helyén kontrahál. Ilyen esetben bemetszett próbatestek alkalmazása megfelelőbb, viszont ekkor már a folyamat elején sem lehet a sima próbatestre használt formulákat alkalmazni.

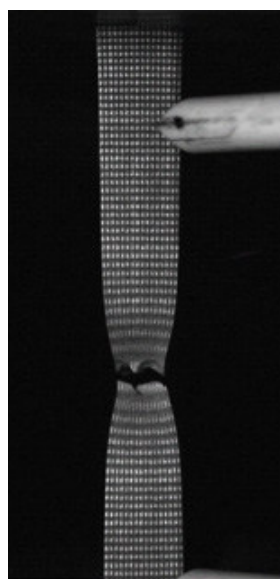
Zömítésnél az elsődleges problémát a próbatest és a szerszámok sík lapjai közti súrlódás jelenti. A súrlódás a próbatestek véglapjain az anyag mozgását gátolja, szemben a két véglap közötti résszel, ahol ilyen külső kényszer nincs. Ennek következtében alakul ki a jól ismert hordószerű alak. A hordósodás csökkentésére kenőanyagokat használnak, ezáltal a folyamat kezdetén a hordósodás gyakorlati szempontból elhanyagolható, de a mérés végére még így is jelentős marad.

3. Az alkalmazott megközelítés

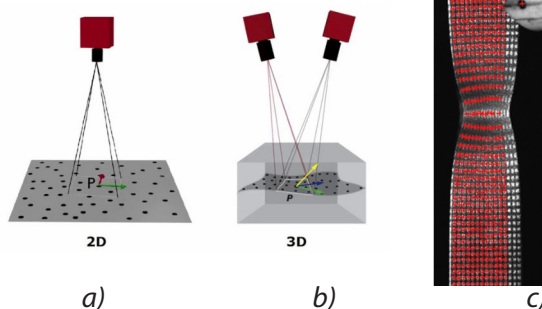
Az általunk alkalmazott megközelítésben a próbatesteket hagyományos műszerezéssel látjuk el, és optikai úton plusz információt nyerünk. Ilyen elrendezést mutatunk be a 2. ábrán.

Az optikai alapú elmozdulás-méréseket – a holografikus méréseket nem számítva – két nagy csoportra oszthatjuk:

- a darabon levő mintázat követésén alapuló eljárások (3. ábra),
- a darab pillanatnyi állapotának értékelésén alapuló eljárások (4. ábra).

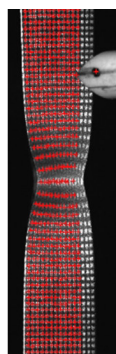


2. ábra: Extenzométerrel és optikai jelölésekkel egyaránt ellátott próbatest



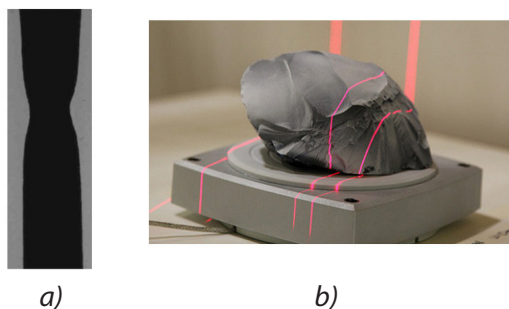
3. ábra: A darabon levő mintázat követését használó eljárások:

- a) 2D képperkorreláció szabálytalan mintázattal
b) 3D képperkorreláció szabálytalan mintázattal
c) Szabályos mintázat



A darabon levő mintázat lehet szabályos, mint a mi esetünkben, vagy szabálytalan, mint amelyet 2D és 3D képperkorrelációnál használnak. Az eljárások lényegét a 3.a, b és c ábrán mutatjuk be.

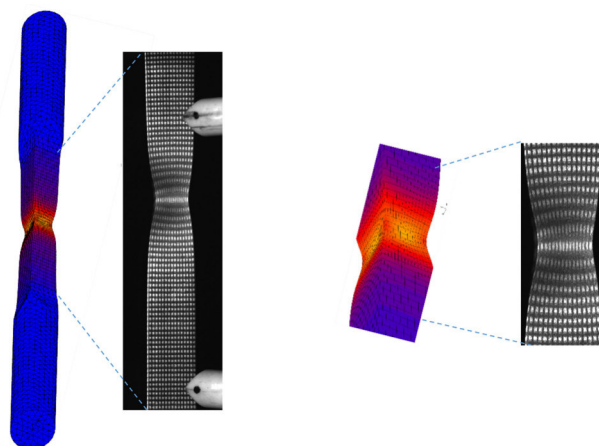
A darab pillanatnyi állapotának értékelésén alapuló eljárások esetén nem egy darab felületére felvitt mintázat alakulását követjük, hanem a pillanatnyi állapotot jellemző képeket. Egyszerű kontúrkövetésnél „csak” a darab és a háttér közötti kontúr egyértelmű és



4. ábra: A darab pillanatnyi állapotának értékelésén alapuló eljárások:
a) Szakítópróbatest kontúrjának követése
b) Lézerszkennelés

pontos szétválasztása a lényeges, 3D szkennelésnél a darabra rávetített mintázat az, aminek a képét feldolgozzuk. A darab alakjától függően, a szkennelés során a mintázat a darabon mindig máshol keletkezik. A vetített mintázatok képeiből, ismerve az elrendezés geometriai viszonyait a darab rekonstruálható. A 3D szkennelés egyik változata a lézerszkennelés.

Jelenleg szabályos négyzetrácsot használunk a 3.c ábra szerint. A véletlenszerű mintázathoz képest hátrány lehet az, hogy ezt a rácsot nehezebb elkészíteni, ugyanakkor előnyt jelenthet, hogy már a feldolgozatlan ábrán is felismerhetőek az alakváltozási mező tendenciái pl. aszimmetrikus alakváltozás, forgások stb., melyeket a 2D és/vagy 3D képkorreláció által használt matematikai apparátus miatt esetleg a feldolgozott adatokban nem észlelünk.

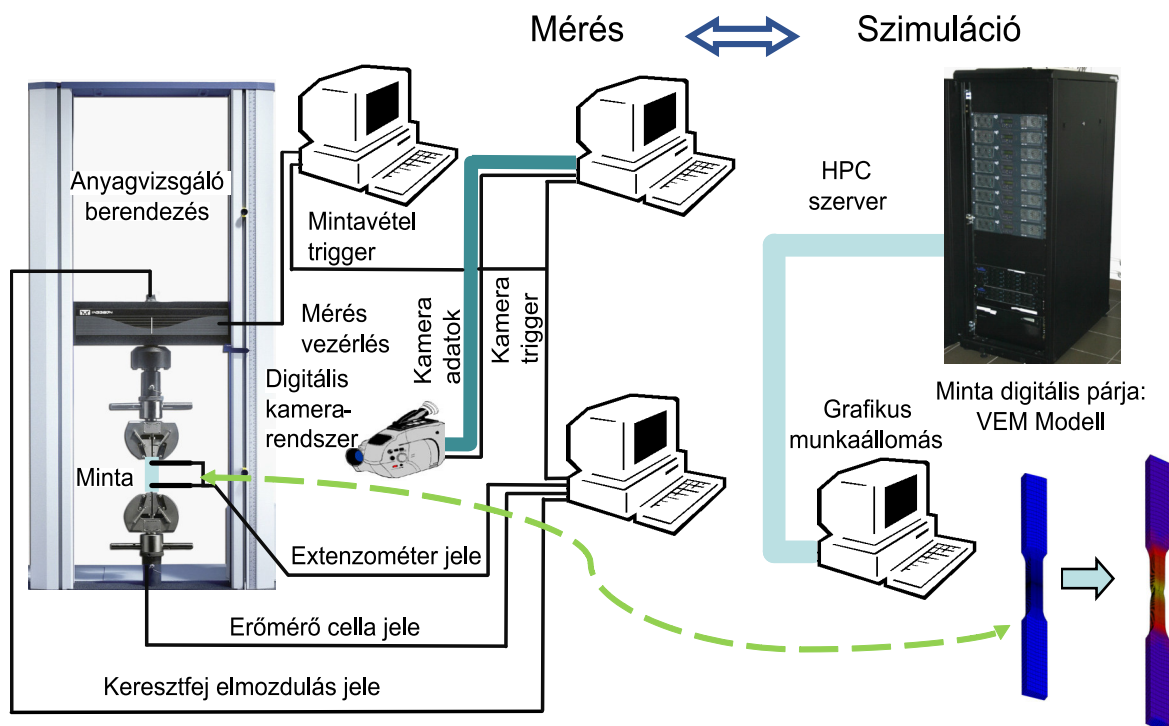


5. ábra: A próbatest és annak digitális párja

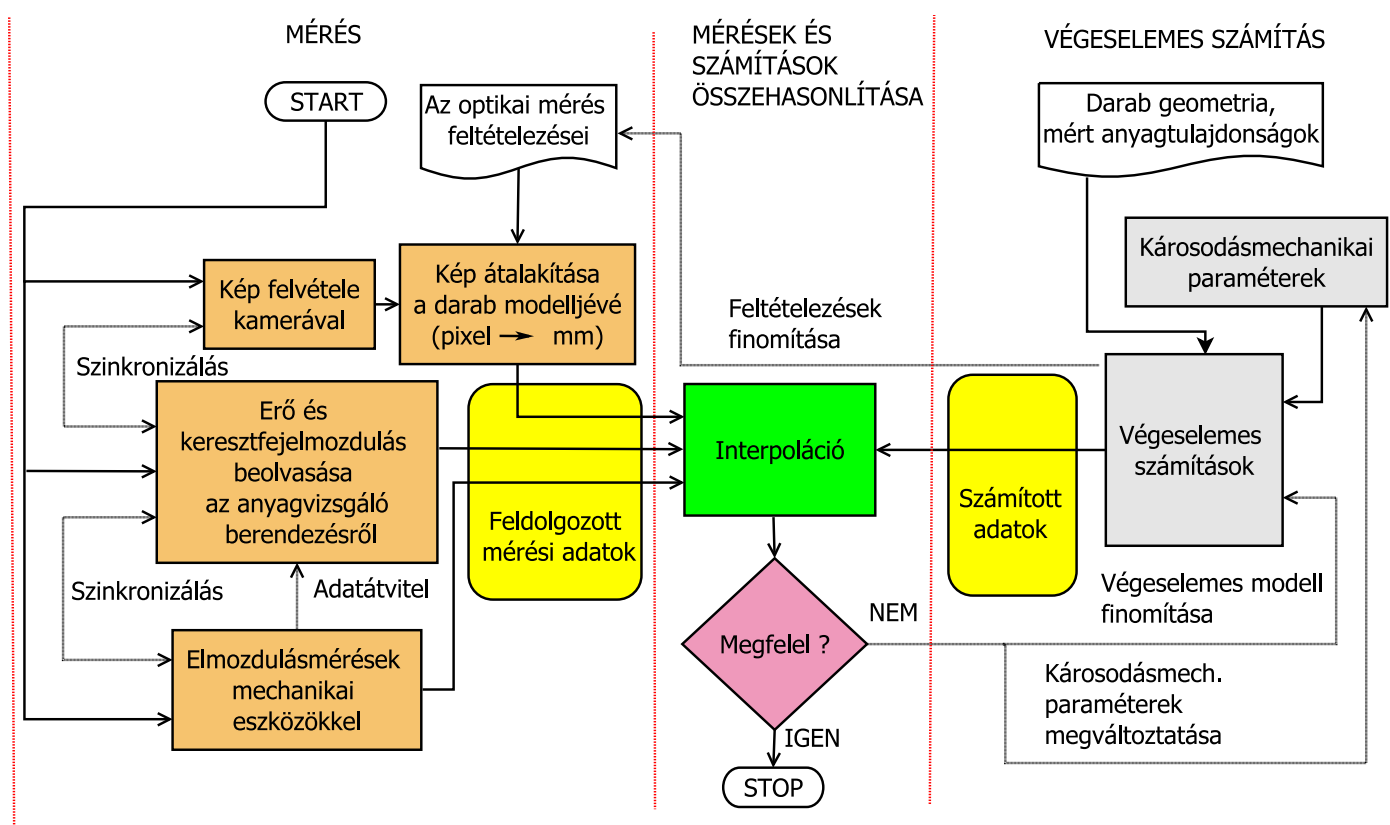
4. Szimulációk, digitális pár (digitális iker)

A folyamat jobb megértéséhez végeselemes szimulációval megalkotjuk a próbatest digitális párját (digitális ikerként is szokás emlegetni) (5. ábra).

A mérések és számítások viszonyait a 6. és 7. ábra szemlélteti. A 6. ábrán a felvételek készítését, a mérés-vezérlést, a működtetéshez szükséges szinkronizálás jeleket mutatjuk be részletesebben. Ezen az ábrán a mérések és a szimulációk közötti viszonyt csak igen elnagyoltan vázoljuk. A 7. ábrán részletesebben ismertetjük azt, hogy milyen kezdeti feltételezéseket használunk, a nyers mért adatokat hogyan alakítjuk át feldolgozott mérési adatokká, hol történik adatátvitel, milyen kezdeti és peremfeltételek szükségesek a szimulációhoz, milyen



6. ábra: A mérőrendszer vezérlése és a szimuláció



7. ábra: A mérés és szimuláció során végzett átalakítások és interpolációk

további feldolgozást igényel a végeselemes számítás eredménye és hogyan, milyen interpolációval lehet a méréseket és a számításokat egymással összehasonlítani.

A 7. ábra szerint a folyamat alapvetően három részre osztható:

1. mérések (beleértve azok kiértékelését),
2. számítások (végeselemmel),
3. mérések és számítások összehasonlítása.

Anyagvizsgálati mérések során a vizsgáló-berendezés közvetlenül szolgáltat erő és elmozdulás értékeket. A keresztfej-elmozdulás (vagy ennek analóg mennyisége, pl. szögelfordulás) minden esetben a szolgáltatott mérési eredmények közé tartozik. Opcionális mechanikai mérőeszközök a különféle extenzométerek. Ezek lehetnek olyanok, melyek gyárilag az anyagvizsgáló berendezéshez vannak illesztve, de előfordulhat az is, hogy különleges, egyedi gyártású extenzométereket használunk, melyeket utólag kell az anyagvizsgáló berendezés rendszeréhez illeszteni. Megjegyzés: Az anyagvizsgáló berendezések gyártói ezt gyakran (kihasználva a monopol-helyzetüket) szoftveresen megakadályozzák.

Optikai támogatással végzett anyagvizsgálat esetén a vizsgálat egyik fő része a felvételek elkészítése. Ez többféle módon történhet. A mérések egy

része (pl. egy szakítóvizsgálat) kifejezetten lassú, ezért a folyamathoz elegendő egyenként triggerelt képeket felvenni. Kivételt csak a vizsgálat legutolsó fázisa, a gyors törés jelent. Nagyon fontos a megfelelő szinkronizálás az anyagvizsgáló berendezés által szolgáltatott adatok, az esetenként egyedileg legyártott extenzométerekkel való mérések és a felvételek között. Előfordulhat az is, hogy más-más időpontokban kapunk adatokat a különféle eszközökről és az időbeli eltérések nem elhanyagolhatóak. Ez a mérések értelmezésében bizonyos fokú interpolációt tesz (tehet) szükségessé. Kellően sűrű mintavételezés esetén ez nem jelent problémát.

A vizsgálat fontos része a képek átalakítása a darab modelljévé. Ehhez a lépéshez bizonyos alapvető feltételezésekre van szükség. Ilyen pl. az, hogy hárompontos hajlítás, vagy lapos próbatest szakítása esetén a darab kamera felé eső felülete merőleges a kamera optikai tengelyére, hengeres próbatest esetén a próbatest tengelye és a darab optikai tengelye merőleges egymásra. További egyszerűsítő feltételezés, hogy a kamera-darab távolság állandó, a darab egyetlen pontja sem távolodik el oly mértékben a kamerától, hogy az jelentős mérési hibát okozzon. Az adatok feldolgozása után feldolgozott mérési adatokat kapunk.

A szimulációs lépésben a kezdeti geometria és az

anyagtulajdonságok ismeretében végeselemes modellt készítünk. A végeselemes modell nagy deformációkat, valódi feszültség-valódi nyúlás folyásgörbét használó rugalmas-képlékeny modell. A végeselemes modellen számításokat végzünk, majd ezeket a számításokat összehasonlítjuk a mérési eredményekkel.

Nagyon fontos, hogy a számítások és a mérések összehasonlításához interpolációra van szükség. A mérési adataink adott erőnek és keresztfejelmozdulásnak megfelelő pontokban érhetők el. A végeselemes modellből szintén különböző időpontokban, különböző erőknél, különböző szimulált keresztfejelmozdulásra, a darab különböző pontjaira kapunk eredményeket. A mérésekből és szimulációkból kapott adatok sem időben, sem keresztfejelmozdulásban, sem erőben, sem térben nem esnek egybe, ezért interpolációra van szükség ahhoz, hogy az összehasonlítás számszerűsíthető legyen. Az interpoláció során feltételezhető, hogy az erőt és a keresztfejelmozdulását sűrűbben mintavételezzük, mint amilyen sűrűn a képek rendelkezésekre állnak, illetve mint amilyen sűrűn a végeselemes számítási eredmények elérhetőek.

Az első összehasonlítások eredménye általában az, hogy a végeselemes *modell* további finomításra szorul. Ennek egyik legfontosabb része a vége-selemes *háló* finomítása. (A vége-selemes modell a hálón kívül tartalmazza az anyagtulajdonságokat, peremfeltételeket, kontaktot, valamint számos, a program futásához szükséges beállítást.) A megfelelő finomítások után elérhetjük azt, hogy a vége-selemes számítás a folyamat kezdetét jól modellezi. A folyamat végén a mérés és szimuláció közötti eltérés igen jelentőssé válik. Ez részben egyszerűen a folyásgörbe megváltoztatásával kezelhető.

5. Szakítóvizsgálat – mérés és modellezés

Szakítóvizsgálat esetén mindaddig, amíg a kontrakció nem jelentős, az egytengelyűség érvényesnek tekinthető és a feszültség minden mérési pontban egyszerű formulákkal meghatározható. A mérési adatok kisebb-nagyobb mérési zajjal terheltek. Általánosan elfogadott megközelítés, hogy a folyásgörbét analitikus formulával közelítik. Ezzel a megközelítéssel az a probléma, hogy az analitikus formulák szisztematikus hibával terheltek. Ez különösképpen akkor okoz gondot, ha valamiért extrapolációra van szükség. Másik lehetőség a folyásgörbe multilinéaris közelítése. Ez a közelítés nem hordozza az analitikus formulák szisztematikus hibáit, viszont a görbét feszültség-nyúlás párokkal kell megadni. Gyakorlati

szempontból 20-100 adatpár bőven elegendő egy jó szimulációhoz. Ennek általában sokszorosa az, amit az anyagvizsgáló berendezés szolgáltat, így a feladat az adatok redukciója szükség szerint zajcsökkentéssel együtt. Extrapolációs szempontból ez a megközelítés is problémás.

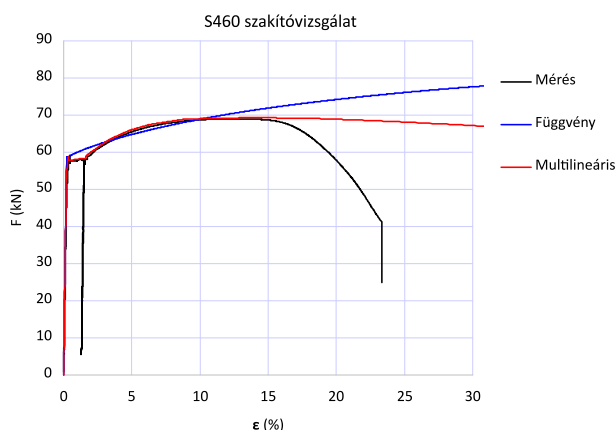
Szakítóvizsgálat esetén a mérési folyamat végén a folyásgörbe egyszerű formulákkal már nem meghatározható. Ebben az esetben jó közelítést jelenthet analitikus formulák alkalmazása (mint pl. a Bridgman korrekció [1]). Amennyiben ezeket a formulákat nem használjuk, a folyásgörbe kontrakció utáni szakaszának meghatározásához iteratív eljárás szükséges. A lehetőségeket jól összefoglalja a [2] és a [3] cikkek.

Gyakran (pl. törésmechanikai vizsgálat szimulációjához) szükség van egészen nagy nyúlásokig érvényes folyásgörbére. A vizsgálat szakadás közeli, intenzív deformáció által jellemzett részét már nem lehet egyszerűen csak a folyásgörbe változtatásával kezelni, itt már az „egyszerű” rugalmas-képlékeny modellenél bonyolultabb modelleket kell használni. Ilyenek a károsodásmechanikai modellek, melyekből többféle létezik. A legelterjedtebb a módosított Gurson modell [4], [5], melyet Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) modellnek is neveznek. A Gurson modell számos károsodásmechanikai paramétert tartalmaz. A folyamat megfelelő modellezéséhez ezeket a paramétereket a méréshez kell illeszteni. A modell alkalmazását tekintve léteznek próbálkozások és részeredmények olyan paraméterszettek, illetve modellek megalkotására, melyeknél a paraméterek a próbatestekről tetszés szerinti szerkezetekre átvihetők, de az igazi áttörés még várat magára. A károsodási paraméterek megváltoztatásával általában újra és újra le kell futtatni a vége-selemes számítást, mindaddig, míg az eredmények elfogadhatóak lesznek. A probléma egyik lényeges részét röviden a következőképpen foglalhatjuk össze:

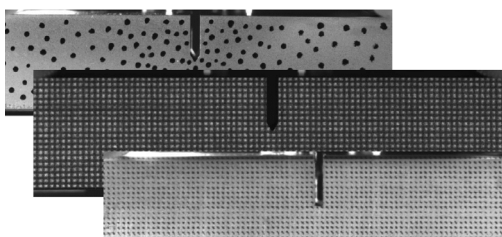
A modell kétféle anyagot feltételez:

- ideális, károsodásmentes anyagot,
- valódi, károsodott anyagot.

A modellhez az ideális, károsodásmentes anyag folyásgörbét kell megadni, a valódi, károsodást tartalmazó anyag ennél „lágyabb”. Ez a lágyulás a Gurson modell lényegéhez tartozik. A valóságban viszont csak a valós anyagon tudunk méréseket végezni. Ez azt jelenti, hogy többféle károsodási paraméterszett – folyásgörbe együttese létezik, mely egy adott próbatestre, egy adott hálóra, egy adott vizsgálatra makroszkopikusan ugyanolyan, vagy nagyon hasonló erő-elmozdulást ad.



8. ábra: Mért erő-nyúlás diagram és különböző folyásgörbékkel számolt eredmények



9. ábra: Rácsozási próbák

A folyásgörbe végének meghatározásához lehetőség van nemcsak szakítást, hanem zömítést is alkalmazni. Ebben az esetben a hordósodás jelenti az egyszerű formulák alkalmazhatóságának végét. Problémát jelenthet továbbá a kétféle módszerrel meghatározott görbék összeillesztése.

A 8. ábrán egytengelyű szakítóvizsgálat modellezését mutatjuk be annak érdekében, hogy kihangsúlyozzuk a megfelelő folyásgörbe használatának fontosságát.

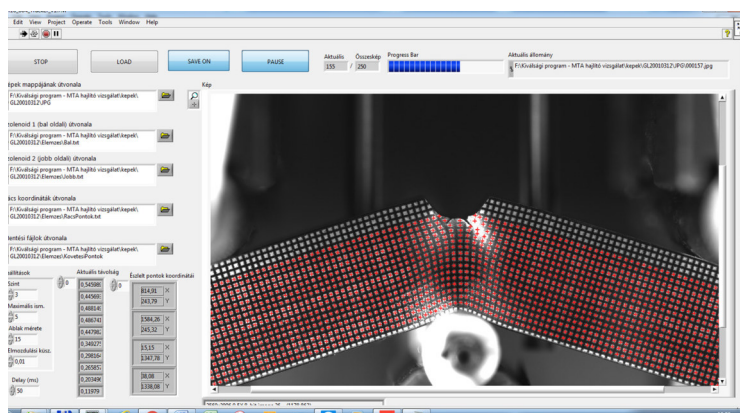
A 8. ábrán látható, hogy ha a mért folyásgörbét jobban közelítő multilineáris görbét használunk, a próbatest valós viselkedését a folyamat elején sokkal jobban lehet szimulálni, mint amikor a teljes folyásgörbét végig egy analitikus görbével közelítjük, ugyanakkor a multilineáris görbét használó számítás eredménye sem közelíti megfelelően a folyamat végét. Az itt elvégzett számítások rugalmas-képlékeny, károsodás nélküli modellt használnak. A görbe végét károsodásmechanikai modellel jobban lehet majd a méréshez illeszteni. Tekintettel arra, hogy a károsodásmechanikai modellek sokkal több erőforrást igényelnek, mint az „egyszerű” rugalmas képlékeny modell, a fejlesztést más irányban folytatjuk és a szakítás modellezéséhez károsodásmechanikai modellt (egyelőre) nem alkalmazunk.

6. Hárompontos hajlítás – mérés és modellezés

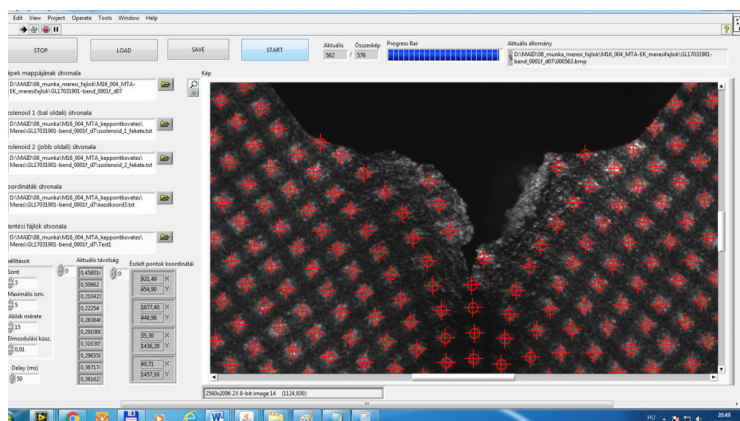
A hárompontos hajlítás optikai vizsgálatához számos rácsozási próbát végeztünk. Rácsozási próbák láthatóak a 9. ábrán.

A vizsgálat során a keresztfej-elmozdulás és az erő mérésén túlmenően, az optikai elmozdulásmérésen kívül, mechanikai extenzométereket is használtunk. A Dunaújvárosi Egyetemen kifejlesztették a pontok követését lehetővé tevő programot. Ez látható működés közben a 10. és 11. ábrán.

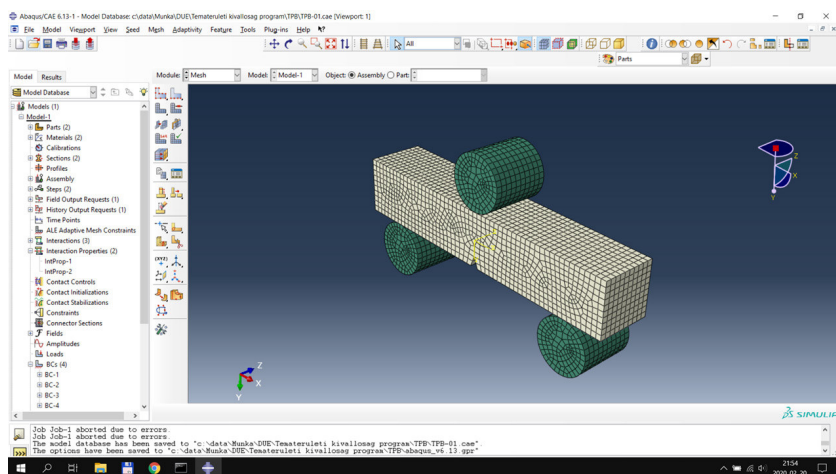
A Dunaújvárosi Egyetem és az Energiatudományi Kutatóközpont munkatársai egymástól függetlenül elkészítették a hárompontos hajlítás modelljét. A modellezéshez más-más végesesemes programot használtunk. A modell képe a Dunaújvárosi Egyetem változatában a 12. ábrán látható. A kétféle modell általában egymáshoz jól illeszkedő eredményt ad és mindkét modell viszonylag jól követi a hárompontos hajlításra az erő-extenzométer jeleket a görbe elején. A tönkremenetel előrehaladtával, a repedés megjelenésével a kétféle végesesemes modell továbbra is egymáshoz hasonló eredményeket ad, ugyanakkor mindkét modell eredménye igen jelentős mértékben eltér a mért értékektől.



10. ábra: A Dunaújvárosi Egyetemen kifejlesztett rácspont-követési rendszer



11. ábra: Repedés kialakulása V bemetszésből



12. ábra: A Dunaújvárosi Egyetem modellje

Mivel a mérés-szimuláció-összehasonlítás hármasa esetén a módszer fejlesztése az egyik legfontosabb tevékenység, károsodásmechanikai modellek alkalmazására még nem tértünk át, tekintve, hogy a károsodásmechanikai modellek idő- és erőforrás-igénye sokszorosa az „egyszerű” rugalmas-képlékeny-kontakt feladatának.

7. Keménységmérés és szimulációja

A hajlítás okozta változások nyomon követésére a Dunaújvárosi Egyetemen a hárompontos hajlító próbatest hajlított zónájában Vickers keménységmérést (HV1) végeztek. A keménység-térkép a 13. ábrán látható. A mért keménységek kb. 180-300 HV1 közé estek.

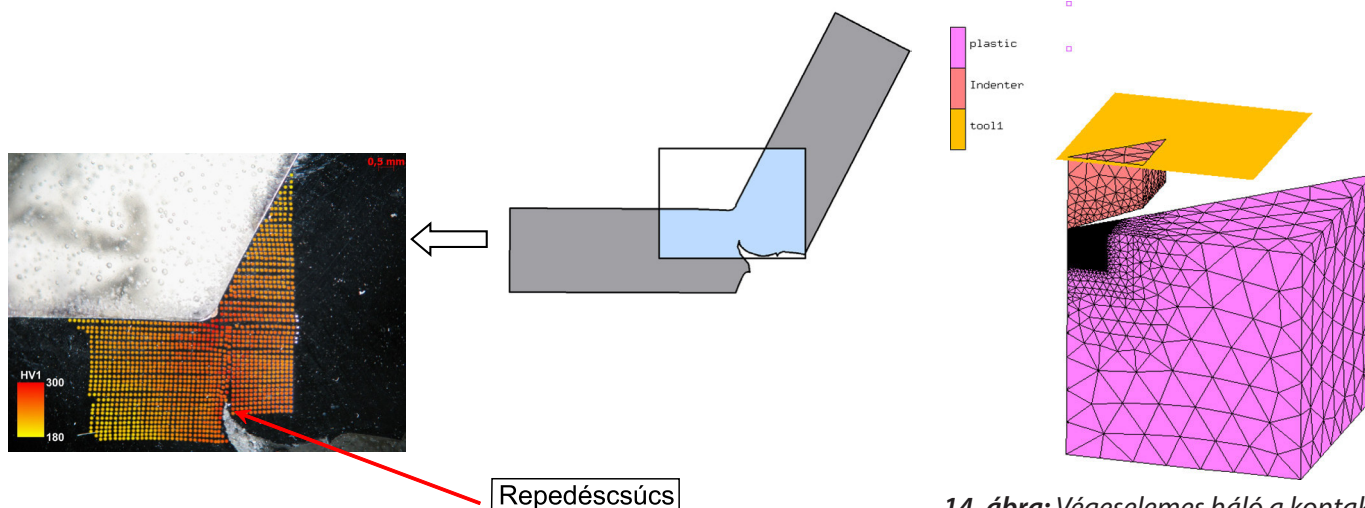
Tekintve, hogy maga a keménységmérés lokálisan képlékeny alakváltozást jelent, elvileg homogén, izotróp anyag esetén összefüggést lehet találni a darab különféleképpen felkeményedett részein mért keménység és a felkeményedett állapotban

érvényes folyásgörbe között.

Ennek érdekében rugalmas-képlékeny, nagy deformációs, kontaktot tartalmazó végeselemes modellt készítettünk. A végeselemes hálót több lépésben kellett finomítani, ahhoz, hogy a lenyomatot a hálóról kellő pontossággal le lehessen olvasni. Kihasználva a szimmetriákat, 1/8-ad modellt hoztunk létre. A végeselemes háló a kontakt testekkel a 14. ábrán látható. Peremfeltételként a Vickers keménységmérés elve szerint 1 kgf erőt adtunk rá a megfelelő, a „tool1” névre hallgató szerszámhoz rendelt csomópontra. A végeselemes rendszer a számítás során az

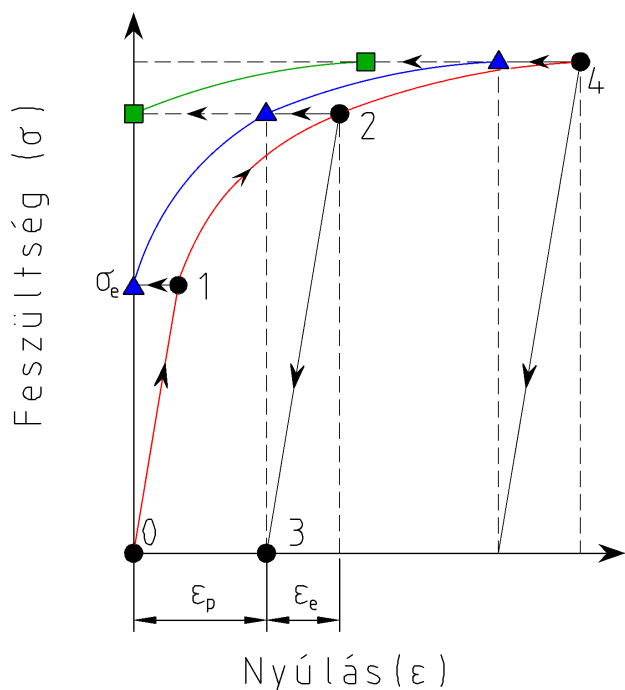
erőt átadta magára a szerszáma.

Az előzőleg meghatározott folyásgörbét felhasználva mesterségesen létrehoztuk a különféle mértékben felkeményedett anyagnak megfelelő folyásgörbéket. Idealizált felkeményedést használtunk a 15. ábra szerint. Az eredeti, nem felkeményedett anyag folyásgörbéje a 0-1-2-4 (piros) görbe. Tekintve, hogy a szimulációkhoz használt MARC-Mentat rendszer nem a teljes, hanem a képlékeny folyásgörbét használja, a végeselemes program inputjaként a kék háromszögekkel megadott folyásgörbét használjuk. Amennyiben az 1-2 görbe mentén előzetes képlékeny alakítást végzünk, ismételt felterhelés során a folyásgörbe a 3-2-nek megfelelő rugalmas szakasszal és a 2-4-gyel jelzett képlékeny keményedéssel jellemezhető. Ezt a felkeményedési állapotot a Marc-Mentat programban a zöld négyzetekkel jellemezhető folyásgörbével lehet szimulálni. Látható, hogy a különféle mértékben felkeményedett anyagok folyásgörbéi – ebben

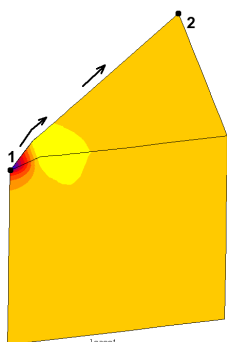


13. ábra: A keménység térképe hárompontos hajlítás esetén

14. ábra: Végeselemes háló a kontakt testekkel



15. ábra: Az anyag felkeményedése



16. ábra: A Vickers keménységmérés során felhasznált útvonal

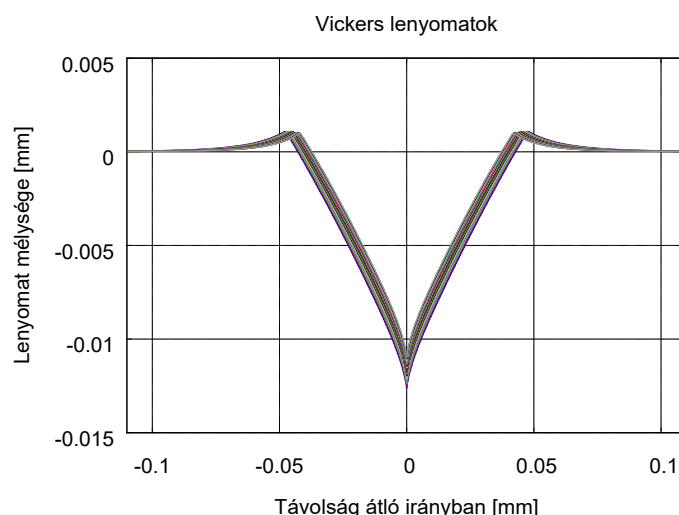
az idealizált esetben – a képlékeny folyásgörbe (kék háromszögekkel jelölt) egyszerű eltolásával generálhatóak. Nagymértékű felkeményedés esetén ezzel az eljárással a képlékeny anyagviselkedés a rugalmas viselkedés gyakorlatilag átmenet nélküli folytatása. A valós felkeményedés eltér az idealizált esetektől.

8. A Vickers keménységmérés szimulációjának eredményei

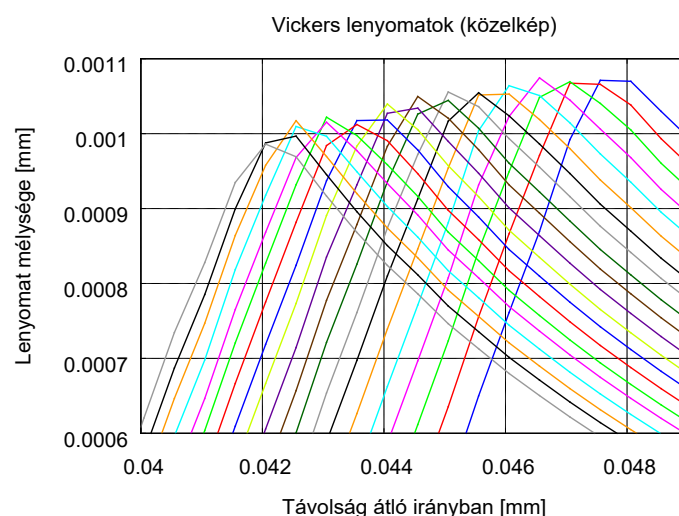
A végelelemes számítás eredményeinek postprocesszálása során meghatároztuk a szerszám által hagyott fél lenyomatot a 16. ábra 1-2 útvonalának megfelelően. Noha nagyon finom elemeket használtunk, a lenyomat pontossága mégis hagyott kívánnivalót maga után, így az egyes modellezett lenyomatokra spline-t illesztettünk, és a lenyomat szélének a spline legmagasabb pontját tekintettük.

A 17. és 18. ábra a Vickers keménységmérés modellezett lenyomatait mutatja be. A fél lenyomatot a 17. ábrán a szimmetria kedvéért egésze egészítettük ki. Az ábrákat a jobb láthatóság érdekében a lenyomat magasságának irányában megnyújtottuk. Az eredmények nem voltak meggyőzőek, így a keménységmérés modellje további átalakításokra, kiegészítésekre szorul. Lehetséges okok:

- a végelelemes háló még mindig nem kellően finom (jellemző hálóméret az aktív zónában: 0.005 mm),
- a szerszám és a darab közti súrlódást nem vettük figyelembe,
- a számítások eredményeként kapott nyúlások és feszültségek jócskán meghaladják mind a szakító, mind a zömítővizsgálatokkal meghatározott értékeket.



17. ábra: Modellezett Vickers lenyomatok



18. ábra: Közelkép a modellezett Vickers lenyomat széléről

9. Összefoglalás

A Dunaújvárosi Egyetem és az Energiatudományi Kutatóközpont közös munkájával optikai mérésekkel támogatott anyagvizsgálati eljárást fejlesztünk. A cikkben bemutattuk, hogy melyek a mérések hagyományos kiértékelésének problémái, milyen bizonytalanságok lépnek fel a folyásgörbe meghatározásánál abban az esetben, ha elhagyjuk azt a tartományt, melyen belül a szakítás, vagy a zömítés egytengelyűnek tekinthető. Vázoltuk, hogy a többtengelyű állapotban milyen módon lehet szakítógörbét meghatározni. Kiemeltük, hogy a törést közvetlenül megelőző szakaszon a folyásgörbe meghatározásának bizonytalansága tovább nő, tekintettel arra, hogy itt már az anyag viselkedésének megfelelő leírására károsodásmechanikai modellekre van szükség; a károsodásmechanikai modellek kétféle anyagot használnak, a károsodott és az idealizált, nem károsodott anyagot. Méréseket viszont csak a valódi, károsodott anyagon tudunk végezni.

Az optikai mérésekkel támogatott vizsgálatok esetén a darabhoz rögzített mérési pontok elmozdulását tudjuk követni, kiegészítve az erő, keresztfej-elmozdulás és extenzométer adatait. Ettől azt várjuk, hogy az anyag erőteljesebben károsodott, tönkremenetel-közeleli állapotáról több információt nyerünk, miáltal pontosabb összehasonlításra lesz lehetőségünk a mérések és modell-eredmények között.

A pontosabb összehasonlításhoz elengedhetetlen egy megfelelő interpolációs rutin (modul) létrehozása, tekintettel arra, hogy a mérések és számítások a próbatest más pontján, más időpontban, más erőnél, más keresztfej-elmozdulásnál szolgáltatnak adatokat.

A Dunaújvárosi Egyetemen hárompontos hajlítóvizsgálatokat végeztünk, melyeket végelelemes modellekkel szimuláltunk. Az egyik meghajlított próbatesten HV1 Vickers keménységméréseket végeztünk, az eredményt keménység-térképként ábrázoltunk. A keménységmérés folyamatát mesterségesen előállított folyásgörbékkel szimuláltuk. A mesterségesen előállított folyásgörbék nem

bizonyultak megfelelőnek, ugyanakkor a munka folytatására szükség van, mert keménységméréssel elvileg olyan nagy alakváltozásokra is kapunk adatokat, melyekre sem a szakítás, sem a zömítés nem ad mérési pontot. Hárompontos hajlításnál a repedés körül igen nagy nyúlások lépnek fel, jelenleg ezt csak a szakító- és zömítővizsgálatból extrapolált anyaggörbékkel tudjuk modellezni. Megvizsgáljuk annak lehetőségét, hogy milyen kiegészítő információkat nyerünk akkor, ha műszerezett keménységmérést használunk a hagyományos keménységmérés helyett. Egytengelyű meghúzással (még a kontrakció előtt leállva a szakítóvizsgálattal) vizsgálni lehet a keménység-nyúlás viszonyait a mesterségesen létrehozott folyásgörbék nélkül is.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás támogatását az Innovációs és Technológiai Minisztérium által támogatott Térmaterületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1.-TKP2020) biztosítja. Résztvevők: Dunaújvárosi Egyetem és Energiatudományi Kutatóközpont

Irodalomjegyzék

- [1] Bridgman, P. W.: Studies in Large Plastic Flow and Fracture, Vol. 177. McGraw-Hill, New York (1952)
- [2] Tu, S., Ren, X., He, J., Zhang, Z.: Stress-strain curves of metallic materials and post-necking strain hardening characterization: A review, Fatigue Fract Eng Mater Struct. 43 (2020) 3–19.
<https://doi.org/10.1111/ffe.13134>
- [3] Ling, Y.: Uniaxial true stress-strain after necking. AMP Journal of technology, 5(1), (1996) 37–48.
- [4] Gurson, A. L.: Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth: Path I-Yield Function and Flow Rules for Porous Ductile Media. ASME Transaction, J. Eng. Mat. Tech. 99 (1977) 2–17.
<https://www.osti.gov/servlets/purl/7351470>
- [5] Tvergaard, V., Needleman, A.: Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar, Acta Metallurgica 32(1) January 1984, 157–169,
[https://doi.org/10.1016/0001-6160\(84\)90213-X](https://doi.org/10.1016/0001-6160(84)90213-X),
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000161608490213X>

Atomerőművi fűtőelem burkolat csövek felfúvódásának és felhasadásának optikai vizsgálata üzemzavari körülmények között

Nagy Richárd^{a1, a2}, Király Márton^b, Szepesi Tamás^c

^{a1}Energiatudományi Kutatóközpont, tudományos segédmunkatárs, nagy.richard@ek-cer.hu

^{a2}Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, PhD hallgató

^bEnergiatudományi Kutatóközpont, tudományos munkatárs, kiraly.marton@ek-cer.hu

^cEnergiatudományi Kutatóközpont, tudományos munkatárs, szepesi.tamas@ek-cer.hu

Absztrakt

Az atomerőművi fűtőelem burkolatnak el kell viselnie a hűtőközegvesztéses balesetek (LOCA) során kialakuló állapotokat. Amikor a vízdoldali nyomás megszűnik, a felmelegedő fűtőelem burkolat felfúvódik, felhasad. A hűtőközegvesztéses baleseti események kísérleti modellezésére kifejlesztettünk egy új kísérleti berendezést, amelynek oldalára kamera szerelhető. Ebben a kiadványban a videokamerás (optikai) mérés eredményeit mutatjuk be.

Abstract

Nuclear fuel must remain intact during the loss-of-coolant-accident (LOCA) scenario. In the case of LOCA, ballooning and cracking may occur. A new experimental equipment was built with optical instrument to reveal ballooning and burst phenomena.

Kulcsszavak

fűtőelem-burkolat, felfúvódás, felhasadás, videómérés, hűtőközegvesztéses baleset

Keywords

fuel cladding, ballooning, burst, videomeasurement, loss-of-coolant-accident

1. Bevezetés

Az orosz típusú nyomottvízes atomerőművekben használatos, az üzemanyag tablettákat tartalmazó fűtőelem burkolatok cirkónium ötvözetből készülnek. A VVER típusú reaktorokban ma az E110 és az újonnan fejlesztett E110G jelű burkolatanyagokat használják, amely 1% nióbiiumot tartalmazó cirkónium ötvözetek. Ezek a vékonyfalú csövek elegendően erősek és megfelelően rugalmasak, a cirkónium neutronbefogása pedig igen csekély. A burkolat további feladata, hogy megakadályozza a sugárzó anyagoknak a fűtőelemből való kikerülését.

Különösen fontos, hogy a burkolat magasabb hőmérsékleten, a csökkenő folyáshatár ellenére is ellássa feladatát, és erősen oxidáló közegben is megmaradjon az integritása. A fűtőelem burkolatnak el kell viselnie az úgynevezett hűtőközegvesztéses balesetek (LOCA – loss of coolant accident) során kialakuló termomechanikai állapotokat. Normál üzem során a primer körüli hűtővíz nagy átmérőjű csöveken a gőzfejlesztőbe szállítja az aktív zónában keletkezett hőenergiát, ám egy csőtörés során a magas nyomású és hőmérsékletű (123 bar és 300°C) hűtővíz elforr és a fűtőelem burkolatok szárazra kerülhetnek. Amikor a reaktorvédelmi rudak beesnek az aktív zónába, akkor a láncreakció azonnal leáll, azonban a maradványhő ennek ellenére jelentős marad, a hűtés nélkül maradt fűtőelem burkolat külső felszíni hőmérséklete pedig elérheti a 800-1000°C-ot. LOCA esetén a vízdoldali nyomás megszűnik, a felmelegedő fűtőelem burkolat belső nyomása pedig jelentőssé válik. A kialakult nyomáskülönbség hatására a burkolat maradandó alakváltozást szenved, felfúvódik, a cső fala elvékonyodik, ezzel a cső terhelhetősége jelentősen csökken, ami a cső falának további deformációját, majd a felület megrepedését, azaz felhasadását eredményezi. Mindeközben a hűtővízből keletkezett gőz oxidálja a burkolat külső falát, a cirkónium-vízgőz reakciókban keletkezett hidrogén pedig a cirkóniumban oldódik. A cirkónium ezáltal elridegedik, elveszíti rugalmasságát. A hűtőközegvesztéses üzemzavar végén hideg vízzel árasztják el a hűtendő fűtőelemeket, amely során a hősokk hatására a fűtőelem burkolata további sérülést szenvedhet [1-12].

Az Energiatudományi Kutatóközpont Fűtőelemek és Reaktoranyagok Laboratóriumában a hűtőközegvesztéses baleseti események kísérleti modellezésére kifejlesztettünk egy új kísérleti berendezést, amely a következő elven működik: egy elektromos kemencében állandó, magas hőmérsékleten tartott fűtőelem burkolat mintába egyenletes ütemben argon gázt adagolunk, amíg az fel nem hasad, miközben folyamatosan mérjük a gáznyomást.

A mérés során meg tudtuk határozni a különböző állapotú minták felfúvódásához szükséges nyomást 700-1000°C közötti hőmérsékleten, 0,01-6 bar/s nyomásnövekedési ráta mellett. A felfúvódott minták felfúvódás közbeni viselkedésének tanulmányozása érdekében egy olyan kemencét terveztünk, amelynek oldalára kémlelőnyílás szerelhető. A kémlelőnyílásba olyan optikai leképezőrendszert terveztünk és építettünk, amely a kemence üzemi hőmérsékletén képes jó minőségű képet szolgáltatni a fűtőelem burkolat felfúvódásnak kinetikájáról, azaz meg tudtuk határozni az átmérőváltozás ütemét.

A XII. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás (RAKK) és 10. Anyagvizsgálat a Gyakorlatban (AGY) Konferencián bemutatott előadásban ezt a kísérleti berendezést, a mintaelőkészítést és a kapott mérési eredményeket mutattuk be.

2. A kísérleti berendezés leírása

2.1 A kemence és a nyomásnövelő rendszer

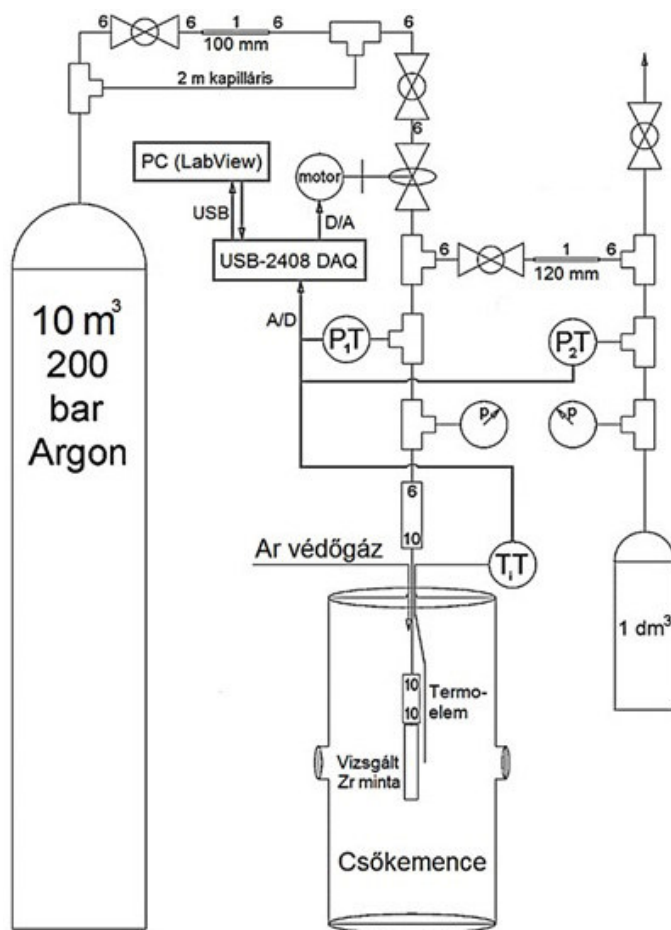
A minták állandó magas hőmérsékletét egy egyedileg gyártott, háromzónás, függőlegesen szerelt csőkemencével biztosítottuk. A kemence retortája 104 mm belső átmérőjű, 500 mm hosszúságú, rozsdamentes, hőálló acélból készült. A mintát a felső kemencefedélen kialakított csőcsomkon át lógattuk be a kemence terébe. A minta felszínéhez közel elhelyezkedő, K-típusú termoelem segítségével mértük a minta hőmérsékletét, és ezzel szabályoztuk a kemence fűtését is. A kemence belső terét nagy tisztaságú argonnal töltöttük meg, hogy megakadályozzuk a minták és a kemence alkatrészeinek magas hőmérsékletű oxidációját. A mérés előtt elvégeztük a kemence hőprofiljának mérését. A mérés előtt megvártuk, amíg a kemence felmelegszik a célhőmérsékletre. A mérések szerint a kemence képes volt egy 350 mm-es középső tartományban 3°C-on belül egyenletes eloszlású, és időben állandó hőmérsékletet tartani.

A mintákat E110 és E110G jelű erőművi fűtőelem burkolat csövekből készítettük. A csövek külső átmérője 9,1 mm, a burkolatok falvastagsága 0,67 mm volt. A két anyag 1% nióbbiummal ötvöztet cirkónium volt, amelyben kis különbség mutatkozott az ötvözetben mérhető nyomelemek összetételében (az E110G-ben tízszer több a vas és tízedannyi a hafnium, mint az E110-ben). A két ötvözet között a balesetállósági jellemzőkben tapasztaljuk a legnagyobb különbséget: az E110G ötvözet magas

hőmérsékletű oxidációs tulajdonságai kedvezőbbek az E110 ötvözeténél.

Az esztergával levágott minták hossza 85 mm volt, az egyik végükre cirkóniumból készített dugót, a másik végükre pedig 10 mm hosszú acél perselyt hegesztettünk, majd erre, a hidraulikában használatos, roppantógyűrűs acél csatlakozó szerelvényt erősítettünk. A roppantógyűrűs csatlakozó szerelvényhez 10 mm átmérőjű impulzuscsövet csatlakoztunk. A kemencén belül ezen az impulzuscsövön át adagoltuk az argon gázt a mintába (1. ábra). A minták cseréjét egy nyomásálló gyorscsatlakozó egyszerűsítette, ami kemencén kívüli szerelést tett lehetővé, így a felhasadt és a mérésre előkészített minták cseréje egy mozdulattal lehetséges volt.

A nagynyomású argon gázt a 200 bar nyomású argon gázpalackból impulzus csöveken vezettük a minta belsejébe. Az argon palackból kivezetett impulzuscső két, egymástól függetlenül kicsatolható ágon haladhatott: az egyik ágat egy 0,7 mm belső



1. ábra: A felfúvódás mérés nyomásrendszerének vázlata. (PT a nyomástávadó, TT a termoelem jele, D/A és A/D a digitális-analóg és analóg-digitális konvertálás, a LabView a PC vezérlőegységen futó szabályozó és adatrögzítő program, a számok pedig a használt acélcsövek külső átmérőjét és a kapillárisok hosszát jelzik.)

átmérőjű, 100 mm hosszúságú acélcsővel szereltük, a másikat pedig 2000 mm hosszú, 0,23 mm belső átmérőjű kapillárisal töltöttük meg. A két cső közbeiktatásával a különböző nagyságú nyomásnövekedéseket hasonló pontossággal tudtunk létrehozni a mintában. A kisebb kapilláris oldali argon bevezetést 0,01-0,1 bar/s mintában mért nyomásnövekedés esetén használtuk, míg a nagyobb kapillárisal el tudtunk érni 0,1-6 bar/s nyomásnövekedést.

A kísérlet végrehajtása során a nyomás növekedésének időben lineárisnak kellett maradnia. Az ettől való eltérést vagy a csatolóelemek pontatlan tömítettsége, vagy a minta térfogatváltozása okozza. Sikerült megtervezni és megépíteni egy olyan nyomásszabályozót, amely mindkét hibára egyszerre képes korrekciót végezni, és amely a korrekciót dinamikus is stabil módon végzi. A mintába vezetett argon gázt léptetőmotorral működtetett tűszelepen keresztül juttattuk a mintákba. A tűszelep nyitásával és zárásával az argont képesek voltunk a megfelelő ütemben adagolni.

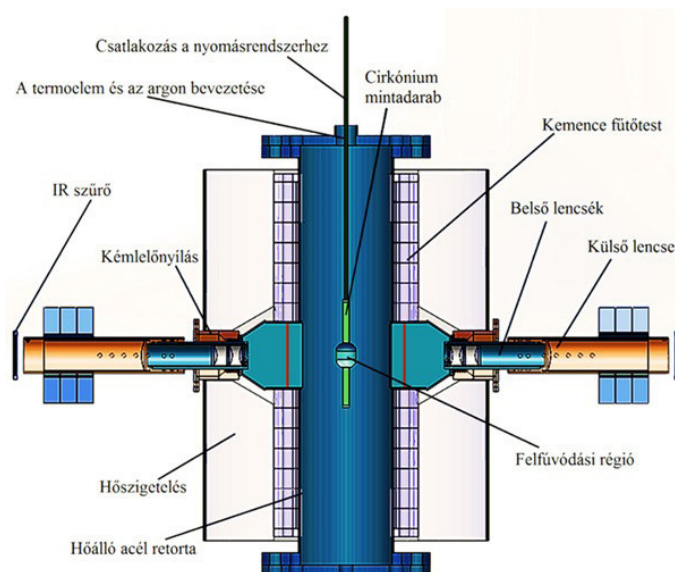
A minta előtti csőszakasz közepén, egy 24 V egyenfeszültséggel működő, Suco HP1000 típusú, 200 bar mérőhatárral rendelkező induktív nyomástávadót szereltünk be. A nyomástávadót WEHO MS-50-24 típusú, kapcsolóüzemű egyenfeszültség-generátorra kötöttük. A nyomástávadó kimenetén megjelenő 4-20 mA jelet 0-5 V feszültségre konvertáltuk egy mérőellenállás segítségével. Ezt az analóg feszültség jelet Measurement Computing USB-2408 típusú vezérlővel 24 bites digitális jelekké alakítottuk át, és a mérőszámítógép által generált időadatokhoz rendeltük a mérési adatokat. A tápfeszültség állandóságát megmértük, és megállapítottuk, hogy 99,9%-os pontossággal tartotta a szükséges feszültséget, amellyel feltételezhettük, hogy a mérőberendezés egésze ennél pontosabb mérésre nem alkalmas, azonban ez a mérési pontosság a céljainknak megfelelő volt. A nyomástávadó kalibrációja során a nyomásrendszert 10 bar-onként állandó nyomásértéken tartottuk. A nyomástávadó jelét a nyomásegyensúly beállása után rögzítettük és egy gyárilag kalibrált, mechanikus bourdon-csőves manométer által megmért nyomásértékhez rendeltük. A nyomástávadó karakterisztikájából tudható, hogy annak válaszele 4-20 mA tartományban lineáris, így a kalibrációs görbére egyenest illesztettünk. A továbbiakban ezzel a kalibrált értékkel számoltunk [13].

A nyomástávadóból származó nyomásadatot National Instruments LabView© 2014 felületen fejlesztett, egyedi VI (virtual instrument) segítségével

dolgoztuk fel. A nyomástávadó feszültségjelét kalibrálás után a program segítségével átszámoltuk nyomásra, majd a bejövő adatokból időbeli differenciálhányadost számolva a szabályozó rendszer megállapította, hogy a beállított nyomásnövekedési rátához képest mennyit változott az aktuális adat. A 0,1%-nál nagyobb elérések esetén a léptetőmotorral nyitottunk (vagy zártunk) a szelepen. Végeredményben olyan szabályozót kaptunk, amely másodpercenként többször tudta korrigálni a mintába áramló argon mennyiségét. A VI a léptetőmotort 520 lépés/fordulat felbontású üzemmódban vezérelte. Ezt a módot az egyedi tekercsre kapcsolt vezérlőárammal valósítottuk meg. A léptetőmotor mozgására a vezérlő áramkörben egyenáramú teljesítményerősítőt alkalmaztunk.

2.2 Az optikai megfigyelőrendszer

A mintát a kemencében a hőmérséklet egyenletes tartományának közepébe igyekeztünk pozícionálni. A kemence hengerszimmetriáját alapul véve a minta helyét a középvonalban határoztuk meg. A kemence oldalában egymással szemben kémlelőnyílásokat alakítottunk ki. A hőálló acélból készült optikai befogadócsonkok hőhidat képeztek a kemence szigetelőtestén keresztül. Az akár 300°C-kal is hűvösebb csonkok külső peremei és a behelyezett optika elemei a velük szemben elhelyezkedő optikának elegendően nagy kontúrral eltérő, sötét háttérrel biztosítottak, így a 800-1000°C-os minták képe éles kontúrvonallal határolódott el a háttérképétől (2. ábra).



2. ábra: A méréshez használt csőkemence keresztmetszeti rajza a távcsövekkel és a mintadarabbal

A lencserendszer tárgylencséje a mintától 10-15 mm-re helyezkedett el a kemencetest belsejében, amely így a kamerakon 50 mm hosszú mintaszakaszról alkotott éles, torzításmentes képet. A kép közepén az optika asztigmatizmusa nem számottevő, azonban a képek szélein már szemmel is látható torzításokat mutat. Az optikai pontosságot 3 mm rácsoztású, 1 mm drótvastagságú hőálló acél referencia test mérésével határoztuk meg. A burkolat minták mérése során a kiindulási méret pixelskálalapontját az ismert 9,1 mm külső átmérőhöz illesztettük.

Az optikai elemeket a pozíciójukból adódóan hőterhelésnek tettük ki, amelyre az optikát méretezni kellett. A lencsék anyagát úgy választottuk meg, hogy törésmutatójuk 1000°C hőmérséklet-különbségre sem változzon meg annyira, hogy a lencsékben kialakult nem-egykristály zárványok határfelületén képhiba alakulhasson ki. Így Suprasil-1 egykristály lencséből készítettük a lencserendszer optikai elemeit. Az objektív egy 45°-os látómezejű, három síkdomború lencsetagú, képhibára korrigált kondenzor lencserendszer, amelynek eredő fókuszához illesztettünk egy kameralencsét. A kicsatoló lencserendszer optikáját vékonylencsékkel nem lehetett előállítani, mert a mintához közel eső lencsékben 10°C/mm hőmérsékleti gradiens alakult ki mérés közben, amely a vékony lencsék repedéséhez vezethetett volna. A vastag lencsék geometriáját mátrix optikával számoltuk ki, majd két dimenziós, SythRays numerikus modellel ellenőriztük a számolás helyességét. A kemence retortájában kialakított fűtőszálak között a legnagyobb lehetséges kémlelőnyílás 32 mm átmérőjű lehetett, ebből az optikai kicsatolóelem tubusa is elfoglal néhány mm helyet, így a tárgylencse 27 mm átmérőjűnek adódott. A tárgytávolság és a Suprasil-1 üveganyag törésmutatója alapján a sík-domború lencsék 40 mm görbületi sugarú paraboloid lencsék lettek.

Az ilyen geometria 6,6 mm vastag, 22 mm görbületi sugarú lencsét adott, amelyekből hármat 20 mm távolságban helyeztünk el, egymás mögé a fényútban. A lencsét 27 mm külső átmérőjű, 1 mm vastag kvarccső darabokkal támasztottuk egymásnak. A kvarccső-lencse sorozat tagjait felütköztettük a külső optikai tubus falában kialakított tartónak, és rögzítettük egy belső távtartóval (3. ábra). A távtartót a lencsék és a rozsdamentes tubus hőtágulása után tudtuk a végleges helyén

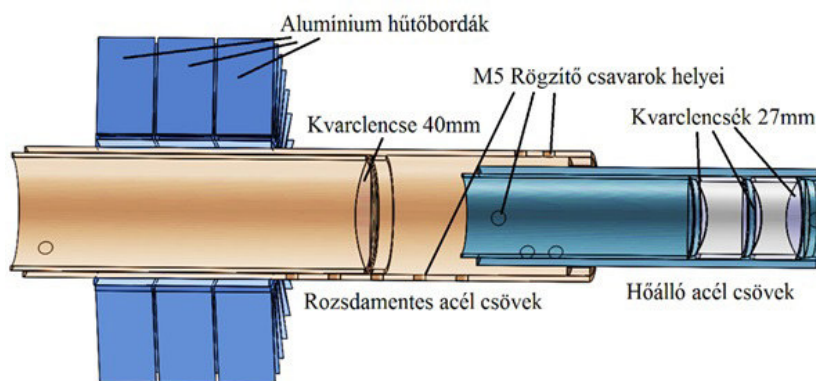
rögzíteni, biztosítva ezzel a lencsék végső pozicionálását. A bontható, kettős falú tubus lehetővé tette a kemence falában a lencsék szabad hőmozgását az acél tubusban, így hőfeszültség okozta repedést az üvegben nem tapasztaltunk.

Az optika kilépő pupillája egy 40 mm átmérőjű, kétszeres fókusz távolságú kvarc lencse volt. Ezt a lencsét hasonló, kettős falú rozsdamentes acél tubusban rögzítettük. Az optika tubusára hűtőbordákat szereltünk. Az objektív és a kameralencse egymáshoz képest mozgatható, így az optika akár üzemi hőmérsékletű kemence esetén is fókuszálható [13].

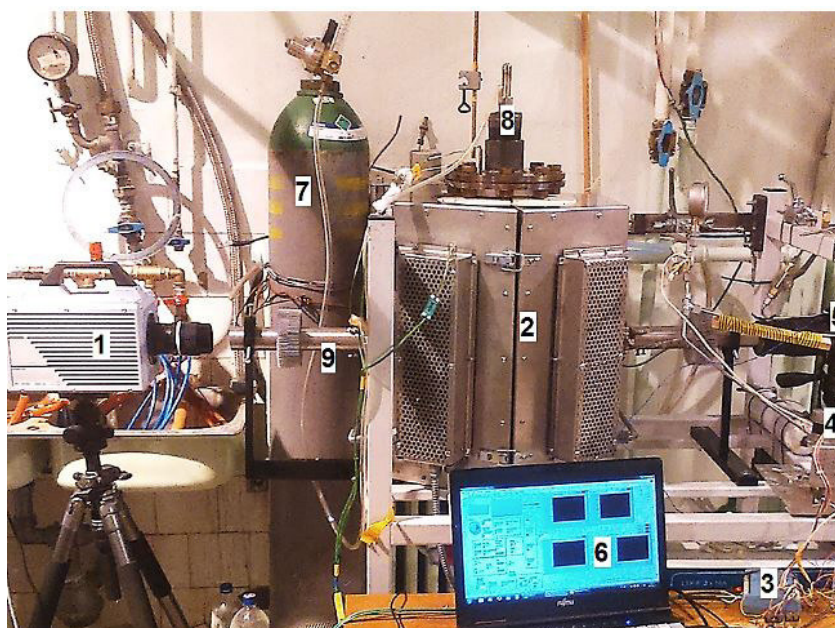
2.3 A kísérletet rögzítő kamerák

A mérés során az egyik teleszkóp kilépő pupillájához DSLR kamerát illesztettünk, melynek felbontóképessége 50 kép/másodperc (FPS – frames per second) volt, fullHD elbontásban. A másik optikához illesztett kamera kísérletről kísérletre változott. A hagyományos kamera használatakor azt vártuk, hogy a felhasadás és az elhajlás vagy az egyik, vagy a másik irányból válik megfigyelhetővé, vagy mindkét irányból láthatunk oldalra felhasadó mintát. A terveinknek megfelelően a kémlelőnyílások hőprofilban okozott inhomogenitása miatt a melegb, oldalsó régiók felhasadását vártuk, de nem így történt. Nagy számú minta hasadt fel a kamera irányában és oldalirányban is egyaránt.

A Wigner Fizikai Kutatóintézetrel közös együttműködésben gyorskamerát alkalmaztunk egyes mérések során. A gyorskamera Photon SA-5 típusú, hátsó megvilágítású, monokromatikus CMOS kamera volt. A kamera saját vezérlőprogramja (Photon FastCam Viewer) segítségével lecsökkentettük a kiolvasott képmezőt a minta körüli területre a gyorsabb felvétel érdekében, majd folyamatos felvételt készítettünk, beállításoknak megfelelően 2,000-100,000 FPS



3. ábra: A felfűvódás megfigyelésére szolgáló távcső modelljének keresztmetszete



4. ábra: A mérés képe:
középen a kemence (2), előtte a mérést vezérlő laptop a LabView programmal (6), mellette az adatrögzítő doboz (3) összekötve a léptetőmotorral (4).
A bal oldalon a gyorskamera (1), jobbra egy tükörreflexes fényképezőgép (5) látható a távcsövek (9) előtt, melyekkel a mérést rögzítettük.
A minta a cserélhető kemencefejhez van rögzítve (8), mellette a kemenceteret mosó argon gázpalackja (7)

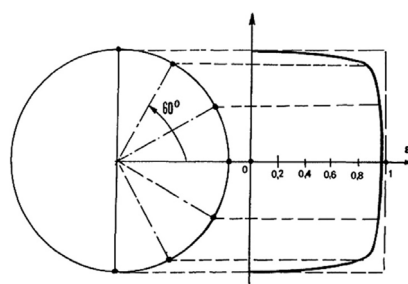
sebességgel. A kamera véges memóriája folyamatos üzemben vette fel a képeket, azonban hamar megtelt. A 800°C -on, $0,5 \text{ bar/s}$ nyomásnövekedés mellett, a várható 90 bar felhasadási nyomás esetén 3 perc hosszúságú videófelvételre volt szükség, azonban a gyorskamerában csak 5 másodpercnek megfelelő memória állt rendelkezésre, ezért post-triggert használtunk, vagyis a felhasadás után a felvételt leállítva a kamera memóriájában lévő utolsó 5 másodpercnyi felvételt mentettük el. A kísérleti berendezés fényképe a 4. ábrán látható [13, 14].

2.4 A hőkamerás mérés leírása

A felhasadás közbeni hőjelenségek megfigyelésére infravörös kamerával is végeztünk méréseket. A felhasadó minták felfűvódásának utolsó 3 másodpercét egy InfraTech IR 3500-HP típusú, 350 FPS sebességű hőkamerával rögzítettük. A kamera a közepes infravörös tartományban volt érzékeny, $2,0$ és $5,7 \mu\text{m}$ hullámhossz között, detektora Peltier-hűtésű, In-Sb bolométer érzékelőkből állt, a lencse egykristály germánium volt. Mivel a kamera közvetlenül a minták által kibocsátott infravörös fény intenzitását mérte, így a teleszkópot kivettük a foglalatból, azért, hogy a kameralencsék anyaga

ne módosítsa az emittált spektrumot, azonban így közvetlenül a mért mintára láttunk rá. Emiatt nem tudtuk kihasználni a teljes képmezőt, de a rögzített képeken meg lehetett határozni azt a tartományt, ahol a mérés elfogadható hibával rendelkezett. A kamerát a kamera gyártója által kifejlesztett IRBIS-3 program vezérelte. A kamera nyers fényintenzitás adatokat küld, melyeket a program rögzít, majd utólagos kalibrációval és a paraméterek beállításával lehet az intenzitást hőmérsékletre váltani. A hőmérsékletmérés elérhető legnagyobb pontossága 800°C -on $0,1^{\circ}\text{C}$ volt.

Az infravörös felvételeken jól azonosítható volt a laboratórium szobahőmérsékletű visszavert sugárzása a minta felületén, a kép közepén. A hengeres felületről emittálódó infravörös fény intenzitása a felület normálisától függő értéket vesz fel, így a minták szélei annak ellenére hidegebbnek látszanak, hogy a minta bizonyosan állandó hőmérsékletű volt. A felületi normális irányától függő emissziós koefficiens változását a minta nagy részén figyelmen kívül hagyhattuk, mert a minta középvonalától definiált 60° azimutszögnél kisebb szögekhez tartozó felületekről érkező fény mennyiség elhanyagolhatóan változott (5. ábra). A szögfüggő korrekciót úgy vettük figyelembe, hogy a minta hőmérsékletét kizárólag a szimmetriavonalhoz közeli tartományokon mértük.



5. ábra: Egy hengeres test emisszójának szögfüggése – 60° azimut alatt az emissziós koefficiens változása elhanyagolható

A mérés és a minták paramétereit kemencén kívüli és kemencén belüli mérésekkel, illetve a kamera gyártó laboratóriumában végzett mérésekkel határoztuk meg. A kalibrációs mérések eredményei szerint a mintán látható vékony oxidréteg emissziós koefficiensé megkülönböztethető a tiszta fémétől, de nem mutat nagy eltérést a tiszta fém emissziós koefficienséhez képest.

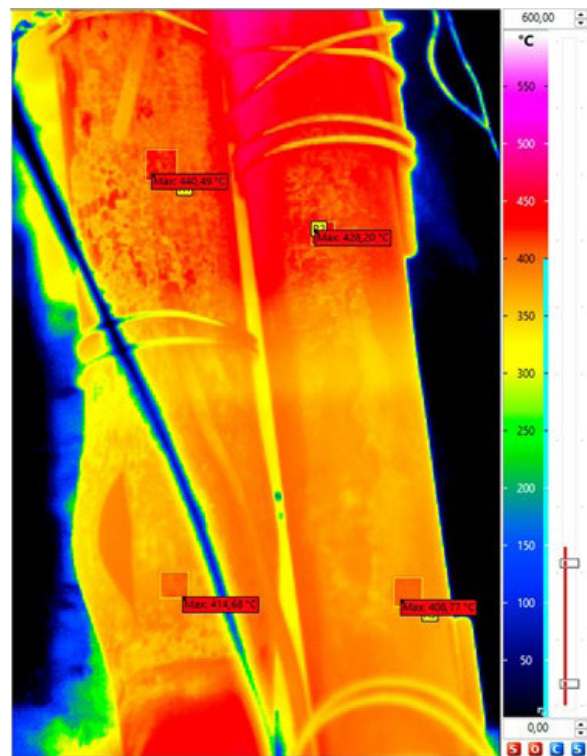
Mivel apró törmelékek szakadnak le a mintáról, és ezek a törmelékek nagy sebességgel repülhetnek ki a kémlelőnyíláson, ezért a hőkamera használata előtt a kémlelőnyílást 1 mm vastag polietilén fóliával zártuk le. A használatos védőfólia transzmissziójának megméréséhez egy felhasadt, enyhén oxidált, és egy fel nem hasadt, nem oxidált mintát mértünk a kamerával úgy, hogy a fóliával csak a látómező felét takartuk ki. Ezen mérés során, ahogyan a kemencében történő kalibrációk alkalmával is, K típusú termoelemmel határoztuk meg a mérendő minták felszíni hőmérsékletét. A fólia a kép (6. ábra) alsó felében látható, a kép kontrasztosságának megváltozásával jól azonosítható. A kalibráció során az elkészített képen látható infravörös kép ugyanarra a hőmérsékletre felhevített mintáról készült. Jól látható a tiszta fém és az oxidált felületek emissziós koefficiens-különbsége miatti látszólagos hőmérsékletkülönbség. A mérés alapján a fólia infravörösben 90%-os transzmisszióval rendelkezik.

3. A mérési eredmények

3.1 A felhasadás mérés eredményei

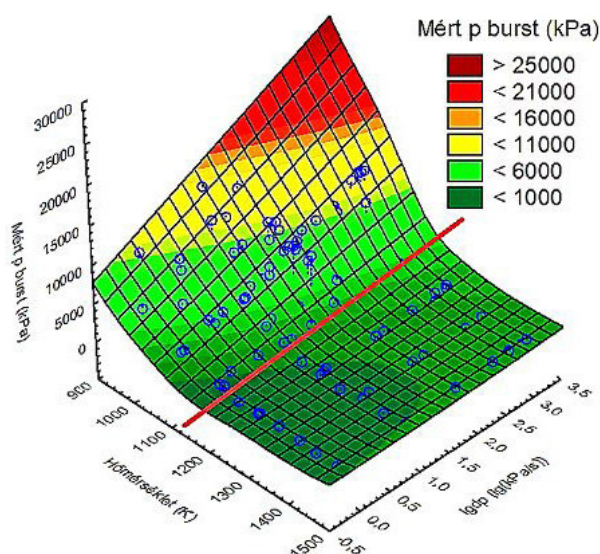
A felhasadás során a felhasadás időpillanatát a legnagyobb nyomás értékéhez kötöttük. A nyomás időbeli változását a legtöbb esetben, jó közelítéssel, egészen a felhasadás pillanatáig egyenessel tudtunk közelíteni. A felhasadás során a nyomás atmoszférikus szintre esése egy-két mérési pont elkészítési ideje alatt megtörtént, ami jelzi a jelenség rendkívül rövid idejét, és bár az analóg nyomástávadó erre képes is lehetett volna, de az A/D átalakító ehhez túl lassú volt.

A méréssorozatot három csoportban hajtottuk végre. Az első sorozatban két hagyományos kamerát alkalmaztunk a minták átmérőjének időbeli változásának megfigyelésére, és az E110 és E110G mintákra megmértük a 700-1000°C közötti hőmérsékleteken beállított, különböző nyomásnövekedési sebességeken tapasztalható felhasadási nyomást. A kapott értékeket a 7. ábrán foglaltuk össze. Az eredmények alapján 900°C alatt a burkolatok felhasadási nyomása erősen függ a nyomásnövelési sebességtől, mivel lassú nyomásnövelés mellett a mintáknak van ideje kúszni, és az emiatt elvékonyodó fal alacsonyabb nyomásoknál hasad fel. Ezzel szemben 900°C fölött a minták jóval alacsonyabb nyomáson felhasadnak és lassabb nyomásnövelés mellett sincs idő a burkolat kúszására, így jelentős különbség sem mutatkozik a felhasadási nyomásokban.



6. ábra: A bal oldali a felhasadt, 5-ös számú minta, a jobb oldali egy nem használt minta a kemencén kívül végzett kalibrációs mérés során

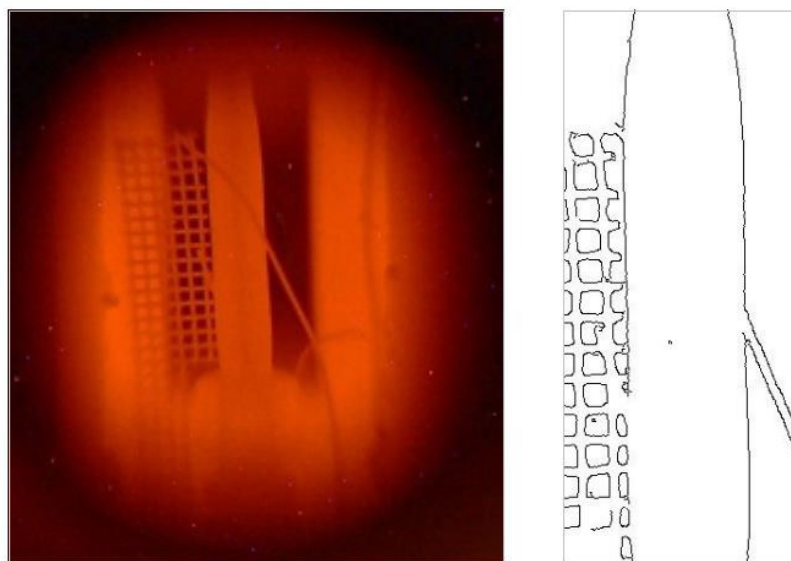
Ezután a sorozat után az egyik kamerát gyorskamerára cseréltük. A harmadik sorozatban hasonló méréseket végeztünk a hőkamerával is. A gyorskamerás és a hőkamerás méréssorozatban a legnagyobb mértékű átmérőváltozást figyeltük meg a legextrémebb felhasadás mellett. A fenti kívánalmaknak a 800°C hőmérsékleten 0,5 bar/s nyomásnövekedés felelt meg a legjobban.



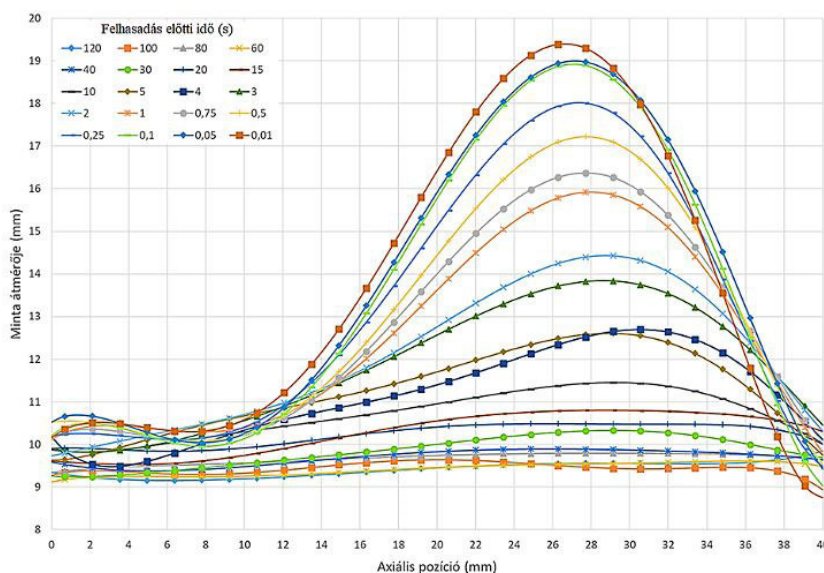
7. ábra: A mért felhasadási nyomás a hőmérséklet és a nyomásnövelési sebesség függvényében, logaritmikusan ábrázolva. A kék pontok a mérési adatok, a jobb oldali ábrán a piros vonal a kétféle illesztés határát mutatja

3.2 A rögzített videók kiértékelése

A mérések közben rögzített videókat képkockákra bontottuk. Minden videó-nál megállapítottuk, hogy melyik az az időpont, amelyet a felhasadás időpillanatának definiálhatunk, majd ehhez a referencia időpillanathoz képest számoztuk a képkockákat. A DSLR videómérések időbeli felbontása (50 FPS) összemérhető volt az adatrögzítés időfelbontásával (4 Hz). Megadtuk a felhasadási időponthoz tartozó kép idejét, majd hozzá illesztettük a nyomásmérésben meghatározott felhasadási időt. Ezzel elő tudtuk állítani a minta átmérőváltozásának nyomásfüggését. Az képkockákhoz kézi, majd algoritmusos mintaátmérő-meghatározó algoritmust fejlesztettünk ki. A manuális mérés során egy képfeldolgozó programban nyitottuk meg a képeket, majd azokon kézzel határoztuk meg a minta egymással szembe eső kontúrvonalait. A minta szélénél kerestünk egy olyan narancssárga sávot, amely a mintához tartozik, de a hűvös kémlelőnyílás sötét háttérének színeitől nagyban eltér. Ezzel könnyen megkaptuk a minta kontúrvonalát (8. ábra). A kontúrvonalat alkotó képpontok távolsága megadta a minta átmérőjének időbeli változását. A manuális átmérő-meghatározást később az algoritmizált képfeldolgozás ellenőrzésre használtuk. A fel nem fúvódott minta eredeti átmérőjéből (9,1 mm) át tudtuk skálázni a felfúvódott minta átmérőjét pixelkoordinátából milliméter egységekbe. A 9. ábrán látható egy felfúvódó minta alakváltozása az idő függvényében.



8. ábra: A feldolgozó program bemenetén megadott eredeti mérési videó (balra) és a kimenetként kapott videó ugyanazon időhöz tartozó képkockája (jobbra)



9. ábra: Egy vizsgált minta képfelismeréssel kapott átmérőváltozása az időben, 800 °C hőmérsékleten, 0,4 bar/s nyomásnövelési sebesség esetén, különböző axiális pozíciókban, a felhasadás előtti idő függvényében

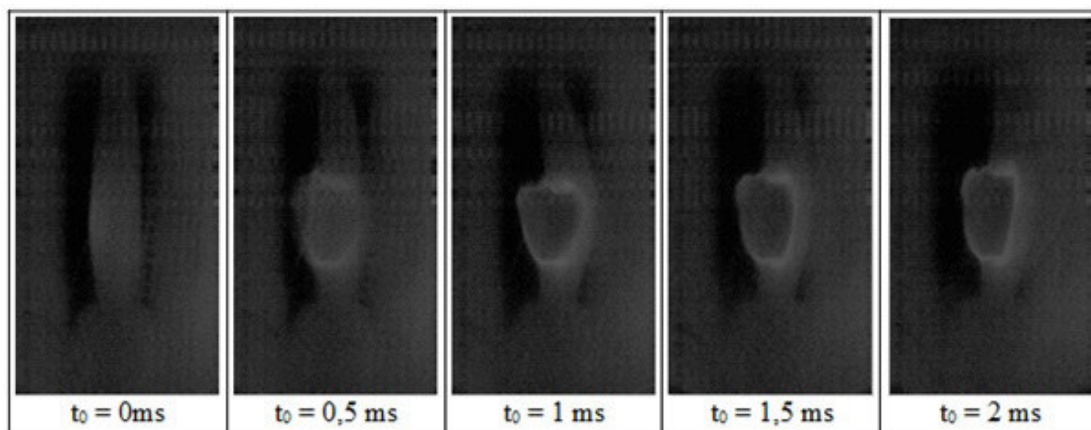
3.3 A gyorskamera felvételek eredményei

A gyorskamera képein kontúrvonal kereső algoritmust nem alkalmaztunk, a felvételeket algoritmusos kiértékelésnek nem vetettük alá, hiszen a teljes felfúvódás idejének csak az utolsó részét volt képes rögzíteni a kamera. Azonban a rövid záridőnek köszönhetően a felhasadáshoz kapcsolódó, eddig ismeretlen jelenségeket sikerült megfigyelnünk.

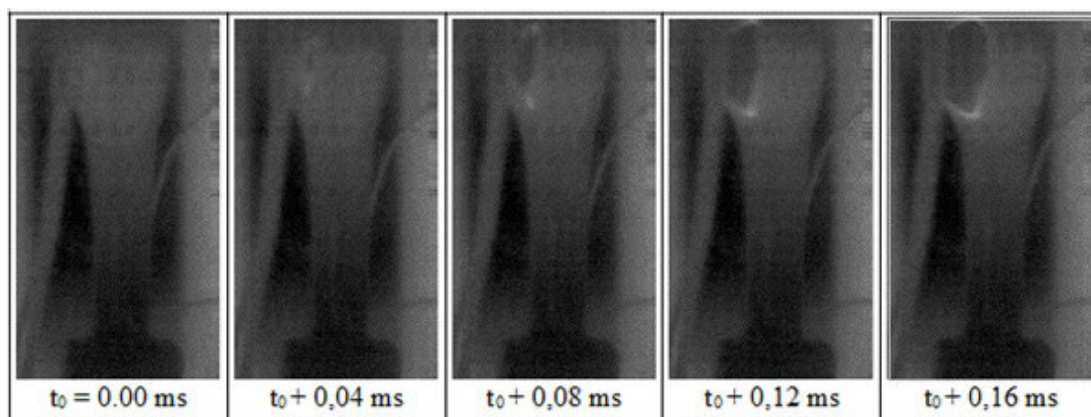
A gyorskamerás mérés során két esetben a felhasadás a kamera irányába történt. A 10. ábrán látható a felhasadást közvetlenül követő rugalmas elhajlás a kitóduló argon miatt. A fűtőelem burkolat

azonban nem a felhasadáskor kitóduló argon rakéthatása miatt görbül el maradandóan, hanem már a felfúvódási szakaszban, az egyenetlen felfúvódás miatt. [14, 15]. Látható, hogy a kitóduló argon adta löket bár jelentős alakváltozással jár, a deformáció megmaradására nincs idő ilyen rövid, ütésszerű terhelés esetében.

A nagy sebességű kamera lehetővé tette a felhasadó fűtőelem burkolaton keletkező repedés terjedésének megfigyelését. A 11. ábrán látható a repedés terjedése, valamint hogy a burkolat felhasadása nem tartott 6 képkockánál hosszabb ideig.



10. ábra: Egy minta 2000 FPS sebességgel rögzített felhasadása. A felhasadás előtti és az azt követő képkockákon jól látható a rugalmas kihajlás, mely 2 ms alatt eltűnik



11. ábra: Egy minta felhasadásának folyamata 25000 FPS sebességgel felvett képeken

A felhasadás során több esetben, a DSLR és a gyorskamerás mérés esetében is egyértelműen azonosítható volt egy forró folt megjelenése. A 10. és 11. ábrán látható, hogy a felhasadás előtt a felfűvódott terület és a felhasadást követően a repedés éle fényesebb marad. Ezt a foltot megemelkedett hőmérsékletűnek feltételeztük [15]. Feltételezésünk szerint a nagy nyomású argon mechanikai munkájának tulajdonítható be a felhasadást megelőző forró folt kialakulása a minta felszínén, a felhasadás pozíciójában [16].

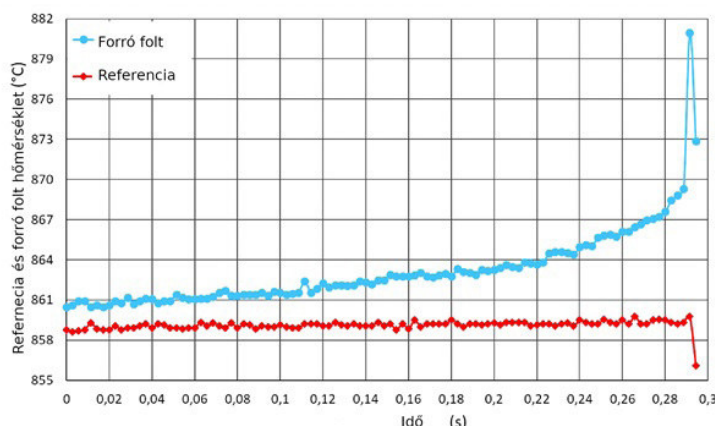
3.4 A forró folt megjelenésének bizonyítása

A kialakult forró folt a hőkamerás mérések esetén is jól láthatóan a repedéscsúcsokon volt a legintenzívebb. A felhasadást megelőző forró folt és a repedés terjedési irányába eső csúcsainak felmelegedését megfigyelve differenciális hőmérést alkalmaztuk. Ebben az esetben nem határoztuk meg a minta pontos hőmérsékletét, csak a megfelelő pixelek relatív hőmérséklet-változását az egész, egyenletes hőmérsékletűnek feltételezett minta

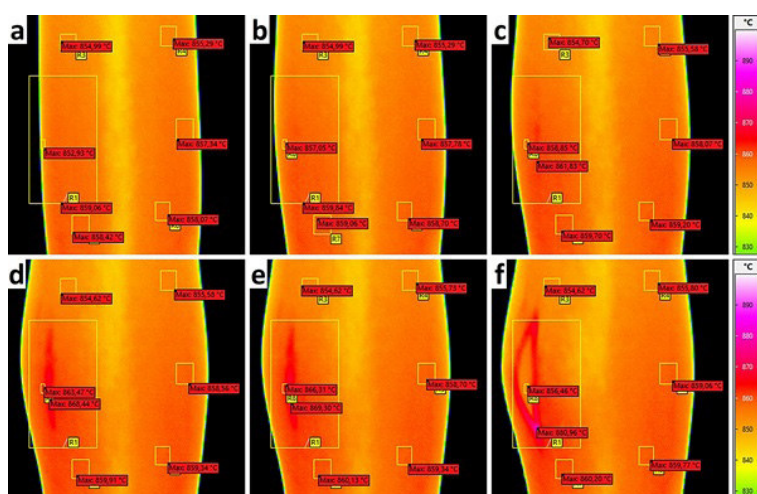
átlaghőmérsékletéhez képest.

A mérést kiértékelő programban a mintákon kis jelölőnégyzetekkel határoltuk körbe a differenciális hőmérsékletméréshez használt referenciafelületeket. Ezek a mérőfelületek oxidált és nem oxidált felszíni foltokat egyforma mértékben tartalmaztak és a minta képének közepére szimmetrikusan helyezkedtek el. Ezeken a felületeken kijelölt összes pixel egyedi hőmérsékletének átlagát vettük referencia hőmérsékletnek. A forró folt helyét körbevettük egy nagy jelölőnégyzettel. A jelölőnégyzetbe eső pixelek közül a legmelegebbet kerestük, és azt tekintettük az aktuális forró folt, vagy a repedéscsúcs helyének [16].

A forró folt megjelenését bizonyítandó, nyolc darab E110G anyagból készített mintát mértünk meg 0,5 bar/s nyomásnövelés mellett, körülbelül 850°C-on. A minták forró foltjának megjelenése azonosítható volt azokon a mintákon, ahol a felhasadás oldalirányban, illetve a hőkamera irányában történt. Ellenben egyáltalán nem tudtunk semmilyen forró foltot azonosítani azon a mintán, amely éppen a hőkamerával ellentétes irányban hasadt fel.



12. ábra: A forró folt maximuma és a referencia felületek átlaghőmérséklete a felfúvódás és felhasadás során



13. ábra: Egy burkolat minta felhasadásának infravörös kamerás felvétele a felhasadás pillanatában (a képkockák az felhasadás előtti két másodpercben készültek)

A minták egyike az infravörös kamera látóterében hasadt fel. A forró folt a 12. és 13. ábrákon látható módon mintegy 10°C-ot melegedett a felhasadás előtt, majd a felhasadás után a repedéscsúcs további 10°C-kal volt melegebb a minta többi részénél. A legmelegebb pont pozícióját a korábbi feltételezéseknek megfelelően a forró foltként megjelenő vörös terület közepe táján, majd a felhasadást követően, pontosan a repedéscsúcsok valamelyikén találtuk. Mivel a felhasadás pillanatában beleláthattunk a repedésbe, így ott is megmérhettük a minta belső felületének hőmérsékletét. A minta belseje nem lehetett oxidált ezeken a felvételeken, mivel a belső nyomást nagy tisztaságú argongázzal értük el. Megállapítottuk, hogy a kívülről oxidált felületek valóban enyhén eltérő emissziós koefficienssel jellemezhetők (feltételezve, hogy a teljes fémfelület állandó hőmérsékletű volt), azonban ez az eltérés nem számottevő, és a vizsgált jelenség ennél sokkal nagyobb hőmérsékleteltérést okoz.

4. Összefoglalás

Az atomerőművi fűtőelem burkolat csövek felhasadásának és felfúvódásának mérése során a hűtőközegvesztéses üzemzavari körülményeket szimuláltuk. Építettünk egy kísérleti berendezést, amelyben megfigyelhettük a magas hőmérsékleten és nyomáson bekövetkező felfúvódás kinetikáját. A berendezés egy egyedi, kémlelőnyílásokkal és teleszkópokkal ellátott csökemencéből, egy precíziós nyomásrendszerből, valamint egy szabályozó és adatgyűjtő egységből állt. A két magas hőmérsékleten használható teleszkóphoz hagyományos és gyorskamerát illetve megfigyelhettük a felfúvódást, valamint a repedés kialakulását és terjedését a felhasadás során. Meg tudtuk mérni a felhasadási nyomást E110 és E110G jelű burkolat csövekből készített minták esetén egyaránt, 700-1000°C közötti állandó hőmérsékleteken, különböző nyomásnövekedési sebességek mellett. A nyomásnövelés sebességének csak 900°C alatt volt jelentős szerepe a felhasadási nyomásra.

A kamerával rögzített kísérleteket elemeztük és automata módszert fejlesztettünk a minták átmérőjének meghatározására. A legnagyobb átmérőváltozást 800°C-on láttuk, a minták eredeti átmérőjük kétszeresére duzzadtak a felhasadás előtt. A gyorskamerával rögzített mérések kiértékelésekor azt találtuk, hogy a minták a felfúvódással azonos időben elgörbülnek, a konvex oldalon forró folt jelenik meg, majd a minta 0,1 ms idő alatt felhasad. A forró folt melegeését hőkamerás méréssel igazoltuk, a forró folt nagyságrendileg 10°C-os lokális hőmérsékletemelkedést jelentett a felhasadás előtt, majd a repedéscsúcs a felhasadás során szintén jelentősen felmelegedett.

Irodalomjegyzék

- [1] Z. Hózer, Cs. Győri, M. Horváth, I. Nagy, L. Maróti, L. Matus, P. Windberg, J. Frecska: Ballooning Experiments with VVER Cladding. Nuclear technology, Vol. 152 No. 3 (2005) pp. 273-285
- [2] Z. Hózer, E. Perez-Feró, T. Novotny, I. Nagy, M. Horváth, A. Pintér-Csordás, A. Vimi, M. Kunstár, T. Kemény: Experimental Comparison of the Behavior of E110 and E110G Claddings at High Temperature. 17th International Symposium on Zirconium in the Nuclear Industry, ed. B. Comstock and P. Barberis (West Conshohocken, PA: ASTM International) 2015, pp. 932-951
- [3] W. Wiesenack: Summary of the Halden Reactor Project

- LOCA test series IFA-650, Proceedings of the Enlarged Halden Programme Group Meeting, 2013, Storefjell, Norway
- [4] L. Yegorova, K. Lioutov, N. Jouravkova, A. Konobeev, V. Smirnov, V. Chesanov, A. Goryachev: Experimental Study of Embrittlement of Zr-1 %Nb VVER Cladding Under LOCA-Relevant Conditions. NUREG/IA-0211, 2005
- [5] F.J. Erbacher, S. Leistikow: A review of Zircaloy fuel cladding behavior in a loss-of-coolant accident., Kernforschungszentrum Karlsruhe Germany, Report KfK-3973, 1985
- [6] F. Erbacher, H. Neitzel, H. Rosinger, H. Schmidt, and K. Wiehr: Burst Criterion of Zircaloy Fuel Claddings in a Loss-of-Coolant Accident. 5th International Symposium on Zirconium in the Nuclear Industry, ed. D. Franklin (West Conshohocken, PA: ASTM International) 1982, pp. 271-283
- [7] D. Powers, R. Meyer: Cladding swelling and rupture models for LOCA analysis. NUREG-0630, 1980
- [8] M. Billone: Cladding embrittlement during postulated loss-of-coolant accidents. NUREG/CR-696, July 2008
- [9] M. Billone, Y. Yan, T. Burtseva, R. Daum, H. Scott: Cladding Embrittlement During Postulated Loss-of-Coolant Accidents. NUREG/CR-6967, 2008
- [10] J.C. Brachet, M. Dumerval, V. Lezaud-Chaillieux, M. Le Saux, E. Rouesne, D. Hamon, S. Urvoy, T. Guilbert, Q. Houmaire, C. Cobac, G. Nony, J. Rousselot, F. Lomello, F. Schuster, H. Palancher, J. Bischoff, E. Pouillier: Behavior of Chromium Coated M5 Claddings Under LOCA Conditions. Proceedings of Water Reactor Fuel Performance Meeting, September 10-14 2017, Jeju Island, South Korea
- [11] A. Wu, J. Ribis, J.-C. Brachet, E. Clouet, F. Leprêtre, E. Bordas, B. Arnal: HRTEM and chemical study of an ion-irradiated chromium/Zircaloy-4 interface, Journal of Nuclear Materials, Vol. 504 (2018) pp. 289-299
- [12] R. S. W. Shewfelt: The Ballooning of Fuel Cladding Tubes: Theory and Experiment, Res. Mechanics, Vol. 25 (1988) pp. 261-294
- [13] R. Nagy, M. Király, T. Szepesi: Optical measurement of the high temperature ballooning of nuclear fuel claddings, Review of Scientific Instruments, Vol. 89, Issue 12 (2018) paper 125114
- [14] R. Nagy, M. Király, T. Szepesi: Visual Observation of Ballooning and Burst Phenomena of VVER Fuel Claddings. Proceedings of Water Reactor Fuel Performance Meeting, September 10-14, 2017, Jeju Island, South Korea
- [15] R. Nagy, M. Király, T. Szepesi: Optical observation of the ballooning and burst of E110 and E110G cladding tubes. Nuclear Engineering and Design, Vol. 339 (2018) pp. 194-201
- [16] R. Nagy, M. Király, P. Petrik, Z. Hózer, Infrared observation of ballooning and burst of nuclear fuel cladding tubes. Nuclear Engineering and Design, Vol. 371, (2021), 110942

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA ÚJRA NYOMTATOTT VÁLTOZATBAN

16 év után újra kézbe vehetik

az olvasók

az Anyagvizsgálók Lapját!

A lap újjászerveződött csapatának köszönhetően az első nyomtatott verzió előreláthatólag **2022-től** lesz elérhető.

Terveink szerint a **nyomtatott kiadvány negyedévente** – teljesen megegyező tartalommal, mint az online letölthető számok – **előfizetéses formában** jelenne meg.

Amennyiben igényt tartana rá, kérem töltse ki az alábbi linken elérhető **előfizetői igényfelmérést!**

<https://forms.gle/eCuNMV6xg7ETjqYa9>



Nyúlásmérés rejtelsei lágyacéloknál¹

Bocz András^a, Kiss Balázs^b, Márkus Dénes^c, Narancsik Zsolt^d, Vainel Viktor^e

^aokleveles vegyészmérnök; ^banyagmérnök; ^cmérnök informatikus, gépészmérnök;

^dhegesztő szaküzemmérnök, minőségügyi mérnök; ^ekohász technikus;

DUNAFERR LABOR Nonprofit Kft.;

^abocz.andras@dlabor.hu; ^dnarancsik.zsolt@dlabor.hu

Absztrakt

Az ISO 6892-1 szabványnak megfelelő szakítógép rendelkezik nyúlásmérő készülékkel. A nyúlásmérő kialakításától függően a vizsgálat teljes ideje alatt vagy csak a próbatest néhány százalékos alakváltozásáig méri annak nyúlását és vezérli a vizsgálatot. A próbatest szakadási megnyúlása kézzel, a felületére rajzolt finom jelek vizsgálat utáni lemérésével is meghatározható [1].

Ebben a cikkben a szakadási megnyúlás meghatározásának technikáit és a nyúlásmérések eltéréseit vizsgáljuk. Az itt publikált eredményeink és észrevételeink különböző gyártótól származó, eltérő típusú szén- és lágyacél próbatestek vizsgálatából származnak [2, 3].

Kulcsszavak

szakítóvizsgálat, nyúlásmérő, megnyúlás, eredeti jeltávolság, számítógéppel vezérelt szakítógép

Bevezetés

A szakítóvizsgálat a legismertebb mechanikai vizsgálat, a fémipari oktatásokban alapismereti témakörnek számít [3].

A vizsgálandó anyagból készült próbatestet húzóerővel terheljük szakadásig, a terhelő erő, szakítógép fejének elmozdulási és a próbatest alakváltozásainak értékeit rögzítjük. A rögzített jelekből kirajzolható a feszültség-nyúlás diagram, ez az anyag állapotényezőinek (alakítási állapot, vizsgálati sebesség, hőmérséklet) változatlansága mellett az adott mintára jellemző [4].

A feszültség-nyúlás diagram az úgynevezett mérnöki diagram, jellegzetessége a végén látható látszólagos feszültségcsökkenés. Ennek az az oka, hogy a vizsgálat közben mért erőértékeket a próbatest

eredeti keresztmetszeti értékével osztjuk, nem a pilanatnyi keresztmetszet értékével.

Az ISO 6892-1 szabvány a „mérnöki” diagramot tekinti nyúlás-feszültség diagramnak, így a cikk sem tér ki a valós feszültségi diagram témakörre [1, 2].

Az alapanyaggyártás automatizálása a mechanikai vizsgálatok automatizálását is előre vetíti, ezzel a cégek a vizsgálatra fordított összes időt és a humán erőforrás által befolyásolt mérési bizonytalanságot szeretnék csökkenteni. A robotkarral kiszolgált szakítógép hatékony működésű, amíg a szoftver csak vezérlési-adatgyűjtési feladatokat végez. Azonban a mért és rögzített értékekből a vizsgálati eredmények kiértékelése sokkal komplexebb feladat annál, hogy egy vizsgáló szoftver hibamentesen tudja meghatározni a határozott folyáshoz tartozó értéket. A szoftverek a nem középen szakadó próbatestek nyúlás meghatározására sincsenek felkészítve.

Az általános szakemberhiány miatt erősödő tendencia, hogy egyre több vegyes profilú, anyagvizsgálattal is foglalkozó cég vásárol korszerű, számítógéppel támogatott szakítógépet.

A vevők a megvásárolt új berendezéstől azt várják, hogy a szolgáltatott eredmények minden esetben szabványosak és feddhetetlenek legyenek. Ha a szakítógép gyártó brandje ismert, marketingje átfogó és eredményes, nagy a veszélye annak, hogy a felhasználója kritika nélkül elfogadja a szakító szoftver eredményét akkor is, ha az a szabványelőírástól eltér vagy annak nem felel meg.

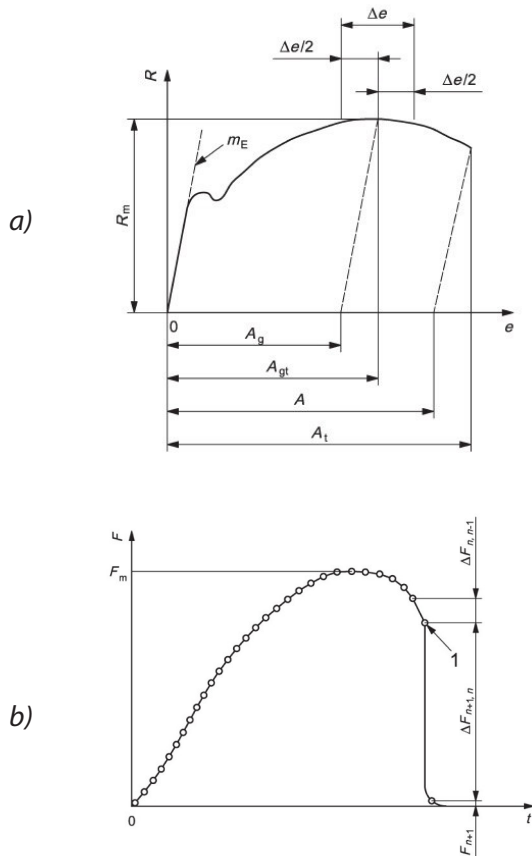
A fenti két ok miatt kezdtük átvizsgálni a nyúlásmérés elméleti és gyakorlati hibalehetőségeit.

1. Szakadási megnyúlás a szakirodalom szerint

Az ISO 6892-1 szabvány az alábbi modellt veszi alapul a szakadási nyúlás meghatározásához.

Az 1.a diagramból meghatározható a próbatest „A” szakadási megnyúlása és az „A_t” teljes nyúlás értéke [1].

¹ A cikk a Magyar Acél 2021 tavaszi számában megjelent.



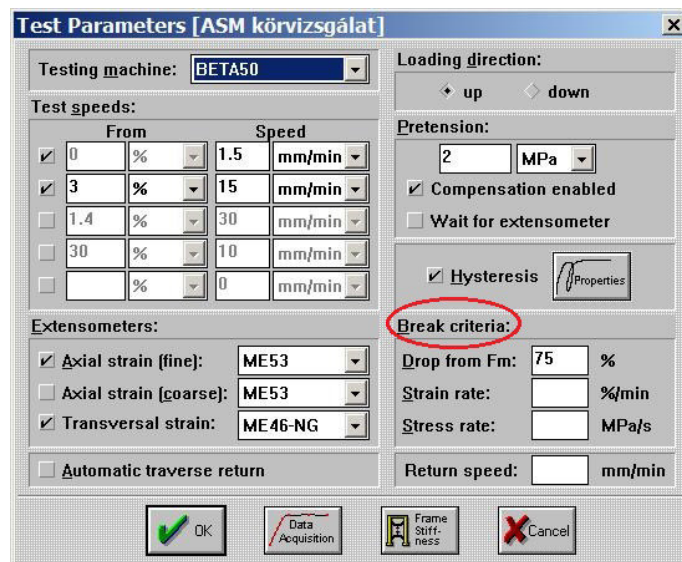
1. ábra: a) ISO 6892-1:2016, b) ISO 6892-1:2016

A szakirodalmakban található ábrának a diagram csökkenő ágán, valahol a maximális terhelés negyedénél-harmadánál vége van, itt jelzik a próbatess elszakadását. Ez a „dinamikus szakadás” azonban nem minden próbatessnél történik meg ebben a tartományban, az általunk vizsgált acél próbatessetek esetén előfordul, hogy az erő csökkenése egészen a nulla értékig mérhető [1, 2, 4].

A szoftverrel vezérelt szakítógépeknél a „vizsgálat vége pont” programozható, megadható hogy milyen feszültségcsökkenési vagy egyéb más értéket vegyen leállítási pontnak a vezérlés. A szabvány 1.b ábrája útmutatást ad ilyen helyzetekre is. A 2. ábra a szoftveres „vizsgálat vége” megadási lehetőségeket mutatja két gyártó szakító programjában.

A „vizsgálat vége pont” programozhatósága miatt előfordul, hogy a jól alakítható acél-lemezből készült próbatess nem szakad el az adott leállítási pontban. A vizsgálat vége feltételt 100% feszültségcsökkenésre állítva esetenként rögzíthető a 3.b ábra szerinti diagram, ilyen esetben a próbatess a vizsgálat végéig egyben marad.

A fenti példákban látható, hogy a



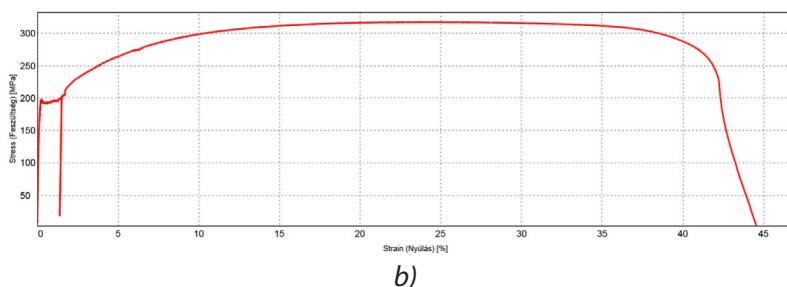
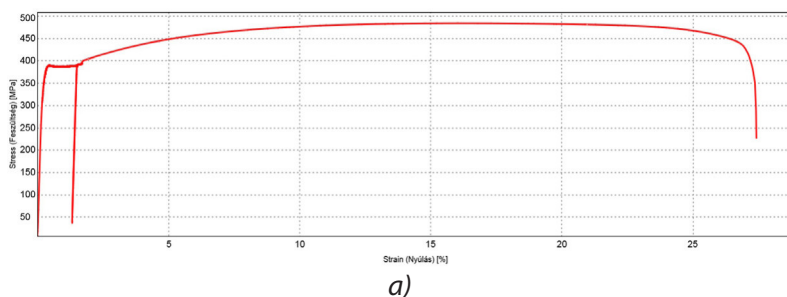
Test End Mode

In this step is important to Select the Test End mode.

Enabled	Mode	Parameter
☐	Specimen Rupture	Pure
☒	Stress < of max stress %, than ...	90.00 %

2. ábra: „Vizsgálat vége” pont megadása két különböző szakítógépgyártó szoftverében

szakirodalmakban meghatározott „A” szakadási megnyúlás nem mindig határozható meg a szakítódigramról. Több száz acél próbatess vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy az általunk vizsgált anyagoknál az „A” és az „At” értéke közötti eltérés kicsimértékű, a 0,5% nyúlásértéket nem haladja meg. Ez az érték az ISO 6892-1 szabvány kerekítési értékénél kisebb, ezért tovább nem vizsgáljuk a befolyását.



3. ábra: a) 50% feszültségcsökkenésre állított „vizsgálat vége”, b) 100% feszültségcsökkenésre állított „vizsgálat vége”

2. Clip-on nyúlásmérők

Az ISO 6892-1 szabvány „A method” vezérlés és az egyezményes folyáshatár meghatározása miatt elterjedt a „csíptetős” vagy clip-on nyúlásmérők használata. Ezeket a nyúlásmérőket nagy mérési pontosság és kis elmozdulási képesség jellemzi. Az 4.a ábrán egy 50 mm eredeti jeltávolságú nyúlásmérő ($L_e = 50$ mm) látható, ami 55 mm távolságra tud kinyílni. Mivel a próbatest alakváltozása lényegesen nagyobb, mint amit a nyúlásmérő el tud mozdulni, a szakítógép szoftverében beállítható az a pont, ahol a vizsgálat megállítható és a nyúlásmérő sérülésmentesen eltávolítható a próbatestről. A nyúlásmérő eltávolítása után a szoftver folytatja a vizsgálatot, így a szakító diagram rajzolását is, de a diagram többi részén már nem nyúlási, hanem



a)

a szakítógép fejének elmozdulási jeléből képzett értékeket jelenítenek meg. Az 4.b ábrán látható egy ilyen hibrid diagram, kék vonallal jelöltük a tényleges nyúlásmérés határát.

A hibrid diagram esetében értelemszerűen próbatest nyúlásról csak addig beszélhetünk, amíg a nyúlásmérő szolgáltatja a mérési jelet, az utána következő diagram szakasz nem alkalmas az „A” szakadási megnyúlás meghatározására, kivéve ha a nyúlásmérő levétele előtt már elértük az F_m maximális terhelést [1, 2].

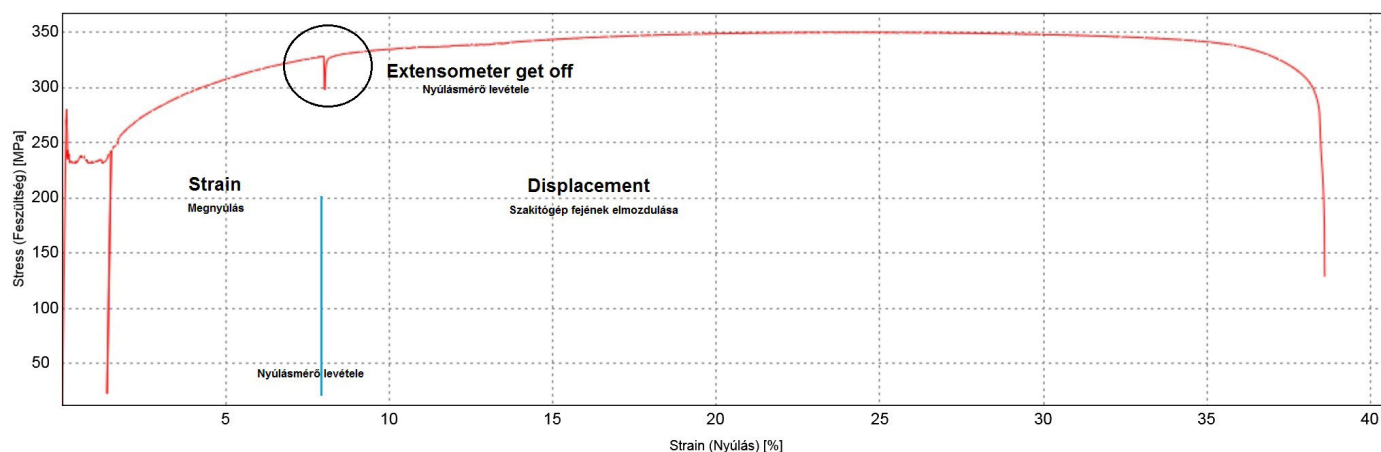
A hibrid diagramok nem megfelelő kiértékelése valótlan szakadási nyúlási értékeket eredményezhet, ezért a szakítógép gyártók felelőssége lenne, hogy a vizsgáló szoftver figyelmeztessen ilyen esetekben.

3. Folyamatos nyúlásmérés vizsgálat alatt

Azok a nyúlásmérő eszközök és készülékek, amelyek az egész vizsgálat alatt mérik a próbatest megnyúlását, lehetnek optikai és mechanikus rendszerűek. A laboratóriumok egy része a szakadási megnyúlást a diagramból származtatja és a próbatestet nem jelöli meg a kézi nyúlásméréshez.

Amennyiben a próbatest közepén szakad és a szakadási terület a nyúlásmérő jelei/érzékelői közé, közepre esik, akkor megfelelő a gépi mérés. Ha a próbatest nem közepén szakad vagy a szakadás nem a nyúlásmérő munkaterületének közepére esik, akkor az anyag tényleges nyúlási képességétől kisebb értéket mér a nyúlásmérő.

Az ISO 6892-1 szabvány maximálja a szakadási hely eltérését a jeltávolság közepétől. Az előírás szerint a szakadási helynek a nyúlásmérő jelétől legalább az eredeti jeltávolság (L_e) harmadával ($L_e/3$) meszebbre kell esnie [1].



b)

4. ábra: a) Clip-on nyúlásmérő, b) hibrid diagram

Ha a szakadás helye nem a próbatest közepére és nem a nyúlásmérő két jele között középre esik, akkor a nyúlásmérő jeléből rögzített diagram és az arról meghatározható szakadási nyúlás értéke el fog térni a kézi nyúlásmérésből számolt nyúlásértéktől. A szabvány lehetőséget ad az „A százalékos szakadási megnyúlás mérése az eredeti jeltávolság felosztásának módszerével” nevű eljárás alkalmazására, ezzel a nem középen szakadt próbatestek megnyúlása átszámítható „középen szakadt” nyúlásértékekre [1].

A próbatestek nem középen szakadásának okait és elkerülési lehetőségeit ebben a cikkben nem tárgyaljuk.

4. Összehasonlító vizsgálatok

Különböző gyártótól származó, eltérő minőségű acél próbatesteken meghatároztuk a szakadási nyúlások nagyságának eltérését szakadásuk helyének függvényében. Azt vizsgáltuk, mekkora eltérést okoz az anyag tényleges nyúlási képességétől a csak nyúlásmérővel meghatározott szakadási megnyúlás. A vizsgálatoknál a gépi nyúlásméréshez fehér pontpárt, a kézi méréshez nagy pontossággal felrajzolt skálát használtunk. A fehér pontok távolsága 80 mm, a fekete jelek osztásköze 5 mm, a mért szakadási megnyúlás A80 volt.

A 5. ábrán a próbatest közepéhez közel szakadt próbatest képe és diagramja látható. Az anyag tényleges nyúlási képességét jobban közelítő kézi méréstől 0,6 százalékkal tér el a gépi mérés által szolgáltatott szakadási nyúlás. A szakítódiagram arányos.

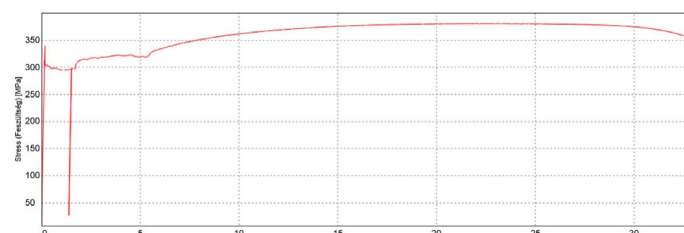
A 6. ábrán a szakadás helye a fehér pontok egyharmad-kétharmad arányánál található, a kétféle szakadási megnyúlás értéke közötti különbség 0,9 %. A diagram még itt is arányos.

A 7. ábrán a fehér ponthoz közeli szakadás a nyúlásmérő által mért nyúlásértéket kedvezőtlenül befolyásolja. A két módszer eredmény eltérése már jelentős, 2,5 %, a diagram torz.

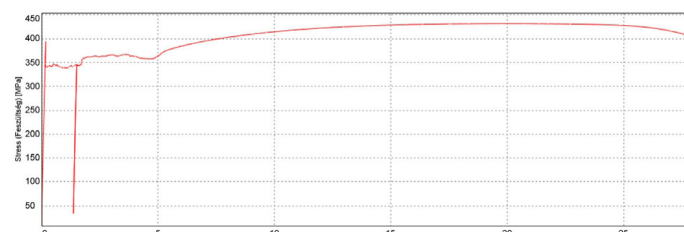
A 8. ábrán látható, hogy a fehér ponton történő szakadás következménye a torzult diagram és a 6,6% nyúlás eltérés.

A 9. ábrán a nyúlásmérő jeltávolságán kívüli szakadást és a hozzá tartozó diagramot lehet látni. A kézi és a gépi nyúlásértékek eltérése nagy.

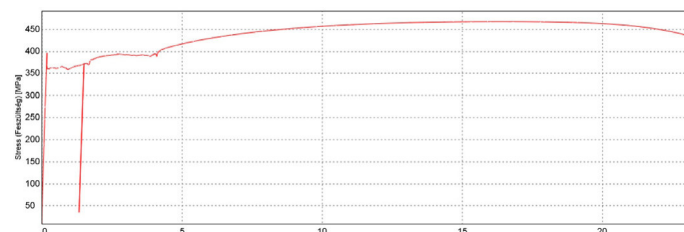
A 8. és 9. ábrákon látható, hogy a fehér pontokon kívül vagy a pont közelében szakadt próbatestnél is van olyan fekete osztás, ahol kézi méréssel a szakadási megnyúlás még meghatározható [4].



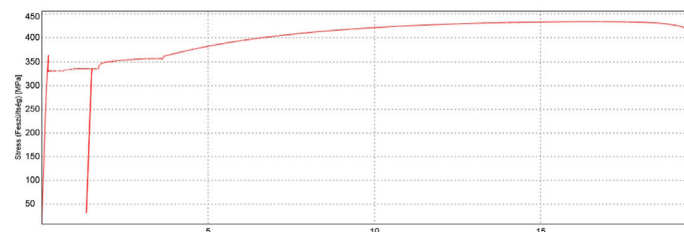
5. ábra: A80 extensometer=34,3%; A80 manual=34,9%



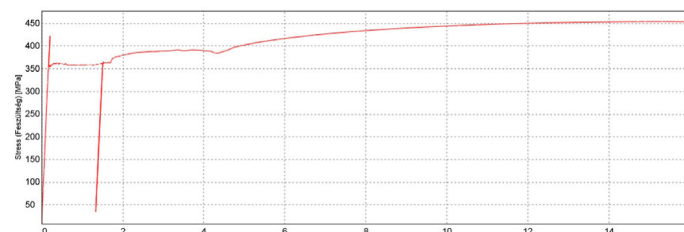
6. ábra: A80 extensometer=29,1%; A80 manual=30,0%



7. ábra: A80 extensometer=24,3%; A80 manual=26,8%



8. ábra: A80 extensometer=20,5%; A80 manual=27,1%



9. ábra: A80 extensometer=16,7%; A80 manual=23,9%

Szabvány szerint, ha a jeltávolságon kívül szakadt a próbatest, a mérés még lehet érvényes, ha az így mért nyúlás értéke nagyobb a termékszabványban vagy a szerződésben az anyagra előírt értéknél [1].

Mérési eredmények

Szakítóvizsgálati fájlok feldolgozásával elemeztük a kézzel és optikai nyúlásmérővel mért A80 szakadási nyúlási értékek eltérését. A 10. ábra függőleges tengelyén a próbatesteken mért nyúláskülönbségeket, a vízszintes tengelyén a különbségek – az összes méréshez viszonyított – megoszlását ábrázoltuk.

A szakadási megnyúlás értékét az ISO 6892-1 szabvány szerint 0,5 százalékra kell kerekíteni, így vizsgálatunk első csoportját a fél százalék vagy annál kisebb eredménykülönbségű próbatestek képezték, ez az összes mérés 41,7% [1].

A második csoportot a 0,5-1% eltérésű próbatestek alkotják, ez az összes mérés 14,4%-a, a harmadikba az 1-2% különbségűek kerültek, ami az összes mérés 16,2%-a. A negyedik csoport 2-5% határa nagyobb intervallumot ölel fel, ez a csoport az összes mérés 12,7%-át adja. Az öt százaléknál nagyobb eltérésű eredmények az összes mérés 15%-át érték el.

Ha az 1%-os szakadási nyúlás eltérést is a szabványos értékű csoporthoz vesszük (mérési bizonytalanság, kerekítések és egyéb szempontok miatt), akkor is a mérések közel 44%-ánál jelentkezett 1 százaléknál nagyobb szakadási megnyúlás különbség.

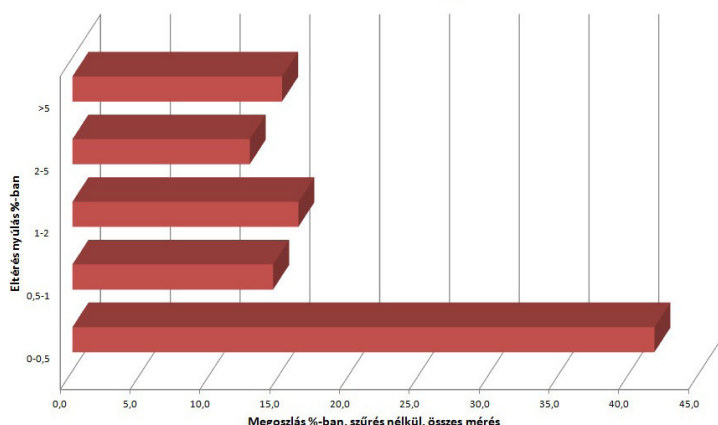
Vizsgálatainkat többféle szén- és lágyacél lemezekből kimunkált próbatesten végeztük kézi jel-távolság és megnyúlás mérése mellett nyúlásmérő eszközök használatával.

A fentiek alapján megfogalmazható: minden száz darab próbatestből negyvennégy darabnál legalább 1%-kal kisebb szakadási nyúlás mérhető, ha csak nyúlásmérő használatával történik a mérés.

A fenti témákat összefoglalva az alábbi megállapításokat tettük:

- A clip-on nyúlásmérő hibrid diagramjai, ahol a nyúlásmérő levétele az F_m előtt történik, nem szabványosak, a szakítógép szoftverek erre nem figyelmeztetnek minden egyes mérésnél.
- A nem középen szakadó próbatestek jelentősen befolyásolhatják a szakadási megnyúlás meghatározási pontosságát. A 43,9 százalékos „találati arány” miatt a cikkünket figyelem felhívásnak szánjuk a gépkezelőknek, szakítógép gyártóknak és szabványok készítőinek.

Kézi és extenzométeres szakadási megnyúlások eltérése



10. ábra: Szakadási megnyúlások eltérése

5. Összefoglalás

Eredményeink alapján javasoljuk, hogy

- írja elő a szabvány, hogy kötelező legyen megadni a vizsgálati jegyzőkönyvekben a szakadáshoz közelebbi jel és a szakadási hely távolságát, ha a laboratórium csak nyúlásmérő eszközzel méri a próbatest szakadási megnyúlását,
- a szoftver automatikusan jelezze, hogy nem érvényes a vizsgálat, ha a szakadáshoz közelebbi jel és a szakadási hely távolsága kisebb a nyúlásmérő eredeti jeltávolságának harmadától ($L_e/3$),
- a clip-on nyúlásmérőt használó, számítógéppel vezérelt szakítógépek esetén legyen kötelező a programnak feltüntetnie, hogy a diagram nem használható a szakadási megnyúlás meghatározására, ha az F_m érték elérése előtt távolítják el az extenzométert a próbatestről.

A cikkben szereplő képeket a savas pácolással felületkezelte lemezekből készült próbatestek fotóiból válogattuk össze.

Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN ISO 6892-1:2016 Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten (ISO 6892-1:2016)
- [2] ASM International: Tensile Testing. ISBN:0-87170-440-4
- [3] Dr. Gillemot Ferenc: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat. ISBN:963 18 1512 9
- [4] ASM International: Atlas of Stress-Strain Curves. ISBN:0-87170-240-1

Mélységérzékeny benyomódásmérés hőmérsékletfüggésének vizsgálata DMA berendezésben

Kotroc Luca^a, Dr. Bakonyi Péter^b

^aBudapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, doktorandusz, kotroczl@pt.bme.hu

^bBudapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, adjunktus, bakonyi@pt.bme.hu

Absztrakt

Munkánkban a mélységérzékeny benyomódásmérés lehetőségeit, feltárt kutatási eredményeit foglalkoztatjuk össze, kitérve a polimer anyagokon végzett mérések befolyásoló tényezőire. Egy dinamikus mechanikai analizátor (DMA) berendezésbe épített, általunk tervezett mérőfeltét segítségével bemutatjuk a módszer alkalmazhatóságát, és a hőmérsékletváltozás keménységre gyakorolt hatását széles hőmérsékleti tartományban.

Kulcsszavak

mélységérzékeny benyomódásmérés, keménység, DMA, hőmérsékletfüggés, polimer

1. Bevezetés

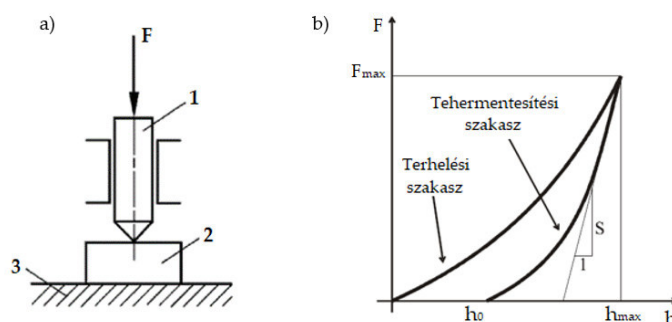
A polimer anyagok fejlesztése az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb hangsúlyt kap. Ezek az anyagok a fémekhez hasonlóan szerkezeti elemek alapanyagaként is szolgálhatnak (pl.: csavarok, csapágyak, ablakkeret), ugyanakkor számos hétköznapi eszközünk is ezekből készül (pl.: toll, pohár, csipesz). Az anyag alkalmazhatóság szempontjából legfontosabb mechanikai tulajdonságait mérésekkel kell meghatározni, az alkalmazott eljárások lehetnek statikusak (szakítás, hajlítás), vagy dinamikusak (Charpy-féle ütvehajlítás, ejtődárdás ütőmű). Ezen eljárásokra alapvetően elmondható, hogy segítségükkel rövidtávú mechanikai tulajdonságokat tudunk mérni, azonban meg kell jegyezni, hogy polimer anyagok esetében ez nem elegendő, hiszen jelentős időfüggő viselkedéssel rendelkeznek (kúszás, feszültségrelaxáció, ciklikus terhelésre adott válasz). Míg fémek esetén a kúszási viselkedés főleg emelt hőmérsékleten jelenik meg, addig a polimer anyagoknál már szobahőmérsékleten is nagymértékű változást tapasztalhatunk [1-3]. A húzó- és hajlító igénybevételeken kívül kiemelten fontos a nyomó igénybevétel. Beszélhetünk felületi, vagy pontszerű nyomó terhelésekről is.

A pontszerű igénybevétel vizsgálatának legjobb módja a keménységmérésből továbbfejlesztett mélységérzékeny benyomódásmérés (DSI) [4-7]. A mérésre kidolgozott MSZ EN ISO 14577 szabvány [8] alapvetően fémekre vonatkozik, de alkalmazhatjuk polimerekre is, ugyanakkor a szabvány 10-35°C közötti vizsgálati hőmérsékletet határoz meg. Ez egyben szűk és tág vizsgálati tartomány is polimer anyagok esetén, mivel akár 7°C is okozhat egy nagyságrendnyi változást a tulajdonságokban. A terhelőerő-tartomány és benyomódási mélység tartománya is meghatározásra kerül, négy szintet tudunk elkülöníteni, ezt az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Keménységméréseknél alkalmazott terhelések és benyomódási mélységek fémekre vonatkoztatva [8]

	Erőtartomány	Benyomódási mélység
Keménységmérés	2 N – 30000 N	> 0,02 μ m
Mikro-keménységmérés	< 2 N	< 0,02 μ m
Ultramikro-keménységmérés	1 mN – 500 mN	10 nm
Nano-keménységmérés	0,01 mN – 30 mN	0,1 nm

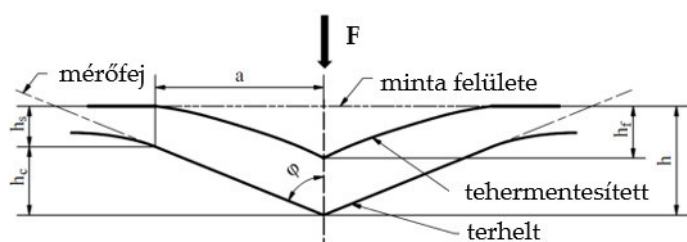
A mérés elvi vázlatát az 1.a ábra szemlélteti. Az 1-es tételszámú mérőfejet állandó benyomódási vagy terhelési sebességgel a mintába nyomja a mérőeszköz, majd ha elért egy előre meghatározott maximális erőt vagy deformációt, akkor



1. ábra: a) A mérés elvi vázlata, 1–mérőfej, 2–minta, 3–alátámasztás; b) a jellegzetes benyomódási görbe [4]

megegyező sebességgel kiemeli. A mérőberendezés a terhelőerőt a benyomódási mélység függvényében regisztrálja, és felveszi a benyomódási görbét (1.b ábra). Nagy előnye az eljárásnak, hogy a benyomódási mélység rögzítésével az optikai vizsgálatok kiválthatók, és a kiértékelés akár teljesen automatizálható. A mérések elvégzéséhez különböző mérőfejeket alkalmazhatunk, akár klasszikus keménységmérőfejeket (Vickers, Berkovich), vagy nem szabványos geometriájú mérőfejeket (kúp, gömb, piramis, laposvégű) [9]. Nano-tartományban atomerő-mikroszkóp is alkalmazható a vizsgálatok elvégzésére [10].

A méréssel meghatározható a dinamikus keménység, azaz a felterhelési szakasz bármely pontjában, az adott erő és mélység adatok alapján kiszámítható. Megjegyzendő, hogy a lenyomat átlójából számított, illetve a benyomódási mélységből meghatározott értékek között eltérés tapasztalható, hiszen a lenyomat a leterhelést követően sekélyesedik, de a lenyomat átlója változatlan marad. Emellett érdemes figyelembe venni az anyag mérőfej alatti lehajlását (h_s) is a mérések kiértékelésekor (2. ábra).

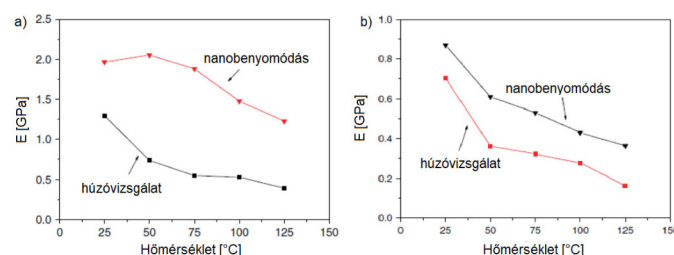


2. ábra: Az anyag deformációja Vickers-fej esetén terhelt, illetve terheletlen állapotban [5]

A leterhelési görbe maximális benyomódási pontjához tartozó meredeksége alapján az anyag benyomódási rugalmassági modulusa is kiszámítható. Továbbá a képlékeny alakváltozásra fordított munka ($W_{képl}$ [J]) és a rugalmas feszültségtér energiája (W_{rug} [J]) is meghatározható a görbe alatti területtől [5, 7]. Rideg anyagok esetén pedig meghatározható a törési szívósság közelítő értéke a lenyomat sarkaiból kiinduló repedés hosszából [11].

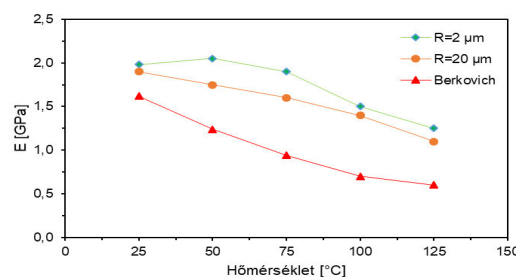
Az eljárás egyre jobban elterjedt fémek [12, 13] és polimer anyagok [6, 9] esetén is. A kis benyomódási mélységeknek köszönhetően vékony minták, mint például vékonyfilmek [14-15] és bevonatok [16] is eredményesen vizsgálhatók ezzel az eljárással. Kiemelten hasznos az eljárás a nanokompozitok területén [17], segítségével a nanoméretű töltőanyagok eloszlása is feltérképezhető. A mérés jól kombinálható kúszásvizsgálatokkal is [6, 18]. Polimer anyagok vizsgálatánál, az időfüggő

viselkedés mellett kiemelten fontos a hőmérsékletfüggést is elemezni, hiszen már kis hőmérsékletváltozás is nagy hatással lehet az anyag viselkedésére [1-3, 19]. Ennek ellenére a benyomódásmérés hőmérsékletfüggésével csak kevés kutatás foglalkozik. Alapvetően elmondható, hogy a hőmérséklet növekedésével mind a keménység, mind a benyomódási rugalmassági modulus változik [20-22], és az üvegesedési átmeneti hőmérsékletnél ugrás tapasztalható. Seltzer és társai [23] nano-benyomódásméréssel kapott eredményeiket vetették össze húzóvizsgálatból származó eredményekkel. A rugalmassági modulus változását elemezték növelt hőmérsékleteken (3. ábra), poliamid 6 (PA6) és politetrafluoretilén (PTFE) anyagokon. Látható, hogy a két méréssel kapott eredmények összhangban vannak, mindkét esetben az anyag mechanikai tulajdonságai romlottak a hőmérséklet növekedésével, ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a két mérési eredmény összehasonlítása kérdéseket vet fel.



3. ábra: PA6 (a) és PTFE (b) rugalmassági modulus összehasonlítása benyomódási mérésekből, illetve szakítóvizsgálatból számítva [23]

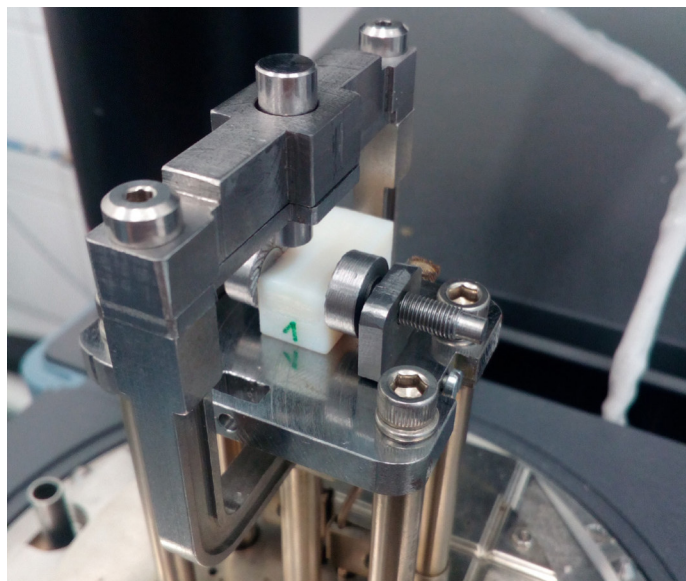
A szerzők a benyomófej geometriájának a benyomódási rugalmassági modulusra gyakorolt hatását is elemezték PA6 anyagon. Azt tapasztalták, hogy a gömb mérőfejjel nagyobb rugalmassági modulusot kaptak ugyanazon mérési paraméterek mellett, ami várható eredmény, hiszen eltérő kontaktfelületek keletkeznek ezekben az esetekben. Ami érdekes, hogy emelve a hőmérsékletet, az eltérő geometriájú (Berkovich és gömb) mérőfejek közötti különbség fokozatosan növekedtek (4. ábra).



4. ábra: A benyomófej geometriájának vizsgálata eltérő hőmérsékletek mellett, PA6 anyag esetén [23]

Látható, hogy a benyomódásmérés rengeteg lehetőséget tartogat magában, jól alkalmazható pontszerű terhelések elemzéséhez, valamint anyagfejlesztésben is nagy jelentőséggel bír, mint vizsgálati módszer. Előnye, hogy magában hordozza a keménységmérés egyszerűségét, kis anyagszükségletét, valamint kiváltható az optikai vizsgálat, amellyel az emberi hiba kiszűrhető és pontosabb eredményeket kaphatunk. A mérési eljárással hosszútávú tulajdonságok is vizsgálhatók, elemezhető a kúszás vagy akár a feszültségre relaxáció. Ugyanakkor polimer anyagok esetén a hőmérsékletfüggés kevésbé vizsgált, holott ennek kiemelt jelentősége van.

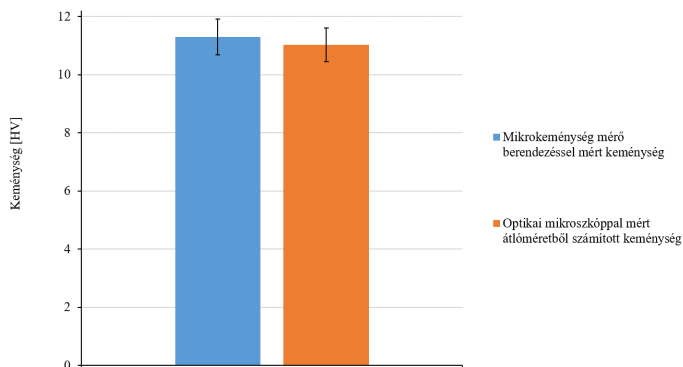
Feltárva ezt a hiányosságot, jutottunk arra, hogy érdemes a hőmérsékletfüggést részletesebben elemezni. Ennek érdekében egy Dinamikus Mechanikai Analizátor (DMA) készülékhez terveztünk mérőfeltétet (5. ábra), amellyel lehetőség nyílik széles hőmérséklet-tartományban vizsgálatokat végezni statikus vagy ciklikus terhelés mellett is. A mérőfeltét úgy lett kialakítva, hogy a mérőfejek cserélhetők legyenek, így azok változtatása, összehasonlítása is megoldható [24].



5. ábra: Saját tervezésű mérőfeltét benyomódásmérés végzésére DMA berendezésben

A validáláshoz Vickers-típusú mérőfejet alkalmaztunk, a terhelőerő-tartományt 0,5 N és 18 N között állítottuk be, ezzel a DMA terhelhetőségi tartományát lefedtük. A lenyomatokat optikai mikroszkóppal elemeztük, vizsgáltuk, hogy azok szimmetrikusak-e. Emellett Buehler típusú mikrokeménységmérő berendezésen végeztünk méréseket, majd összehasonlítottuk az eredményt a DMA feltéttel végzett mérések eredményeivel. Ebben az esetben a terhelőerő 0,981 N volt, és a terhelést

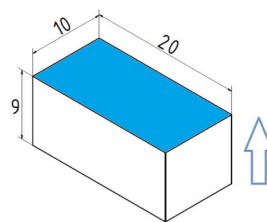
5 másodpercig tartottuk fent, majd a lenyomatot optikai mikroszkóppal mértük meg. Az eredmények azt mutatták, hogy a mérőfeltét jól alkalmazható, a mért keménységértékek közel azonosak lettek (6. ábra). Az előmérések során azt tapasztaltuk, hogy a hőmérséklet, illetve a nedvességtartalom növelésével csökken a keménység [25].



6. ábra: Mikrokeménység értékek összehasonlítása

2. Mérések bemutatása

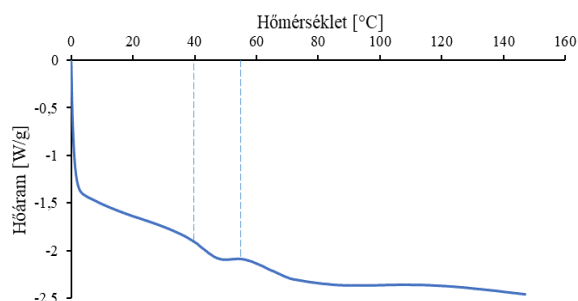
A méréseket PolyJet technológiával előállított, epoxi alapú fotopolimer (FullCure, RGD720) próbatesteken végeztük. A próbatestek gyártásához Alaris 30 típusú PolyJet (Objet Geometries Ltd., Izrael) berendezést használtunk. A próbatestek geometriáját a 7. ábra mutatja be. A méréseket a kék színnel jelölt felületen végeztük, amely az építési irányt tekintve a legutoljára elkészült, felső réteg volt.



7. ábra: A mérések során alkalmazott próbatestek geometriája

A hőmérsékletfüggés elemzéséhez az előméréseinket kiegészítettük, a keménységmérés meghatározásához 1 N terhelőerőt alkalmaztunk, amelyet 5 s-ig tartottunk fenn. Különböző hőmérsékleteken végeztünk méréseket, majd a benyomódási mélységből határoztuk meg a keménység értékeit. A szobahőmérsékleten (25°C), illetve 0°C-on végzett mérések esetén a hőmérsékleteket folyékony nitrogén segítségével lehet DMA berendezésben fenntartani. A szobahőmérséklet feletti mérési pontokat az alapanyag üvegesedési átmeneti hőmérsékletéhez (T_g) képest választottuk ki. A T_g hőmérsékletet differenciális pásztázó kalorimetria (DSC)

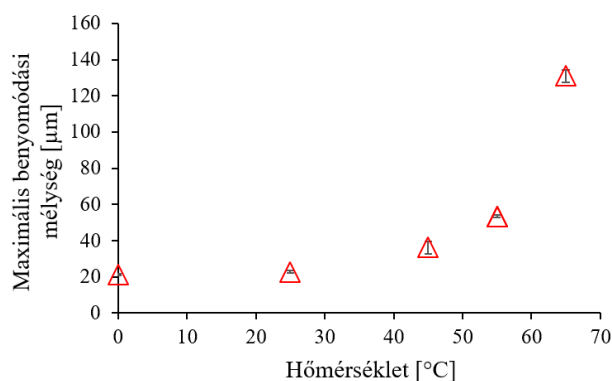
méréssel határoztuk meg, ennek tartománya: 40-55°C (8. ábra). Ezen tartományon belül (45°C), a felső határértékén (55°C) illetve az üvegesedési átmeneti tartomány felett, 65°C-on végeztünk méréseket.



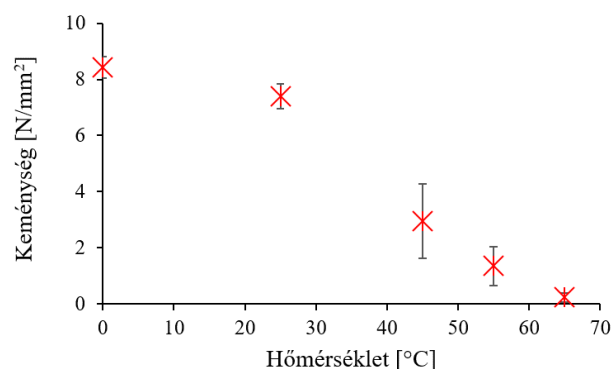
8. ábra: A mérések során alkalmazott próbatestek geometriája

3. Eredmények

A mérések során megvizsgáltuk, hogy 1 N terhelőerő mellett mekkora maximális benyomódási mélységet kapunk. A 9. ábrán jól látható, hogy 0 és 25°C között szinte alig van változás, majd azt egy fokozatos növekedés követi. T_g felett pedig nagy ugrás tapasztalható a benyomódási mélység értékében. A benyomódási mélységből számított keménység értékeken is jól látható ez a tendencia (10. ábra). A hőmérséklet növekedésével a keménység fokozatosan, majd ugrásszerűen lecsökken T_g felett. Meg kell jegyezni, hogy míg a benyomódási mélységeknél nem számottevő a szórás, addig a keménységértékeknél ez jóval nagyobb. Ezzel is alátámasztható, hogy ehhez a mérési eljáráshoz kiemelten fontos a mérések számának megfelelő megválasztása. Az is látható, hogy a legnagyobb szórásértékek az üvegesedési átmeneti tartományban születtek. A mérési eredményeink alátámasztják, hogy a hőmérséklet-változás polimer anyagok esetében már akár 10°C esetén is jelentős eltérést eredményezhet.



9. ábra: Maximális benyomódási mélységek eltérő hőmérsékleten



10. ábra: A keménység változása a hőmérséklet függvényében

4. Összefoglalás

A benyomódásmérés egyre szélesebb körben terjed el polimer anyagok vizsgálatához is. Előnye a klasszikus keménységméréssel szemben, hogy az optikai vizsgálat elhagyható, a benyomódási mélységből kiszámítható a keménység, a benyomódási görbe leterhelési szakaszából pedig az anyag rugalmassági tulajdonságairól is visszajelzést kaphatunk. Bár a hőmérsékletfüggés kevésbé vizsgált, az eredményeink alapján látható, hogy már kis különbségek is jelentősen befolyásolhatják a mérési eredményeket. Az üvegesedési átmeneti hőmérséklet-tartományban kifejezetten nagy jelentősége van, hiszen ez egyes polimerek esetében akár az alkalmazási hőmérsékleti-tartományba eshet.

Kutatásunk további célja ennek a viselkedésnek a széleskörű feltárása, valamint az időfüggő viselkedéssel való összevetése.

5. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak, amely munkánkat támogatta az NKFIH Alapból, az „Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra” (NVKP_16-1-2016-0022) című projekt keretében.

A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIH által nyújtott TKP2020 NKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-NKA).

A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIH által nyújtott TKP2020 IKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-IKA-NAT)

Irodalomjegyzék

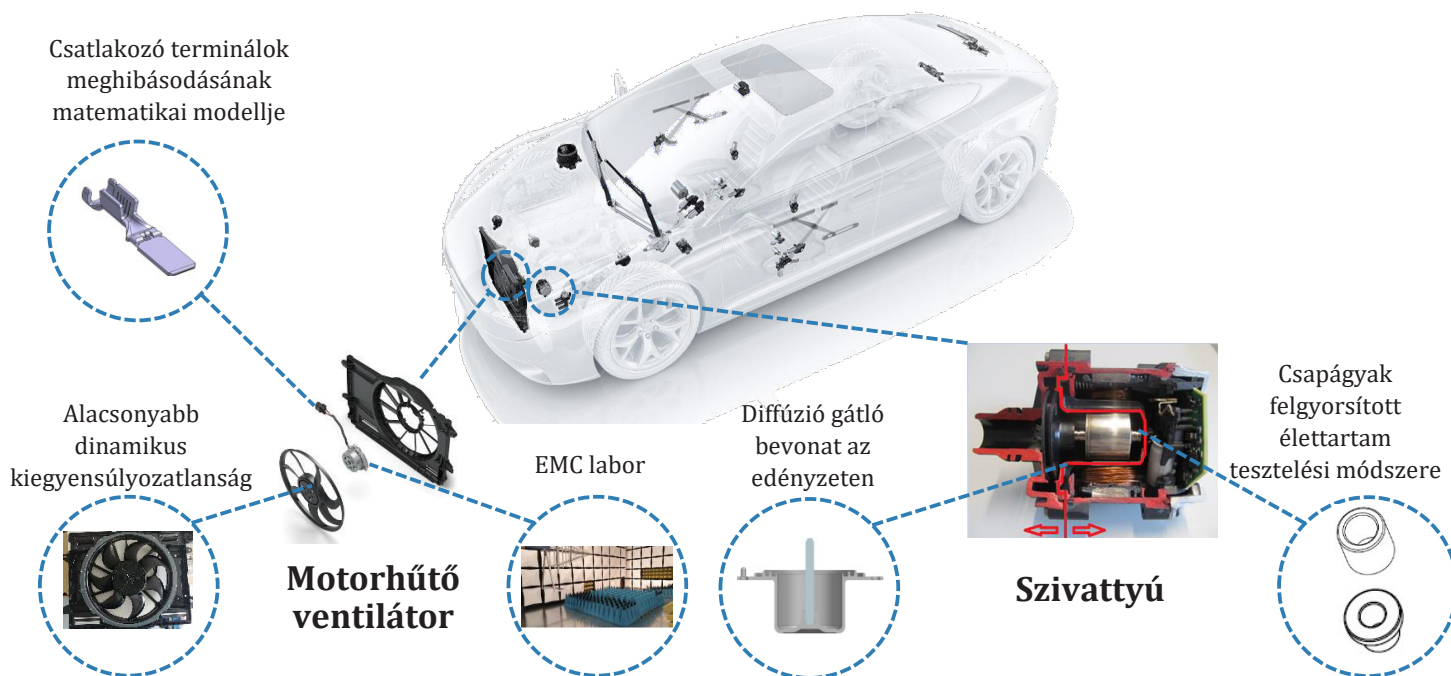
- [1] Ursumcev, Ju. Sz., Maksimov, R. D., A Műanyagok Alakváltozása. Műszaki Könyvkiadó, 1982.
- [2] Szakács, H., Varga, Cs., Nagy R., Polimerek Méréstechnikája. Pannon Egyetem, 2002.
- [3] Bodor, G., Vas, L. M., Polimer Anyagszerkezetten. Műegyetemi Kiadó, 2005.
- [4] Oliver, W.C., Pharr, G.M., An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. J. Mater. Res. 7. 1992, 1564–1583. <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564>
- [5] Oliver, W.C., Pharr, G.M.: Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. Journal of Materials Research 19. 2004, 3–20. <https://doi.org/10.1557/jmr.2004.19.1.3>
- [6] Nagy, P. M.: "Viszkoelasztikus Szerkezeti Polimerek Tömbi És Felületi Mechanikai Tulajdonságainak Vizsgálata Benyomódási Méréstechnikával." PhD értekezés, 2007.
- [7] Gubicza, J., Juhász, A.: Mechanikai Tulajdonságok Meghatározása a Mélységérzékeny Vickers-Keménységmérés Módszerével. Bányászati és kohászati lapok. Kohászat 130, 1997, 315-18.
- [8] MSZ EN ISO 14577 , Fémek. A keménység és az anyagjellemzők műszeres, benyomódásos rendszerű mérése. 2015.
- [9] Alisafaei, F., Han, C.-S.: Indentation Depth Dependent Mechanical Behavior in Polymers. Advances in Condensed Matter Physics 2015, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2015/391579>
- [10] Chen, J.: Nanobiomechanics of living cells: a review. Interface Focus. 4, 20130055. 2014, <https://doi.org/10.1098/rsfs.2013.0055>
- [11] Lach, R., Antonova Gyurova, L., Grellmann, W.: Application of indentation fracture mechanics approach for determination of fracture toughness of brittle polymer systems. Polymer Testing 26, 2007, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.08.006>
- [12] Riccardi, B., Montanari, R.: Indentation of metals by a flat-ended cylindrical punch. Materials Science and Engineering: A 381, 2004, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.04.041>
- [13] Xiao, X., Yu, L.: Nano-indentation of ion-irradiated nuclear structural materials: A review. Nuclear Materials and Energy 22, 100721. 2020, <https://doi.org/10.1016/j.nme.2019.100721>
- [14] Tsui, T.Y., Oliver, W.C., Pharr, G.M.: Nanoindentation of Soft Films on Hard Substrates: The Importance of Pile-Up. Spring meeting of the Materials Research Society (MRS), San Francisco, CA (United States), 1996. április 8-12.
- [15] Tang, X., El-Hami, A., El-Hami, K., Eid, M., Si, C.: Elastic properties of single-walled carbon nanotube thin film by nanoindentation test. Sci Rep 7, 11438. 2017, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11722-y>
- [16] Kumar, A., Nayak, S.K., Banerjee, A., Laha, T.: Multi-scale indentation creep behavior in Fe-based amorphous/nanocrystalline coating at room temperature. Materials Letters 283, 2021, 128768. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128768>
- [17] Chen, J., Beake, B.D., Bell, G.A., Tait, Y., Gao, F.: Investigation of the nanomechanical properties of nylon 6 and nylon 6/clay nanocomposites at sub-ambient temperatures. Journal of Experimental Nanoscience 11, 2016, 695–706. <https://doi.org/10.1080/17458080.2015.1136847>
- [18] Oyen, M.L., Cook, R.F., Emerson, J.A., Moody, N.R.: Indentation responses of time-dependent films on stiff substrates. J. Mater. Res. 19, 2004, 2487–2497. <https://doi.org/10.1557/JMR.2004.0308>
- [19] Richeton, J., Ahzi, S., Vecchio, K.S., Jiang, F.C., Adharapurapu, R.R.: Influence of temperature and strain rate on the mechanical behavior of three amorphous polymers: Characterization and modeling of the compressive yield stress. International Journal of Solids and Structures 43, 2006, 2318–2335. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.06.040>
- [20] Rettler, E., Kranenburg, J.M., Hoepfner, S., Hoogenboom, R., Schubert, U.S.: Verification of Selected Key Assumptions for the Analysis of Depth-Sensing Indentation Data. Macromol. Mater. Eng. 298, 2013, 78–88. <https://doi.org/10.1002/mame.201200094>
- [21] Calleja, F. J. B., Cruz, C. S., Arche, A. G., Cabarcos, E. L.: Temperature Dependence of Microhardness and Structure of Ferroelectric Copolymers of Vinylidene Fluoride. J Mater Sci 27, 1992, 2124-30.
- [22] Dikencik, G., Gündüz, G.: Temperature Dependence of Hardness of Weakly Cross-Linked Poly(Methyl Methacrylate) Network Formed by Late Addition of the Cross-Linker. Chemical Engineering Communications 193, 2006, 526–535. <https://doi.org/10.1080/00986440500192170>
- [23] Seltzer, R., Kim, J.-K., Mai, Y.-W.: Elevated temperature nanoindentation behaviour of polyamide 6: Nanoindentation behaviour of polyamide 6. Polym. Int. 60, 2011, 1753 1761. <https://doi.org/10.1002/pi.3146>
- [24] Kotroc L., Bakonyi P.: Pontszerű terhelésre alkalmas mérőfeltét tervezése DMA berendezéshez. in 'OGÉT 2018, XXVI. Nemzetközi Gépészeti Konferencia Marosvásárhely, Románia. 2018.04.26–2018.04.29, 5 (2018)
- [25] Kotroc L., Bakonyi P.: Pontszerű terhelés vizsgálata egyedi mérőfeltéttel DMA berendezésben. in 'XXVII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia Nagyvárad, Románia. 2019.04.25–2019.04.28, 292-295 (2019)

Sikeres K+F együttműködés az ipar és a kutatóhelyek között

A Robert Bosch Energy and Body Systems Kft. konzorciumi partnereivel, a Miskolci Egyetemmel és a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-vel a Széchenyi 2020 program keretében elnyert támogatás segítségével sikeresen valósított meg a **„E-mobility Miskolcra: Hűtővíz keringető szivattyú és motorhűtő ventilátor továbbfejlesztése az elektromos járművekben elvárt magasabb minőségi követelmények figyelembevételével”, GINOP-2.2.1-15-2017-00090 projektet.** A projekt eredményei alapján jelentős előrelépés tehető az elektromos vagy hibrid meghajtású járművek által támasztott követelményeknek való megfelelés, és az ezekhez szükséges hosszabb élettartamot vizsgáló tesztelés időtartamának csökkentése tekintetében.

A projekt keretében a következő generációs, a gépjárművek hűtőkörében működő keringető szivattyúkhoz és motorhűtő ventilátor egységekhez fejlesztettek új műszaki megoldásokat a partnerek annak érdekében, hogy azok élettartama a jövőbeni elektromos vagy hibrid meghajtású járművek követelményeinek is megfeleljenek. A fejlesztések eredményeként új vizsgálati módszerek, új technológiai megoldások és elméleti modellek születtek, amelyek támogatják a hosszabb élettartamra történő tervezési és gyártási folyamatokat.

A technológiai előrelépés mellett a projekt eredményeként a konzorcium tagjainál új, az elektromobilitáshoz kapcsolódó kutatás-fejlesztési kapacitások és kompetenciák is létrejöttek, valamint új eszközöket és berendezéseket is vásároltak. Ezenfelül a projektnek köszönhetően Miskolcon új kutatási területeken lett lehetőségük a szakembereknek dolgozni, valamint a következő generációs termékek Miskolcon tervezett szériagyártása közvetlen mérnöki támogatással valósulhat meg. Ezen túlmenően tovább erősödött a vállalat és a kutatási szféra együttműködése.



A Zr-1%Nb ötvözet magas hőmérsékletű oxidációjának modellezése anyagvizsgálati módszerek alapján

Barsy Eszter^a, Hózer Zoltán^b

^aEnergiatudományi Kutatóközpont, tudományos segédmunkatárs, barsy.eszter@ek-cer.hu

^bEnergiatudományi Kutatóközpont, laborvezető, hozzer.zoltan@ek-cer.hu

Absztrakt

A Paksi Atomerőműben jelenleg használt fűtőelem burkolat Zr-1%Nb ötvözetből készült, melynek egy újabb változatát tervezi bevezetni a gyártó. Az Energiatudományi Kutatóközpontban az elmúlt években számos kísérletet végeztünk az új ötvözet vizsgálatára. A kísérleti eredményeket felhasználva készítettünk egy programot, ami azt számolja, hogy tervezési üzemzavar esetén lejátszódó folyamatok során hogyan viselkedik ez a burkolat.

Kulcsszavak

Burkolat, cirkónium, E110G, oxidáció, LOCA

1. Bevezetés

A Paksi Atomerőműben a fűtőelem pálcá jelenleg használt burkolata E110 jelű cirkónium ötvözetből készül, ami normál üzemi körülmények között nagyon jól ellenáll a korróziónak. A burkolat gyártója új ötvözetet vezet be, amelyre az E110G elnevezést használjuk. Ennek normál üzemi korróziós tulajdonságai lényegében megegyeznek az E110-zel, magas hőmérsékletű vízgőzben mért oxidációs kinetikája azonban kedvezőbb.

Az Energiatudományi Kutatóközpontban az elmúlt években számos kísérletet végeztünk az új ötvözet vizsgálatára. Többek között magas hőmérsékletű vízgőzös oxidációnak is alávetettük az E110G-t, hogy vizsgálhassuk a hűtőközegvesztéses üzemzavar (LOCA) hatását a burkolatra. LOCA során a fűtőelem szárazra kerül, magas hőmérsékleten és növekvő belső nyomáson felfűvódhat és felhasadhat a legmelegebb szakaszon. A cirkónium mindeközben reagál a magas hőmérsékletű vízgőzzel, cirkónium-dioxid és hidrogén keletkezik.

Jelen kutatásunkban azt vizsgáljuk, hogy a LOCA során lokálisan felfűvódott és felhasadt fűtőelem-burkolat inhomogén oxidációja és tulajdonságainak ebből származó megváltozása hogyan viszonyul ahhoz, ami a LOCA-ra vonatkozó biztonsági előírások teljesülésénél alkalmazott „egyenletes felfűvódás” feltételezéséből következne. Ezt oly

módon tettük, hogy készítettünk egy szimulációt, ami kiszámolja, hogy a felhasadás után hogyan jut be a vízgőz a burkolat alá, és a nem egyenletesen felfűvódott és felhasadt burkolat hogyan oxidálódik (mindkét oldalán), valamint ez hogyan befolyásolja a teherbíró képességét. Az eredményeket összevetettük kísérleti adatokkal és a számításokban feltételezett egyenletes felfűvódásra vonatkozó eredményekkel, amikre a kritériumok vonatkoznak.

2. Elméleti háttér

2.1 A burkolat oxidációja

A vízhűtésű atomerőművekben normál üzemelés során a burkolatok kis mértékben oxidálódnak. A VVER típusú atomerőművekben (például Pakson) a fűtőelem felületén az élettartama során mintegy 10 µm vastag oxidréteg keletkezik. Üzemzvari körülmények között azonban a fűtőelemek cirkónium burkolata magas hőmérsékletű vízgőzben oxidálódhat, ami több nagyságrenddel gyorsabb oxidációt jelenthet. A fém szilárdsága és képlékenysége az oxidáció előrehaladtával csökken a fém mennyiségének csökkenése és a kémiai változások miatt.

A hűtőközegvesztés (pl. primer köri csőtörés) okozta üzemzavar (LOCA) az egyik legfontosabb tervezési üzemzavar, így az elmúlt évtizedek során több nemzetközi kutatás vizsgálta a burkolatanyagok oxidációját vízgőzben. A cirkónium magas hőmérsékleten vízgőz jelenlétében képes oxidálódni, miközben hidrogént fejleszt.

A burkolat oxidációjának mértékét az ECR (Equivalent Cladding Reacted avagy Ekvivalens Elreagált Burkolat, a fém eredeti vastagságának eloxidálódott hányada) mennyiséggel jellemezzük, ami megadja, hogy a fém eredeti tömegének/vastagságának hány százaléka alakult át cirkónium-dioxiddá, azzal a feltételezéssel, hogy csak sztöchiometrikus oxid keletkezik. A kritikus oxidációfok, ami fölött a burkolat elridegedik, az oxidáló atmoszféra összetételén és az oxidáció időtartamán

kívül a hőmérséklettől és a burkolat hidrogénfelvételétől is függ [1].

A 800°C fölött kezdődő fázisátalakulás a fémbe jelentősen megváltoztathatja az oxidáció kinetikáját. Szobahőmérsékleten a cirkóniumban a sűrű illeszkedésű hexagonális α fázis dominál, az a stabilabb alacsony hőmérsékleten. Összetételtől függően általában 800°C fölött (tisztá cirkónium esetén 866°C-on, ötvözettől függően akár jóval ezalatt) megkezdődik a fém átrendeződése a tércentrált köbös β kristályrácsba. Ez az átrendeződés nem csökkenti ugyan az ötvözet képlékenységet, azonban a β fázis eltérően viselkedik az oxigénnel, a hidrogénnel és az ötvözőkkel, elsősorban a nióbiummal szemben.

A β fázisban (ami 900°C fölött stabilabb) az oxigén oldhatósága igen csekély, így amint az oldott oxigén mennyisége elérte a 0,7 tömeg%-os határt, megkezdődik az oxigén-stabilizált α fázisba való átalakulás, ami sokkal kisebb teherbíró képességgel rendelkezik. Az oxigén egyre beljebb diffundál a fémbe és feltölti azt. Először szuboxidok alakulnak ki, majd amint az oxigén aránya eléri a 30 tömeg%-ot, kialakul a ZrO_2 . Ennek köszönhetően háromrétgű szerkezet jön létre, a felületen az oxidréteg, a fém határfelület közelében szuboxidokkal, utána egy oxigén-stabilizált α cirkónium-fázis következik, belül pedig az alacsony oxigéntartalmú β fázisú fém marad.

2.2 Oxidációs kritérium

A 17 ECR%-os oxidációs kritériumot 1973-ban az amerikai Nuclear Regulatory Commission (US NRC) elődje fogalmazta meg [2]. A kritérium azt hivatott biztosítani, hogy egy LOCA végén a fűtőelemek gyors lehűtése (hirtelen vizes elárasztás, quench) során a burkolat még megőrizze szerkezeti integritását, vagyis a részben oxidálódott fűtőelem még képes legyen ellenállni a gyors lehűtésekor fellépő hősokknak (ami főleg az oxidáció és a hidrogénfelnyelés mértékétől függ), valamint a későbbi mozgás során se törjön szét, hűthető maradjon a geometria.

A kritérium alapjául szolgáló kísérletekhez burkolat gyűrűket oxidáltak vízgőzben, amit gyors vizes lehűtés követett. Az így előkészített gyűrűket 135°C-on gyűrűtörő vizsgálatnak vetették alá és meghatározták a képlékeny-rideg átmeneti tartományt. A képlékeny burkolatról kijelenthető, hogy nem tud olyan – a rideg állapotra jellemző – módon sérülni, ami a zónában hűthetőségi problémát okozna.

Ezért a rideg állapot elkerülését célozták az első kritériumok.

A gyűrűk metallográfiai vizsgálatai alapján sikerült azonosítani azokat a szerkezeti változásokat, amik az elridegedéshez vezettek. Az egyik ilyen paraméter például az oxidáció során képződött oxid- és α -réteg együttes, a burkolat eredeti vastagságához viszonyított relatív vastagsága volt, ami 0,44 fölött jelzett rideg állapotot.

A hatósági kritérium bevezetésének előkészítésekor kiderült, hogy az említett relatív rétegvastagságok előrejelzése meglehetősen bonyolult. Ezért egy olyan oxidációs állapot került a kritériumba, ami a 0,44 relatív oxid+ α rétegvastagságot konzervatívan lefedte. A számításhoz a Baker-Just oxidációs kinetikai korrelációt használták. A gyűrűtörési vizsgálatok szerint a 17 ECR% oxidációfok alatti minták megfelelően képlékenyek maradtak.

Mivel a kísérleti eredményekben a konzervatív Baker-Just korrelációval számolt oxidációfok szerepelt, ezért a kritérium teljesítésének vizsgálatakor is ezzel a korrelációval kellett számolni. A kritérium megfogalmazásakor feltételezték, hogy a különböző cirkónium ötvözetek magas hőmérsékletű vízgőzös oxidációjának kinetikája nem tér el lényegesen egymástól, ami az akkori nyugati gyakorlatban szereplő ötvözetekre (Zircaloy-2 és Zircaloy-4) fennállt. Idővel ismertté vált, hogy a Baker-Just korreláció 900°C-nál magasabb hőmérsékleteken hajlamos jelentősen, akár 20-30%-kal is túlbecsülni az oxidáció mértékét. 1989-ben ezért a US NRC nagyobb mennyiségű ismeretanyag alapján a hatósági útmutatóban már elfogadta a Cathcart-Pawel best-estimate oxidációs modell alkalmazását 1040 °C fölötti hőmérsékletekre a tömegnövekedés számítására. Az így számolt oxidációfokra továbbra is a 17 ECR%-os korlát maradt érvényben, a korreláció alkalmazásának azonban az a feltétele, hogy kísérletekkel támasszák alá, hogy a burkolat valóban képlékeny marad a megfelelő oxidációfokig, valamint hogy a számítások bizonytalanságait is vegyék figyelembe a kritérium teljesítése szempontjából. Az amerikai oxidációs korlátot a legtöbb ország nukleáris hatósága kisebb módosításokkal átvette.

2.3 Magyar szabályozás

A Nukleáris Biztonsági Szabályzat harmadik kötet [3] tartalmazza a Magyarországon, tervezési üzemzavarok esetére érvényes oxidációs kritérium értékét:

„Az oxidáció mértéke – a teljes burkolatvastagság hányadában kifejezve – sehol sem haladhatja meg a 17%-ot. Oxidáció mértéke alatt a teljes rétegvastagságnak azt a hányadát értik, amely oxiddá alakulna át, ha az összes lokálisan elnyelődött oxigén ZrO_2 keletkezésére vezető reakcióban használná el. A teljes oxidáció meghatározásánál mind a külső, mind pedig a lehetséges belső oxidációt figyelembe veszik.”

A hazai szabályozás a kritérium számértékét tekintve követi az eredeti amerikai kritériumot, amely a burkolat eredeti geometriájára vonatkozott, azaz nem számol a felfúvódással. A magyar szabályozásban ugyanakkor nincs meghatározva, hogy az eredeti vagy a felfúvódott geometriára kell-e kiszámolni az ECR értékét. A Paksi Atomerőmű LOCA üzemzavaraira végzett biztonsági elemzésekben a számított ECR érték konzervatívan a burkolat aktuális, azaz esetleg felfúvódott méreteire (átmérő, falvastagság) vonatkozik.

Ha a hazai szabályozás figyelembe venné a felfúvódott geometriát, akkor a kritériumban is hangsúlyozni kellene, hogy az oxidáció mértékét a burkolat kerülete mentén átlagolt értékből kell meghatározni, hiszen a felhasadásnál a burkolat elvékonyodása olyan mértékű lehet, hogy vékony oxidréteg is nagymértékű lokális oxidációt eredményez.

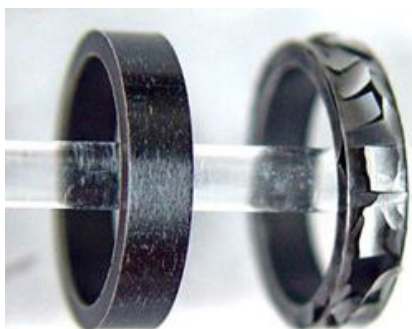
3. Vizsgálati eredmények

3.1 Az ötvözetek

Az új orosz E110G cirkónium burkolatanyag geometriai jellemzőit tekintve megegyezik az E110-zel, anyagi összetételét tekintve is hasonló (1. táblázat).

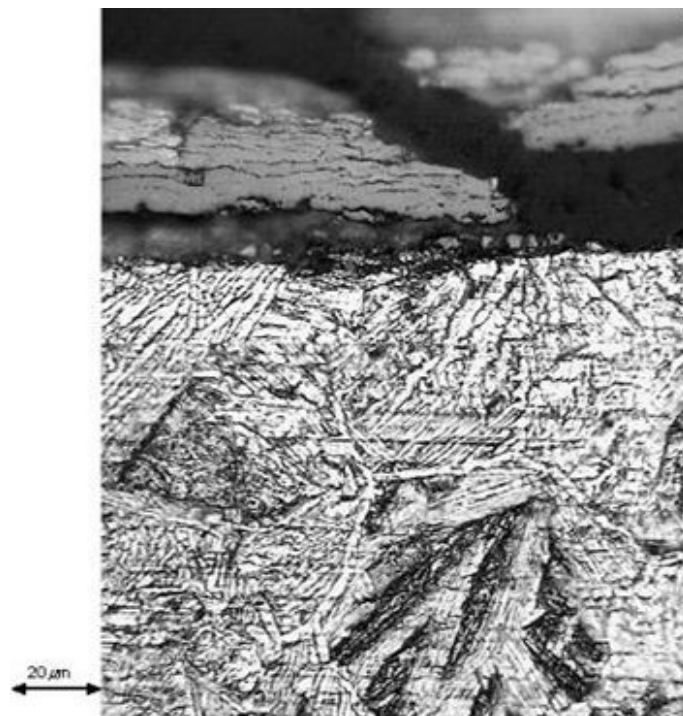
1. táblázat: A régi és az új burkolat összetétele (tömeg ppm)

	Nb	Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Hf
E110G	10000	1,5	10	35	30	5	500	15	5	10
E110	10000	0,5	0,5	1	10	0,1	45	15	0,5	100



1. ábra: E110G (bal) és E110 (jobb) burkolatok azonos oxidációs körülmények után

Az Energiatudományi Kutatóközpontban számos oxidációs és felfúvódásos kísérletsorozatot végeztek mindkét burkolatanyaggal. Az eredmények azt mutatták, hogy eltér az oxidációs kinetikája az új E110G-nek, így új egyenletekre volt szükség az oxidréteg vastagság és oxigén tömegnövekedés számolásához [4]. Ugyanolyan körülmények között oxidálva 800°C fölött az új burkolaton kompakt, míg a régin leváló (ún. breakaway) oxidréteg látható (1-2. ábra).



2. ábra: Metallográfás felvétel a leváló oxidrétegről egy E110 minta felszínén

3.2 Szekunder hidridizációs kísérletek

Az inhomogén oxidációs jelenséget nagyon jól meg lehetett figyelni az ún. szekunder hidridizációs kísérleteinkben [5], ahol a pálcá felhasadása közben a burkolat elvékonyodott, majd vízgőzös elárasztáskor a külső és a belső felülete is oxidálódott a felhasadás környezetében (3. ábra).

A kísérletek első fázisában a 302 mm hosszúságú, Al_2O_3 tablettákkal feltöltött modellpalcát 800°C-on, illetve 750°C-on inert atmoszférában a csökemencében felfűtöttük, majd a pálcá belső nyomását – minden kísérlet során egységesen – 0,08 bar/s nyomásnövekedési sebességgel növeltük úgy, hogy mindenképp bekövetkezzen a felhasadás.

A kísérletek következő fázisában a mintadarab hőmérsékletét – néhányszor 10 perc időtartam



3. ábra: E110G mintadarab a szekunder hidridizációs kísérlet után

alatt – az oxidáció hőmérsékletére (1000°C, 1150°C) növeltük. A hőmérsékleti egyensúly beállta után a mintadarabokat előre meghatározott időtartamig ezen hőmérsékleten vízgőzben oxidáltuk. Ekkor a minták teljes külső felületükön és a felhasadáshoz közeli belső oldalukon is oxidálódtak, valamint a keletkező hidrogén is reakcióba lépett a burkolattal (szekunder hidridizáció). Az oxidációs időket tág határok között – 120 és 3600 s között – változtattuk. A kemencében elhelyezkedő mintadarabot ezután argon gázáramban, illetve quench-eléssel hűtöttük le.

A felhasadt és oxidált mintadaraboknak (3. ábra) lemértük a geometriáját majd 4-pontos hajlítás során vizsgáltuk a teherbírásukat. Ezután következett a minták műgyantás kiöntése és axiális darabolása a további vizsgálatokhoz:

- metallográfiás felvételek alapján meghatároztuk a rétegvastagságokat (α , β , oxid),
- prompt gamma aktivációs analízissel és forró extrakciós eljárással megállapítható volt a cirkónium és a benne elnyelt hidrogén aránya,
- a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM-IXRF EDX) jó képet adott az oxigén radiális eloszlásáról.

3.3 Modellalkotás

Ahogy már említettük, LOCA során a hűtőközeg-vesztés miatt a pálca felmelegszik, a belső nyomása nagyobb lesz, mint a külső, ezért felfúvódik és kihasad. Mindeközben, a hűtőközezből származó vízgőz oxidálni kezdi a burkolatot.

A modellünk [6] abból az állapotból indul, ahol a pálca már felfúvódott és felhasadt, a külső és belső nyomás kiegyenlített. A kezdőpontunk az időben tehát az, amikor a burkolat geometria nem változik tovább, magas a hőmérséklet és az oxidáció éppen megkezdődik. A modellezett minta egy 1 cm-es szelete a felfúvódott pácának, közvetlenül a felhasadás közepén.

A felhasadt burkolat felületén a vízgőzből oxigén és hidrogén lesz, amelyek aztán tovább reagálnak a fémmel. Ez a folyamat két szálla bontható, hiszen míg a burkolat külső felülete a kezdő időpontban

már oxidálódni kezd, addig a belső felületéhez be kell diffundálnia a vízgőznek a résen keresztül, ami egy késleltetést ad a belső oldali oxidációnak. A modell az elnyelt hidrogén hatásait nem tartalmazza.

Az oxigén az új kinetikával [4] leírva oxidálja a fémet, egyre beljebb diffundálva, miközben fázisátalakulást indukál a cirkóniumban: a növekedő oxigéntartalom miatt a β fázisból oxigén-stabilizált α fázis lesz (aminek sokkal kisebb a teherbíró képessége), majd az α -réteg telítődik és oxidréteggé válik. A fázishatárok (oxigén határkoncentrációk) és a diffúzió is hőmérsékletfüggő, illetve a diffúzió sebessége az adott fázistól is függ. Az idő előrehaladtával kialakul egy jellegzetes radiális oxigénkoncentrációprofil [7, 8].

Ez az oxigénprofil azimutálisan (a kerület mentén) más és más, mivel a felfúvódás inhomogén, nem egyforma a burkolat felhasadás utáni falvastagsága, ezért az oxidáció sem lesz egyenletes.

A modellünkben kétféle diffúziót is számolunk (vígőz és oxigén), amik különböznek sebességben és diffúziós hosszban is, ezért kétféle időlépést használtunk: a vízgőz diffúziója 0,003 másodperces lépésekben történt, míg az oxidáció és oxigén diffúzió 0,0003 másodpercesekben.

A fém oxidációja során még egy dolgot figyelembe kell venni, ami a Pilling-Bedworth szabály: a fénoxid térfogata nagyobb lesz, mint az eredeti féme, és az arányuk 1,51. Ezt a folyamatos térfogatváltozást a modellben leegyszerűsítettük, és az oxidáció során csak a fázishatár koncentrációkat szoroztuk meg vele, a rétegvastagságokat pedig csak a számolás legvégén.

A Fortran 95 nyelvben írt modell az alábbi értékeket számolja:

- a fém belső oldali oxidációjának időkésltetése a gőz beáramlásának véges sebessége miatt,
- gőz koncentráció,
- radiális oxigén diffúzió,
- lokális ECR értékek,
- rétegvastagságok (α , β , oxid),
- teljes tömegnövekedés.

3.4 Modellszámítások

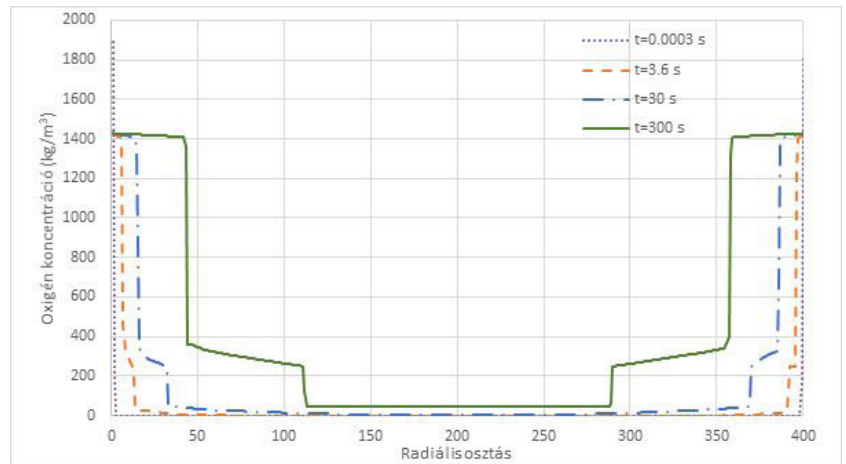
A számításokat hat különböző esetre végeztük el, amelyek különböző geometriai elrendezésekre, hőmérsékletekre és időtartamokra vonatkoztak. Az első számítás a felhasadás előtti, eredeti geometriával történt, négyet a szekunder hidridizációs kísérletek alapján készítettünk (ebből két esetben homogén felfűvódást feltételezve), az utolsó pedig egy fiktív erőművi esetet tartalmazott: a burkolat inhomogén oxidációja a Paksi Atomerőmű fűtőelemeiben olyan üzemzavarok során léphetne fel, amikor a burkolat felfűvódásakor az eredeti csőméret megváltozik, majd a felhasadást követően a fűtőelembe gőz jut be és a cirkónium burkolat mindkét felülete oxidálódik. Ilyen folyamat a tervezési üzemzavarok között nincs, a burkolat ugyanis még a legkedvezőtlenebb 200%-os hideg ági primer köri csőtörés során sem hasadhat fel. Ugyanakkor érdekes megvizsgálni, hogy egy ilyen üzemzavar alatt milyen mértékű lenne az oxidáció, ha bekövetkezne a felhasadás.

Az első esetben ellenőriztük, hogy megjelenik-e az eredményekben a jellegzetes radiális oxigén-eloszlás profil [8]. A 4. ábrán látható a profil időbeli fejlődése, vagyis ahogy az idő előrehaladtával az oxigén egyre beljebb jut a burkolatban, így kialakítva különböző szerkezeti rétegeket. A kapott értékek jól megfeleltethetők a kísérleti adatoknak (5. ábra).

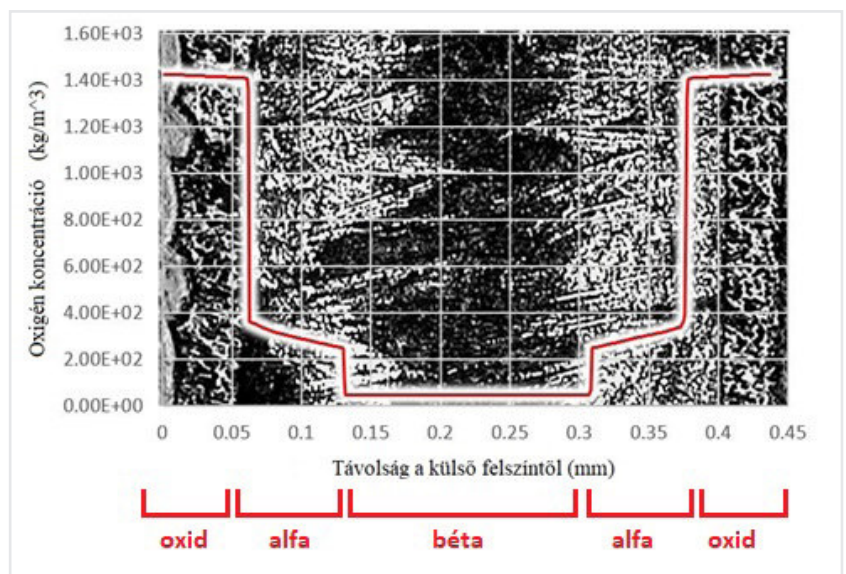
3.5 A modellezés eredményei

Számításaink célja az volt, hogy megvizsgáljuk a különböző kapott lokális és átlagos ECR értékeket, miként viszonyulnak egymáshoz és a 17 ECR%-os határhoz (6. ábra):

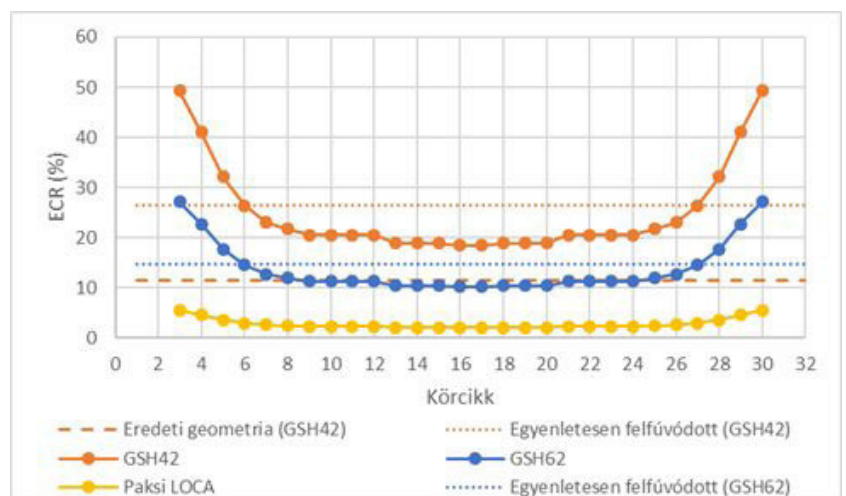
- az egyértelmű, hogy a felfűvódott burkolat nagyobb mértékben oxidálódik, mint a normál gyári geometriájú, hiszen nagyobb felületen oxidálódik,
- az inhomogén oxidációval kapcsolatban azt a következtetést vonhatjuk le, hogy több helyen is nagyobb lokális ECR értékeket kapunk, ha nem



4. ábra: Az oxigén radiális eloszlásának változása időben



5. ábra: A különböző rétegek vastagságára számítással kapott eredmények összevetése a kísérleti minta metallográfiás képével



6. ábra: ECR értékek különböző számítások esetén (a GSH42 és GSH62 görbék a szekunder hidridizációs kísérletek szimulációi)

homogén a felfűvódás,

- a fiktív felhasadással módosított erőművi LOCA során, még inhomogén felfűvódást figyelembe véve sem olyan jelentős az oxidáció, hogy a 17 ECR%-os határ fölé menjen az oxidáció mértékének lokális értéke,
- bizonyos esetekben a homogén eset határérték alatti, míg az inhomogén eset határérték feletti ECR-t ad eredményül.

Összességében tehát pontosabb képet kapunk az oxidációról, ha az inhomogén felfűvódást is figyelembe vesszük az oxidáció mértékének számolásakor. Indokolt az inhomogén felfűvódás figyelembe vétele az oxidációs kritérium számolásakor, mivel vannak olyan esetek, amikor az egyenletes felfűvódásra számolt átlagos oxidációfok határérték alatti ugyan, de a valós lokális értékek meghaladják azt.

4. Összefoglalás

Atomerőművi fűtőelem burkolatokkal végzett szekunder hidridizációs kísérletek utóvizsgálatai alapján (metallográfia, négy pontos hajlítás, forró extrakció, SEM-EDX) megállapítottuk többek között a keletkező oxidréteg vastagságát, az oxigén eloszlását a fémben, valamint a minták teherbíró képességét.

A kísérleti eredményeket felhasználva készítettünk egy modellt, ami számolja, hogy a felhasadás után hogyan jut be a vízgőz a burkolat alá, és az inhomogén módon elvékonyodott, felfűvódott és felhasadt burkolat hogyan oxidálódik (mindkét oldalán), valamint ez hogyan befolyásolja a teherbíró képességét. A megírt program segítségével kiszámoltuk különböző geometriákra és esetekre az oxidáció mértékét. Eredményeinkből egyértelműen kiderül, hogy jelentősen eltérnek a lokális értékek a homogén és inhomogén oxidáció esetén. Vizsgáltuk a burkolat teherbíró képességének változását is különböző esetekben, és azt tapasztaltuk, hogy a burkolat képlékenységeinek megőrzésében döntő szerepet játszó β -réteg az erőművi tervezési LOCA baleset

során az inhomogén oxidáció következtében sem vékonyodik el annyira, hogy az a burkolat rideg sérüléséhez vezessen.

A program nagy előnye, hogy tetszőlegesen továbbfejleszthető, így a jövőbeni terveink között szerepel például tranziens üzemállapotok számolása, valamint a modell axiális kiterjesztése, hogy a pálcák teljes hosszukban szimulálhatók legyenek. A geometriai paraméterek is könnyen változtathatók, így eltérő geometriájú, például vékonyabb falú pálcák viselkedése is számolható.

Irodalomjegyzék

- [1] Z. Hózer, Cs. Győri, L. Matus, M. Horváth: Ductile-to-brittle transition of oxidized Zircaloy-4 and E110 claddings, *Journal of Nuclear Materials*, 373, 2008, pp. 415-423
- [2] D.O.Hobson: Ductile-brittle behavior of Zircaloy fuel cladding, *Proceedings of the ANS Topical Meeting on Water Reactor Safety*, Salte Lake City (1973) 274.
- [3] Atomerőművi üzemanyag tervezése, A3.6v4. sz. útmutató, OAH (2018)
- [4] M. Király, K. Kulacsy, Z. Hózer, E. Perez-Feró, T. Novotny, High-temperature steam oxidation kinetics of E110G cladding alloy, *J. Nucl. Mater.* 475 (2016) 27-36
- [5] E. Kozsda-Barsy, K. Kulacsy, Z. Hózer, M. Horváth, Z. Kis, B. Maróti, I. Nagy, R. Nagy, T. Novotny, E. Perez-Feró, A. Pintér-Csordás, L. Szentmiklósi: Post-test examinations on Zr-1%Nb claddings after ballooning and burst, high-temperature oxidation and secondary hydriding, *Journal of Nuclear Materials* 508 (2018) 423-433
- [6] E. Barsy, P. Szabó, K. Kulacsy, Z. Hózer: The non-uniform high-temperature oxidation of Zr-1%Nb cladding – A numerical model, *Progress in Nuclear Energy*, Volume 133, 2021, 103613, ISSN 0149-1970
- [7] M. Négyesi, T. Chmela, T. Veselsky, J. Krejčí, L. Novotny, A. Příbyl, O. Bláhová, J. Burda, J. Siegl, V. Vrtílková: Assessment of oxygen diffusion coefficients by studying high-temperature oxidation behaviour of Zr1Nb fuel cladding in the temperature range of 1100–1300 °C, *Journal of Nuclear Materials* 456 (2015) 211–219
- [8] G. Hache, H. M. Chung: The history of LOCA embrittlement criteria, *NUREG/CP-0172* (2001) 205-237.

Mindennapi törésmechanika – Méret és repedésterjedéssel szembeni ellenállás hatásának elemzése

Dudra Judit^a, Erdei Réka^b, Tóth László^c

^aBay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, vezető kutató, judit.dudra@bayzoltan.hu

^bBay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, junior kutató, reka.erdei@bayzoltan.hu

^cnyugalmazott egyetemi tanár, laszlo.toth@bayzoltan.hu

Absztrakt

A mérnöki szerkezetek biztonságos üzemeltethetősége szempontjából a legveszélyesebbek az anyagfolytonossági hibák. Ezeket repedésszerű hibáknak tekintve, hatásuk a törésmechanikai (TM) elvek alkalmazásával értékelhetők. A legkonzervatívabb módszerek, a lineárisan rugalmas törésmechanikai elvek alkalmazása kellő biztonságot nyújtanak a megengedhető repedésméret meghatározására. Mivel a számításoknál minden esetben a $K=σf(a, \text{geometria})$ függvényt használjuk, így célszerű azonnal elvégezni az „érzékenységi elemzéseket” is mind a szerkezet geometriai paraméterei, mind pedig az anyagjellemző, a törési szívósság tekintetében. Az így kapott általánosabb kép számos gyakorlati következtetésre ad lehetőséget.

Abstract

The detection of a crack-like defect in any engineering structural element raises one fundamental question: the relative (comparing with the ligament) crack size and (crack) growth resistance (i.e. uncertainty of material property) are functions of the assessment procedure, conclusions. Since only the K value at the crack tip should be used in the calculations, it is strongly recommended to immediately perform a sensitivity analysis of the reliability assessment for both the size effect and the fracture toughness of the materials. This is illustrated by the worked out example.

Kulcsszavak

törésmechanika, biztonság, érzékenység elemzés, mérethatás, törési szívósság hatása

Keywords

fracture mechanics, safety assessment, sensitivity analysis, size effect, effect of fracture toughness

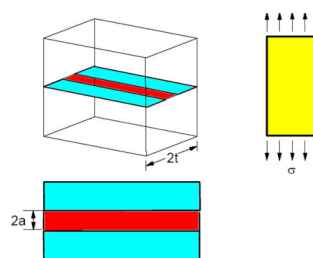
1. Bevezetés

Napjaink általános matematikai szoftverei (Mathcad, MAPLE stb.) már ingyenesen is elérhetők, különösen a „diák”-változatok. Ezek ugyanolyan

segédprogramként használhatók, mint a Microsoft más alapprogramjai (Word, Excel stb.). Amennyiben egy mérnöki szerkezetben repedésszerű hibát detektálnak, azonnal számos kérdésre kell választ adni, méghozzá nagyon rövid időn belül. Hogy melyek ezek a kérdések és hogyan érdemes nagyon gyorsan megválaszolni, egy kidolgozott példával illusztráljuk.

2. Húzott lemez belső repedéssel

Tekintsük az 1. ábrán látható, belső repedést tartalmazó kvázistatikus terhelésű húzott lemezt, rudat. A $2t$ vastagságú lemezben a piros színnel jelzett $2a$ hosszúságú átmenő repedést detektálták. A $σ$ húzóterhelés a repedés síkjára merőleges.



1. ábra: Kvázistatikus terhelésű húzott lemez belső repedéssel [1]

A törésmechanikában, annak gyakorlati alkalmazásában nem járatos szakemberek többnyire „pánikba esnek”, hiszen „*a szerkezetben repedésszerű hiba nem engedhető meg!*” Ha valaki mégis „akadémizál”, akkor a döntéshozó csak annyit mond, hogy „*mutasd azt a szabványt, amelyikre hivatkozni lehet!*” Mivel konkrét esetekre nincs kidolgozott olyan szabvány, amelyet direkt módon alkalmazni lehet, elindul egy olyan döntéshozatali folyamat, amely mindenképpen időt és költségeket igényel. Az alapvető irányok a következők:

- Az észlelt **hibát el kell távolítani** és a **szerkezetet javítani kell** (általában köszörülés és hegesztéssel történő javítás). Ha a szerkezet hatósági felügyelet alá tartozik, akkor el kell készíteni a megfelelő dokumentációt és engedélyeztetni kell a megfelelő szinten. A detektált repedésszerű hiba ilyen

módon való kezelése általános ipari gyakorlat (sajnos). Időigénye, gazdasági hatása könnyen felmérhető (állásidő meghosszabbodása, újabb tevékenységek beiktatása, munkabéreköltségek emelkedése, stb...), és még ráadásul nem is biztos, hogy a szerkezet biztonsága növekedett (pl. a hegesztéssel előidézett maradó feszültségek növekedése miatt).

- Az észlelt **hiba várható hatását értékelni kell**, majd ennek ismeretében meghozni a szükséges intézkedéseket.

A hiba várható hatásának értékelése [1-4] kapcsán a bevezetésben érintett, rövid idő alatt megválaszolható kérdések a következők:

- Milyen törésmechanikai modellt alkalmazzunk?

A válasz egyszerű: a legkonzervatívabbat, azaz azt, amelynél a szerkezetben a terhelés során felhalmozódó rugalmas energia teljes egészében a repedés megnövelésére fordítódik. Ez pedig a lineárisan rugalmas törésmechanika, amelyben a repedéscsúcs környezetében kialakuló viszonyokat a ***K* feszültségintenzitási tényező** jellemzi.

- Hol találom meg az adott esetre vonatkozó képletet a feszültségintenzitási tényező számítására? Válasz: INTERNETEN-en, kézikönyvekben[4-7], felkeresem azt, akinél feltehetően megvan. Jelen esetben használható kifejezés a következő [5]:

$$K = \frac{1 - 0.025 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + 0.06 \left(\frac{a}{t} \right)^4}{\sqrt{\cos \left(\frac{\pi a}{2t} \right)}} \sigma \sqrt{\pi a} . \quad (1)$$

A matematikai szoftvercsomagba ezt az egyetlen képletet kell csupán begépelni, mivel

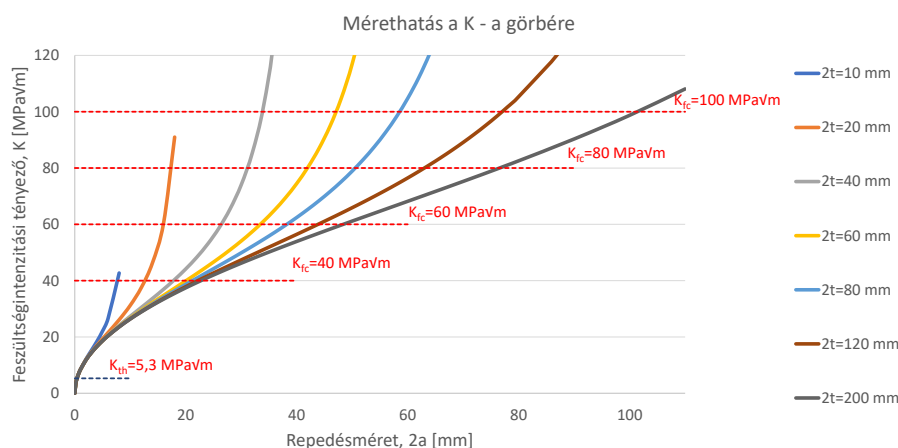
- a *t* félvastagság (félszélesség) paraméterezhető,
- a σ terheléssel a *K* értéke lineáris kapcsolatban van.

- Milyen hatással van a lemez vastagsága (szélessége) a kritikus repedéshosszokra?
- Milyen hatással van az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállása, azaz a törési szívóssága a kritikus repedéshosszokra?
- Milyen az együttes hatás, ha a lemez vastagsága és a törési szívósság együttesen változik?

- Milyen nagyságú az a repedéshossz, amely egy 0- σ ismétlődő terhelés mellett növekedésnek indulna, és ez hogyan függne a lemez vastagságától (szélességtől)?

A műszaki és gyakorlati vonatkozású kérdéseket még hosszasan lehetne sorolni, de azt hangsúlyozni kell, hogy újabb képletek begépelésére nincs szükség, azaz minden felsorolt kérdésre választ kaphatunk, méghozzá percek alatt!

A számításokat állandó terhelés ($\sigma=210$ MPa) mellett végeztük különböző lemezszélességekre ($2t=10, 20, 40, 60, 80$ és 100 mm). Ezek alapján a 2. ábrán látható feszültségintenzitás értékeket kaptuk a repedésméret függvényében, ahol a lemez szélességi méretének hatása figyelhe-



2. ábra: A repedés csúcsánál ébredő feszültségintenzitási tényezők értékei a repedés síkjára merőleges $\sigma=210$ MPa terhelésnél

tő meg a feszültségintenzitási tényező értékére. Látható, hogy 2-3 mm-ig a repedések teljesen egymáson futnak, így a minimális terjedőképes repedésméret értékei is azonosak (lásd pl. az 1. ábrát, ahol egy kb. 0,4 mm hosszúságú repedés csúcsában a lemez szélességétől függetlenül azonos, kb. 5,3 MPa√m a feszültségintenzitási tényező értéke) azonban megfigyelhető, hogy a 40 MPa√m-hez tartozó kritikus repedésméret már nagy eltérést mutatnak. Mivel a feszültségintenzitási tényező, a *K* értéke a terhelő feszültséggel (σ) lineárisan arányos, eltérő feszültség esetén a 2. ábra görbéi a függőleges tengely mentén módosulnak.

A 3. ábrán megrajzott görbék már figyelembe veszik a törési szívósság, a K_{IC} hatását is $40 \leq K_{IC} \leq 100$ MPa√m tartományban.

Amennyiben egy repedésszerű hibát észlelnek az adott szerkezetben, esetleges hatását az a viszony szám érzékelteti meggyőzően, hogy mennyire kell átrepedni ahhoz, hogy a katasztrofális törés

bekövetkezzen, az instabil repedésnövekedés meginduljon. Erre igyekszik rámutatni az 1. táblázat.

Az 1. táblázatban összefoglalt adatok alapján szerkesztett 4. ábrán látható a kritikus repedésméret és lemezszélesség aránya különböző törési szívósság esetén.

Ugyancsak könnyen szerkeszthető (kirajzolható) a kritikus repedésméret és lemezszélesség aránya különböző méretű lemezekre a törési szívósság függvényében (5. ábra).

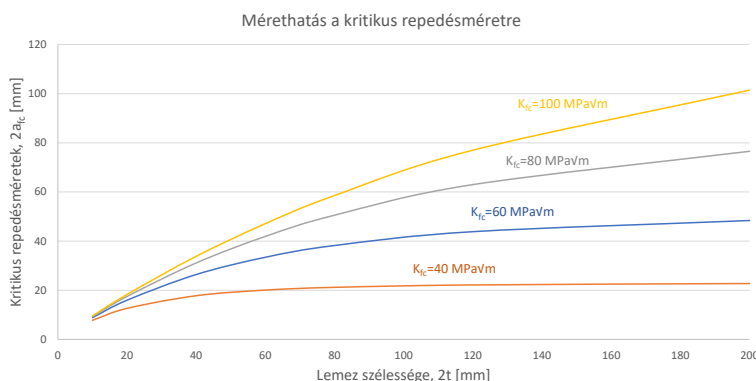
A 2-5. ábrák „iskola-példái” annak, hogy nem több mint 1 órás munkával, egy egyszerű képlet egyetlen begépelésével és alapvető matematikai programcsomag felhasználásával milyen sok műszaki következtetésre lehet jutni. Az ábrákra csupán rápillantva is azt mondhatjuk, hogy a „detektált” repedésszerű hiba várható hatását először mindenképpen értékelni kell és nem a javítással kell foglalkozni! Akik nem így gondolkodnak, azoknak sajnos számottevő szakmai hiányosságai vannak és jelentős gazdasági károkat okozhatnak.

3. Gyakorlati megállapítások

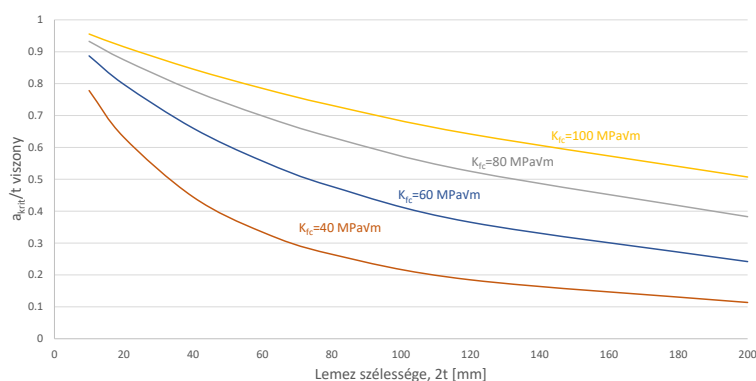
A kidolgozott számpéldák eredményei alapján számos GYAKORLATI következtetésre juthatunk. Ezeket nem kívánjuk részleteiben is bemutatni. Csupán érzékeltetni szeretnénk, hogy egy relatíve kis befektetéssel és minimális szoftverismerettel milyen, a gyakorlatban is jól használható következtetésre lehet jutni egy, az adott szerkezeti elembe detektált repedésszerű hiba várható hatásának értékelése során. A rövid következtetéseket az ábrák sorszáma hivatkozva tesszük meg.

1. táblázat: Az átrepedés aránya a lemez szélessége ($10 \leq 2t \leq 200$ mm) és a törési szívósság ($40 \leq K_{Ic} \leq 100$ MPa $\sqrt{m}$) függvényében $\sigma = 210$ MPa terhelőfeszültség esetén

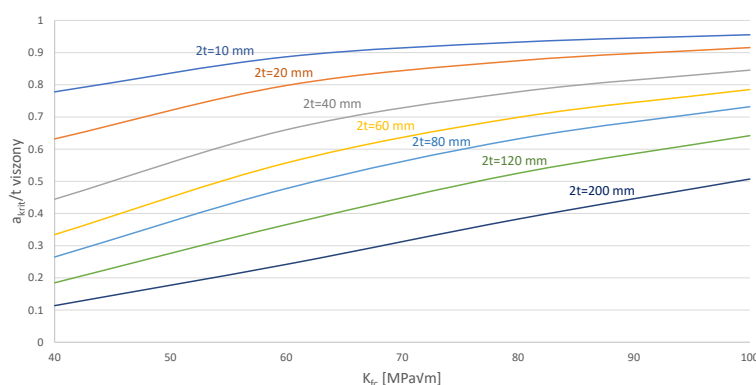
Lemez szélessége	Minimális terjedő-képes repedés	$K_{Ic} = 40$ MPa $\sqrt{m}$		$K_{Ic} = 60$ MPa $\sqrt{m}$		$K_{Ic} = 80$ MPa $\sqrt{m}$		$K_{Ic} = 100$ MPa $\sqrt{m}$	
		Töréshez tartozó repedés fele	Arány	Töréshez tartozó repedés fele	Arány	Töréshez tartozó repedés fele	Arány	Töréshez tartozó repedés fele	Arány
2t [mm]	$2a_{th}$ [mm]	$2a_{krit}$ [mm]	a_{krit}/t [%]	$2a_{krit}$ [mm]	a_{krit}/t [%]	$2a_{krit}$ [mm]	a_{krit}/t [%]	$2a_{krit}$ [mm]	a_{krit}/t [%]
10	0,4	7,8	77,8	8,9	88,7	9,3	93,2	9,6	95,6
20	0,4	12,6	63,2	16,0	79,8	17,5	87,5	18,3	91,6
40	0,4	17,8	44,5	26,4	66,0	31,1	77,8	33,8	84,6
60	0,4	20,1	33,4	33,4	55,7	41,9	69,9	47,1	78,5
80	0,4	21,2	26,6	38,2	47,8	50,5	63,2	58,6	73,2
120	0,4	22,2	18,5	43,8	36,5	63,0	52,5	77,0	64,2
200	0,4	22,7	11,4	48,4	24,2	76,6	38,3	101,4	50,7



3. ábra: A kritikus, azonnali törést okozó repedésméret a lemez szélességének függvényében $\sigma = 210$ MPa terhelőfeszültség és a törési szívósság $40 \leq K_{Ic} \leq 100$ MPa $\sqrt{m}$ tartományában



4. ábra: A kritikus repedésméret és lemezszélesség aránya különböző törési szívósság esetén $\sigma = 210$ MPa terhelőfeszültségnél



5. ábra: A kritikus repedésméret és lemezszélesség aránya különböző lemezszélességeknél a törési szívósság függvényében $\sigma = 210$ MPa terhelőfeszültségnél

2. ábra: Az ábrára pillantva a két legfontosabb következtetés az alábbiakban fogalmazható meg:

- Ha a $\sigma=210$ MPa nagyságú terhelés ismétlődő, akkor már egy egészen kicsi méretű repedés ($2a=0,4$ mm) is terjedő képes és biztosan bekövetkezik a törés, függetlenül attól, hogy milyen az elem, a lemez szélessége.
- Minél szélesebb a lemez, annál nagyobb az anyag törési szívósságának a hatása a kritikus repedéshosszra. E megállapítást egyértelműen alátámasztják a K-a görbék meredekségének csökkenése a lemez szélességének növekedésével.

3. ábra: Ugyancsak egyértelműen alátámasztja a geometriai hatás tartományának függését az anyag törési szívósságától.

1. táblázat: A táblázatban feltüntetett adatok, eredmények alapján levonható következtetések:

- A lemez szélességének növekedésével a kritikus repedéshossz aránya fokozatosan csökken. Ennek mértéke azonban függ az anyag törési szívósságától.
- Kisebb szélességű lemeznél a törés csupán akkor következik be, amikor a repedés megközelíti a lemez szélességét, nagyobb méretű lemeznél pedig akkor, amikor már félig, avagy ennél kisebb mértékben is átreped. Az anyag törési szívósságának hatása pedig jelentős lehet, éppen a K-a görbék 1. ábrán látható meredekségének számottevő változása miatt.

4. és 5. ábrák: Gyakorlatilag megerősítik és szemléletessé teszik a 2-3. ábrák és az 1. táblázat alapján levont, a mindennapi GYAKORLATBAN is felhasználható, döntéseket előkészítő következtetéseket.

A cikksorozatot természetes folytatni kívánjuk olyan példák bemutatásával, amelyek rámutatnak a törésmechanikai elvek gyakorlati alkalmazásának lehetőségeire és szükségességére. Egy ilyen példa lehet, hogy annak megválaszolása, hogy azonos szerkezeti elemekben, azonos terhelés esetén a felületi vagy a középen levő összeolvadási hiba a veszélyesebb, avagy a biztonságot változtató hatása függ-e az anyag szilárdságától?

4. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését és a kidolgozott számpéldák eredményeit tekintve az alábbi megállapítások tehetők:

- Egy adott szerkezeti elembe detektált repedésszerű hiba várható hatása előbb értékelendő, mintsem a hiba javítandó! Aki nem így

gondolkodik, az nem tekinthető szakembernek!

- Az 1. pontban tett megállapítás azt a bölcs szemléletet tükrözi, hogy „Ha javítani nem tudsz, akkor legalább ne ronts a szerkezet biztonságán”!
- A repedésszerű hiba várható hatásának értékelésére a legkonzervatívabb törésmechanikai elvet, a lineárisan rugalmas modellt használjuk. Ennek alapelve az, hogy a szerkezetben a terhelés hatására felhalmozott rugalmas energia teljes egészében a repedés terjesztésére fordítódik.
- A legegyszerűbb matematikai szoftvercsomagok üzembiztos használata a műszaki gyakorlatban legalább annyira fontos, mint a gépkezelő vezetői engedély a mindennapi életben!
- Mielőtt hozzákezdünk a hiba várható hatásának értékeléséhez, tegyünk fel magunknak minél több „mi van akkor, ha” kérdést, hiszen ezek mindegyike (döntő hányada) megválaszolható egy jól átgondolt számítási foyamattal.

Irodalomjegyzék

- [1] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika a szerkezetek biztonságos üzemeltethetőségének alapja. Anyagvizsgálók Lapja, A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség Lapja, ISSN: 1215-8410, 2019/IV p.30-41.
- [2] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Belső nyomással terhelt csővezetékek biztonsága. Anyagvizsgálók Lapja, A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség Lapja, ISSN: 1215-8410, 2020/I p.5-10
- [3] L. Tóth., P. Rossmanith: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, A törésmechanika és az anyagvizsgálat története, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01191/index.phtml>
- [4] G. Pluvinage, L. Tóth: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, Törésmechanikai példatár, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01192/index.phtml>
- [5] Formulae for stress intensity factors and plastic loads IWM VERB 7.0, Fraunhofer IWM, Freiburg., 2003
- [6] Defect assessment software IWM VERB, Version 7.7.0, Fraunhofer IWM, Freiburg. 2002
- [7] I. M. Dmytrakh, L. Tóth, O. L. Bilyy, A. M. Syrotyuk: Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentrators, Vol. 13., ISBN 978-966-665-493-2, Lviv, Publishing House (Spolom), 2012

**UT2PA+TOFD FÁZISVEZÉRELT
ULTRAHANG tanfolyam**

Tervezett időpont: 2021. október 11-29.

UT2 minősítésű ultrahangos vizsgálók részére.

A fázisvezérelt vizsgálófejek változtatható hangtér paraméterei lehetővé teszik igényes, különleges vizsgálati feladatok elvégzését több besugárzási szögben egy vizsgálófejjel. A részben illetve teljes egészében elvégzendő mechanikus vizsgálófej mozgatással járó letapogatást egy elektronikus szkennelés és az adatok egyidejű tárolását, az adatok egyidejűleg akár grafikus megjelenítését (B-kép, C-kép Szektor Szken) adja, mint eszközt a PA technológia a vizsgálók kezébe a hiba felismerhetőség olyan pontosságával, amelyet a hagyományos ultrahangos vizsgálatokkal csak nehezen vagy egyáltalán nem lehet elvégezni.

A TOFD (Time of Flight Diffraction, Futásidő Szóródásos Módszer) egy ultrahangos vizsgálati módszer, amelyet a már más UH módszerrel megtalált, elsősorban repedések mérési pontatlanságának csökkentésére fejlesztette ki. Gyakorlatban főként a hegesztési varratokban lévő repedések méret-meghatározására használják.

**RTD2 DIGITÁLIS RADIOGRÁFIA
tanfolyam**

Tervezett időpont: 2021. november 8-19.

RT2 (vagy RT3) végzettségű anyagvizsgálók részére

Az MSZ EN 16407-1:2014 és az MSZ EN 16407-2:2014 szabványok 5.2 pontjai, valamint az MSZEN ISO 10893-6:2011, az MSZ EN ISO 10893-7:2011 és az MSZ EN ISO 17636-2:2013 szabványok 6.9 pontjai előírják, hogy a vizsgáló személyzetnek igazolnia kell a digitális technika kiegészítő tréningjét és a digitális technika alkalmazására szóló minősítését. Az életbelépő (CEN) ISO/TS 25107 útmutató, mely a korábbi ISO/TR 25107 megújított, bővített és lényegében szabvány erősségű utódja már külön kezeli a radiográfián belül a filmes (RT-F), a digitális (RT-D) és a radioszkópos (RT-S) technikát.

**TT 1, 2 INFRAVÖRÖS
TERMOGRÁFIA tanfolyam**

Tervezett időpont: 2022.I. negyedév

Az infravörös termográfia az érintésmentes hőmérsékletmérés roncsolásmentes képalkotó eljárása. Felhasználása igen sokrétű: mérnöki szerkezetek, csővezeték rendszerek, épületek és egyéb építészeti szerkezetek hőszigetelése, továbbá villamos berendezések és kábelek / kötések ellenőrzése, forgógépek diagnosztikája, ipari technológiai folyamatok felügyelete. A sokoldalú eljárás alkalmazható úgy az állapotfelügyelet, a minőség-ellenőrzés, mint a tudományos kutatás területén.

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség

Jártassági vizsgálatok

A minőségirányítási követelményeknek megfelelően, a laboratóriumoknak rendelkezniük kell eljárásokkal a végzett vizsgálatok eredményeinek figyelemmel kísérésére. E feladat teljesítésének egyik módja, ha részt vesznek jártassági vizsgálatokban. A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség 2008 óta szervez jártassági vizsgálatokat, melyek megfelelnek az MSZ EN ISO/IEC 17043:2010 szabvány követelményeinek.

A jártassági vizsgálatok előnyei:

- a matematikai statisztika eszközeivel értékelik a résztvevők vizsgálatainak minőségét,
- esetleges hibáik kijavítási lehetőségeikre is felhívják a figyelmet, ezért
- költséghatékonyan fókuszálni tudnak fejlesztésük témaköreire, továbbá
- lehetővé teszik a vevők és az akkreditáló szervezetek részére a laboratórium szakmai munkájával szembeni bizalom erősítését.

A Nemzeti Akkreditáló Hatóság követelményei előírják, hogy minden laboratóriumnak minden akkreditációs ciklusban legalább egyszer a vizsgálati területein végeznie kell valamilyen jártassági vizsgálatot. A MAROVISZ jelenleg örvényáramos, ultrahangos és mágnesezhető poros vizsgálatra várja az érdeklődők jelentkezését.

Részletek és jelentkezés a MAROVISZ honlapján: www.marovisz.hu

Fejlesztések a jártassági vizsgálatokban

Fücsök Ferenc

MAROVISZ, ffucsok@gmail.com

Absztrakt

Mint azt a minőségirányítási alapelvek rögzítik, a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálat Szövetség (MAROVISZ) a felhasználók érdekében fejleszti a jártassági vizsgálatok minőségét. Ezt a feladatot több kisebb, de lényeges területen folyamatosan végezzük.

A jártassági vizsgálatok értékelése közben kisebb-nagyobb értelmezési problémákkal találkozunk. Egyik ilyen volt a JV07 jelű hegesztési varrat ultrahangos vizsgálata, ahol az ROC diagram meghatározásához használt módszerünk cellamérete rejtetten olyan szigorú tűrést alkalmazott, amit kézi ultrahangos vizsgálattal nem lehetett megvalósítani. Az értékelés eredményének alapján kijelenthetjük, hogy mindegyik cellamérettel végzett értékelésnek van előnye és hátránya.

A matematikusok a vizsgáló teljesítményének jellemzésére ajánlják az ROC görbe alatti terület számítását. Az említett összehasonlító elemzésnél megvizsgáltuk a görbe alatti terület alkalmazását is, és jelenleg úgy látjuk, érzékenyebben, és kisebb hibákkal mutatja be a vizsgálók teljesítményei közti különbségeket. Az elemzés eredményeit a következő jártassági vizsgálatokban használni fogjuk.

A skaláris mérési eredmények megbízhatóságát a mérési bizonytalansággal lehet jellemezni, aminek ismertetését és használatának körülményeit is bemutatjuk.

1. Bevezetés

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (MAROVISZ), mint a laboratóriumok többsége, rendelkezik ISO 9001 szabvány szerinti tanúsítással. A tanúsítás követelményeinek megfelelően szükség van a tevékenységek folyamatos fejlesztésére, így a jártassági vizsgálatok fejlesztésére is. Ebben a cikkben az észlelési feladatok értékelésénél használt módszerek fejlesztésével és a mérési bizonytalanság alkalmazásával kapcsolatos problémákról fogunk beszámolni.

Jelen cikkben nem foglalkozunk a szervezési problémákkal, melyek szintén fejlesztésre szorulnának. Egy példában jelezve: a jártassági vizsgálatban részt vevő laborok a megbeszélrt határidőre mindig

visszaküldik a vizsgált munkadarabokat, de a mérési eredmények elküldéséről gyakorta elfelejtkeznek...

2. A JV07 vizsgálat problémái

A JV07 jelű jártassági vizsgálat értékelésénél olyan problémát találtunk, ami megnehezítette a korrekt eredmény megállapítását. Ennél a vizsgálatnál egy hegesztési varrat kézi ultrahangos vizsgálatát kellett elvégezni olyan varratban, ahol hét darab szikraforgácsolással bemunkált mesterséges reflektor volt. A résztvevők vizsgálati eredményeinek értékelésénél a hegesztési varratot 1 cm hosszú cellákra osztottuk, és azt vizsgáltuk, hogy a résztvevő a cellában megtalálta-e a hiányt vagy sem. Az eredmények azt mutatták, hogy az 1 cm hosszú cellák olyan rejtett tűrési követelményt tartalmaztak, amit a kézi ultrahangos vizsgálattal nem lehetett megvalósítani. Ennek következtében az észlelési valószínűség (POD) és a téves detektálási valószínűség (PFC) számítása értékelhetetlen eredményeket adott, amit a JV07 összefoglaló jelentés nem tartalmazott. Helyette más követelmények szerinti értékelést kellett alkalmazni.

Az azóta elmúlt időben volt módunk, hogy a jellemzők értékelését különböző cella méretekkel elvégezzük, és összehasonlítsuk az eredményeket. A cellák méreteit 2,5 cm, 1 cm és 0,2 cm hosszúságúra vettük fel, és így végeztük a vizsgálati jellemzők számítását.

2.1 A vizsgálati jellemzők

Először nézzük át, hogy melyek azok a jellemzők, melyeket egy észlelési feladat értékelésénél meg szoktunk határozni. Az észlelési valószínűséget (POD) a következő képlettel számítjuk:

$$POD = \frac{PI}{N1} = \frac{PI}{(PI + NH)}, \quad (1)$$

ahol:

- PI = pozitív igaz cellák, azaz a találatok száma.
Magyarázat: helyesen detektált hibás cellák.
- NH = negatív hamis cellák, azaz a nem megtalált hibás cellák száma.
Magyarázat: tévesen nem detektált hibás cellák.
- N1 = az összes hibás cellák száma.

A vizsgálók teljesítményének meghatározásához a téves detektálás valószínűségét (PFC) is ki kell számítani, amit a következő képlettel lehet elvégezni:

$$PFC = \frac{PH}{N2} = \frac{PH}{(PH + NI)}, \quad (2)$$

ahol:

PH = pozitív hamis cellák, azaz a hamis riasztások = tévesztések száma.

Magyarázat: tévesen detektált hibátlan cellák.

NI = negatív igaz cellák, azaz a helyesen elfogadott cellák száma.

Magyarázat: helyesen nem detektált hibátlan cellák.

N2 = az összes hibátlan cellák száma.

A vizsgálók teljesítményét (K) az előbbi két jellemző összevonásával a következő képlettel határozhatjuk meg, feltéve, hogy az ROC görbe hiperbolikus (ROC = Receiver Operating Characteristic = vevő [régén a radar jelek vevője] működési jelleggörbe):

$$K = 1 - 2\sqrt{(1 - POD)PFC}. \quad (3)$$

A K értéke 0 (rossz) és 1 (kiváló) között terjedhet. A 0 értéket a találgató vizsgáló, az 1 értéket a hibátlanul dolgozó, ideális vizsgáló érheti el.

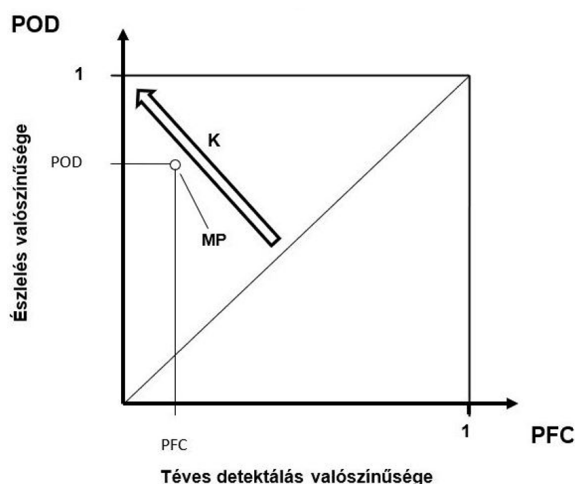
A jártassági vizsgálatokban elvégzendő feladatok statisztikailag kevés mérést tartalmaznak, melyekből az ROC görbét nem lehet meghatározni. Az eddigi jártassági vizsgálatokban a görbének csak egy pontját, a munkapontot határoztuk meg. Ebből az egy pontból pedig nem lehet megállapítani, hogy a görbe hiperbolikus-e. Statisztikusok ajánlása, hogy az ROC görbe alatti terület ennél érzékenyebb és pontosabb eredményt ad a vizsgálók teljesítményéről.

Az ROC diagram származtatását és a munkapont (MP) értelmezését az 1. ábrán mutatjuk be.

A diagramon a vízszintes x tengelyre a téves detektálást, más néven hamis riasztások valószínűségét (PFC) mérjük fel, a függőleges y tengelyre pedig az észlelés valószínűségét (POD). A két koordináta metszéspontjában a munkapont jelenik meg, az ábrán MP kódolja. Az átlóra merőleges, a (0;1) pontba mutató nyíl a K értékét jelképezi, ami nyíl irányában nő.

Ha a görbe több pontját meg tudjuk határozni, akkor a 2. ábrán látható diagramot rajzolhatjuk meg. Az esetek többségében az ROC görbe hiperbolikus, mint az ábrán is látható. Az ábrán a görbe alatti terület (AUC = Area under Curve = görbe alatti terület) értelmezését is bemutatjuk a szürke felülettel.

A görbe alatti terület meghatározása görbe határoló vonal esetén komplikált lehet, de ha csak egy

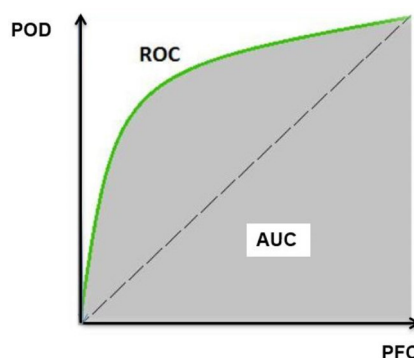


1. ábra: A ROC görbe szerkesztése

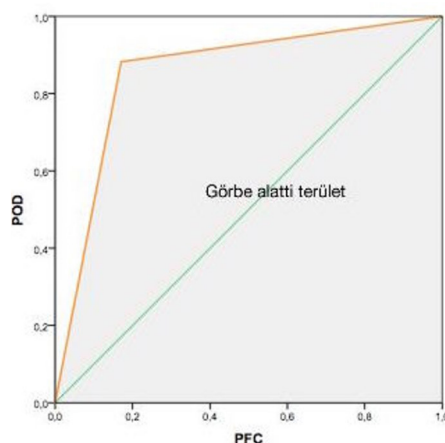
munkapontot tudunk meghatározni, és azt kötjük össze az átló végpontjaival, akkor egy egyszerűbben kiszámítható görbe alatti területet kapunk, mint az a 3. ábrán látható.

Az ábra alapján könnyen belátható, hogy a görbe alatti terület a (0;0) és (1;1) pontok által meghatározott négyzet felének-, és az átló felett látható háromszög területéből adódik össze.

Az ismertetett jellemzők változásait fogjuk vizsgálni a következőkben.



2. ábra: A hiperbolikus ROC görbe, és a görbe alatti területe (AUC)



3. ábra: Görbe alatti terület egy munkaponttal számítva

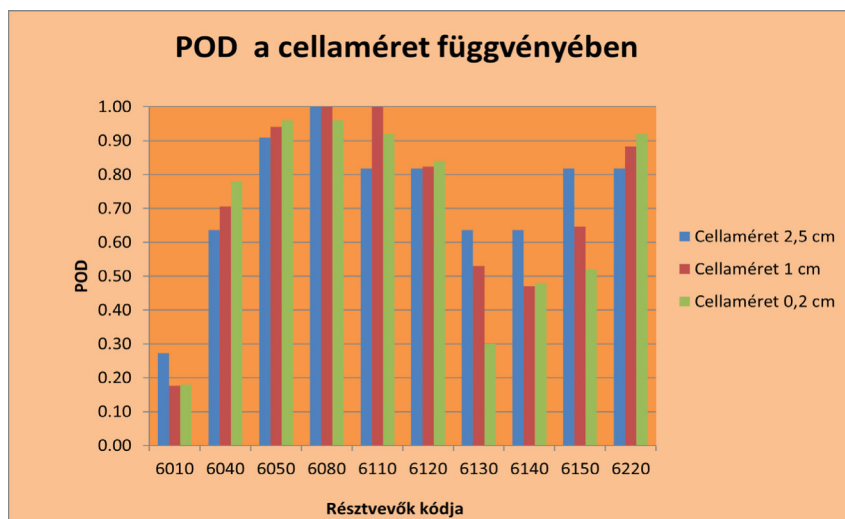
2.2 A számítások eredményei

A fentiekben ismertetett jellemzők változásait értékeltük egy már lezajlott jártassági vizsgálat valódi adataival. A JV07 jelű jártassági vizsgálat 1 jelű próbatestjén elvégzett vizsgálatok eredményeit értékeltük a már említett 0,2 cm, 1 cm és 2,5 cm-es cellaméret alkalmazásával. A következő diagramokban 10 résztvevő eredményeinek változását mutatjuk be a cellaméret függvényében.

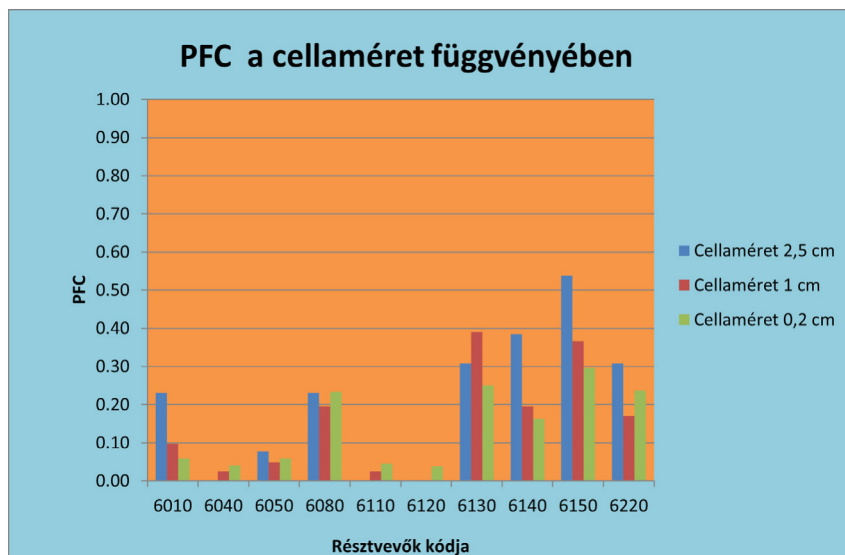
A 4. ábrán bemutatott adatok alapján megállapítható, hogy az értékelésnél használt cellaméretnek nincs egyértelmű hatása az észlelési valószínűség értékére. Van öt olyan résztvevő, akiknek POD értékei 2,5 cm-es cellaméretben jobbak, másik 2 résztvevőnek 1 cm-es cellaméretben jobbak, a maradék három résztvevőnél a legkisebb méret a kedvező. Tehát nincs egyértelmű korreláció a cellaméret és a POD sorrendje között.

A téves riasztás valószínűségének (PFC) értékei sem kapcsolódnak a cellaméret-höz (5. ábra). A (kedvező) legkisebb értékeket három résztvevő érte el 2,5 cm-es cellaméret esetén, de ugyanezen résztvevők POD értékei is ekkor a legkisebbek (kedvezőtlenek). Viszont hat résztvevő PFC értéke a 2,5 cm-es cellaméretnél a legrosszabb. Összefoglalva, nincs határozott korreláció a cellaméret és a PFC sorrendje között.

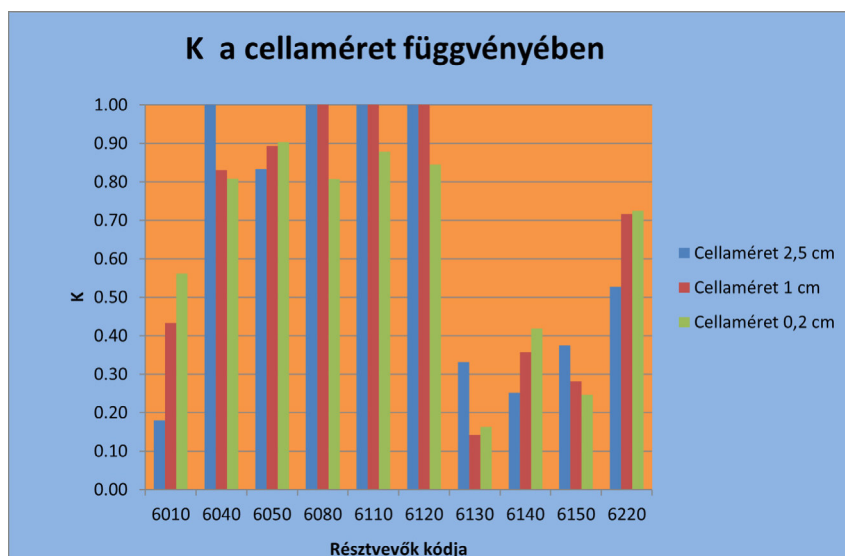
Az összevont jellemző, a K érték elfedi a szélsőséges eseteket (6. ábra), például a kis PFC ellensúlyozza a rossz POD-ot. Ennek legjellemzőbb bizonyítéka, hogy négy résztvevő teljesítményének értéke elérte az elméleti maximumot 2,5 cm-es cellamérettel végzett értékelés esetén. Közülük három az 1 cm-es felosztás esetén is elérte a $K = 1$ értéket, annak ellenére, hogy a POD és PFC értékeik nem voltak a legjobbak. Feltételezhető, hogy esetükben az ROC görbe nem hiperbolikus. Ezt a feltételezést a kis mérési darabszám miatt nem lehet ellenőrizni. A 7. ábrán is látható, hogy nincs határozott korreláció a cellaméret és a jellemző AUC érték között.



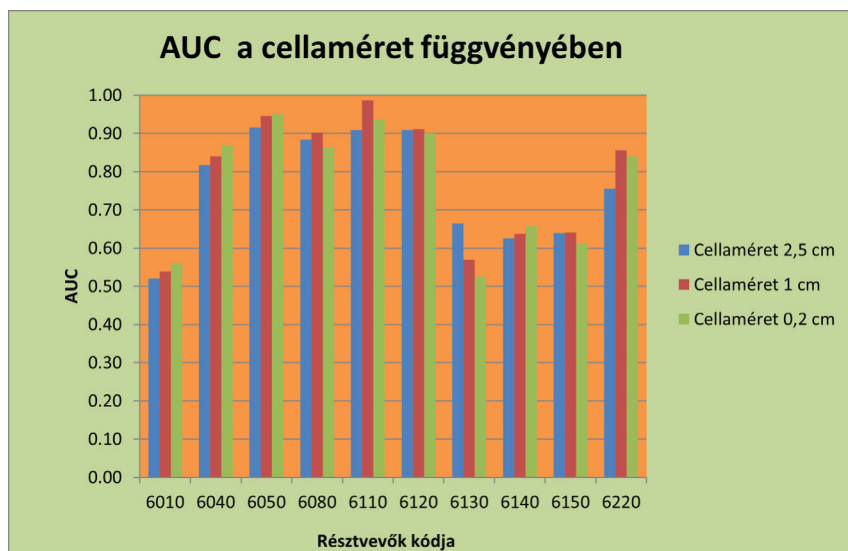
4. ábra: Az észlelési valószínűség (POD) változása a cellaméret függvényében



5. ábra: A téves riasztás valószínűségének (PFC) változása a cellaméret függvényében



6. ábra: A vizsgáló teljesítményének (K) változása a cellaméret függvényében



7. ábra: A görbe alatti terület (AUC) változása a cellaméret függvényében

Az ábrán látszik az a gyakorlati megállapítás, hogy egyik résztvevő eredménye sem éri el az elméletileg lehetséges maximális 1 értéket.

Következtetések:

- Az összevont jellemző, a K érték elfedi a szélsőséges eseteket, azaz a kis számú téves riasztás (PFC) ellensúlyozza a messze nem maximális észlelési valószínűséget (POD).
- Az észlelési valószínűség és a téves riasztás valószínűségének értéke változott a cellaméret függvényében, de nem volt tendencia a változásban. Ezért a vizsgálat tervezésénél, figyelembe véve az alkalmazott vizsgálati módszert, előre el kell döntenie az értékelés módját, beleértve az értékelésnél használatos cellaméret kiválasztását.
- A görbe alatti terület jobb jelzőszám, mint a K érték, de még nincs rá minősítési kritérium. Kipróbáljuk a következő vizsgálatoknál, addig talán találunk követelményt is.

3. A mérési bizonytalanság

A JV14 vizsgálatról kezdve minden számszerű eredményt adó mérésnél új fajta feladatot is meg kell oldani a jártassági vizsgálatok résztvevőinek. Vizsgálni fogjuk a méréseik bizonytalanságát is. Hétköznapi szóhasználatunkban általában a mérések pontosságát emlegetjük, mint a mérések minőségi jellemzőjét. A pontosság alatt a mérési eredménynek és a mérendő mennyiség valódi értékének a közelségét értjük. A pontosság értéke azonban a valódi érték megismerhetetlensége miatt nem határozható meg. Ezért kell a mérési bizonytalanságot számítani. A feladat megoldásához először

ismerjük meg a fogalmat. A Nemzetközi Metrológiai Szótár (VIM:1993) meghatározása szerint [1]:

Mérési bizonytalanság: a mérési eredményhez társított azon paraméter, amely a mérendő mennyiségnek észszerűen tulajdonítható értékek szóródását jellemzi.

A definíció feltételezi, hogy az adott mennyiséget többször megmérjük és a kapott egyedi értékekből számoljuk ki a mérési eredményt, majd az egyedi értékek szóródását. Mérési eredménynek rendszerint a mért egyedi értékek számtani átlagát tekintjük. A szóródást pedig az ún. standard deviációval [1], (más néven standard szórással) jellemezzük.

A mérési bizonytalanságot leggyakrabban ezzel a standard szórással azonosítják, de ha nagyobb biztonságra törekszünk, akkor a standard szórás többszörösét kell vennünk.

A mérési bizonytalanság meghatározásához a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal először 1995-ben külön útmutatót adott ki, amit rövidítve GUM-nak nevezünk (GUM=Guide to the expression of uncertainty in measurement=Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez). Jellemző a probléma sokoldalúságára, hogy az Útmutatót 2008-ban átdolgozták [2] és 2020-ig hat függelékkel egészítették ki. Ezeknek a kiadványoknak sincs hivatalos magyar fordítása.

A definíció részletét, a „mérendő mennyiségnek észszerűen tulajdonítható értékek szóródását” különböző módon lehet értelmezni. A jártassági vizsgálatunk esetében egyértelmű, hogy a mérési eredmény szórását a mérési módszer és a mért tulajdonság együttesen okozza. Ezeknek az adatoknak a szétválasztását matematikai módszerrel nem lehet korrekten megoldani, erre a GUM-ban sincs ajánlott módszer. Ezért az „észszerűen tulajdonítható értékek szóródását” a vizsgálatot tervezőnek, végrehajtónak és értékelőnek kell meghatároznia. Például egy merőlegesen hajlított cső, vagy belső korrózió miatt károsodott csővezeték falvastagságának mérésénél nincs értelme mérési bizonytalanságot számítani, vagy a mérések helyét pontosan ki kell jelölni. További példákat minden gyakorlati szakember tudna sorolni.

A téma iránt bővebben érdeklődőknek magyar nyelven a „Nemzeti Akkreditálási Rendszer, EA Útmutató mennyiségi vizsgálatok bizonytalanságának kifejezéséhez, NAR-EA-4/16, 1. kiadás, 2004. szeptember”

című [3] NAT áttekintő ismertetését ajánljuk.

A mérési bizonytalanságot két, alapjaiban különböző módon lehet meghatározni. Az A-típusú értékelés (Type A evaluation of measurement uncertainty): a mérési bizonytalanság egyik összetevőjének meghatározott mérési feltételek mellett elvégzett mérésekből kapott, a mért mennyiségértékek statisztikai elemzésével nyert értékelése. Az értékelés e típusánál alkalmazható az előbb említett szórásszámítás. A mérési bizonytalanság B-típusú értékelése (Type B evaluation of measurement uncertainty): a mérési bizonytalanság összetevőjének a mérési bizonytalanság A-típusú értékelésétől eltérő módon nyert értékelése.

3.1 A mérési bizonytalanság gyakorlati értelmezése

A tapasztalatok szerint a többször megismételt mérések eredményei általában a 8. ábrán látható Gauss-eloszlást mutatják. Az eloszlást a mért átlagérték (legjobb becslés), valamint a standard deviáció (mért szórás: S) jellemzi. A mérési bizonytalanság U értelmezését a 8. ábrán mutatjuk be.

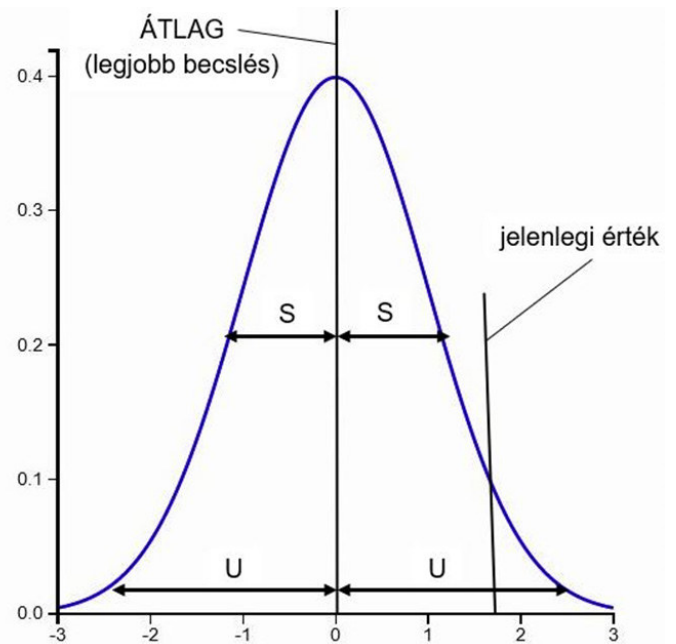
Mivel egy adott mérést nem végezhetünk el végtelen számban, a mért szórásból ki kell számítani az elvégzett mérések számától függő bizonytalanságot (U). Ez a bizonytalanság attól is függ, hogy mekkora megbízhatósági szintet (konfidenciaszint) szeretnénk elérni. A konfidenciaszint annak a valószínűsége, hogy a mérendő érték a bizonytalanság adott tartományán belül helyezkedik el. Általában megelégedünk a 95%-os konfidenciaszinttel.

Az ábrán bemutatott *jelenlegi érték* egy mérés eredményét jelképezi, aminek az értéke az S szóráson kívül esik, de a mérési bizonytalanság mértékét nem haladja meg. Fontos tulajdonsága a mérési bizonytalanságnak, hogy a mérendő mennyiségnek tulajdonított, adott mennyiségértékhez, a legjobb becslésnek nevezett átlaghoz van társítva. Ennek a mennyiségértéknek a módosítása a társított mérési bizonytalanság módosítását is eredményezi.

A VIM3 (Vocabulaire international de métrologie = Nemzetközi Mérésügyi szótár) [5] meghatározásai, melyekkel a méréseinkből meghatározhatjuk a mérési bizonytalanságot:

standard mérési bizonytalanság: szórás formájában kifejezett mérési bizonytalanság.

Tehát ha kiszámítjuk a méréseink szórását, akkor már egy bizonytalansági jellemzőt kapunk (S). Ha ennek az adatnak a megbízhatóságát is figyelembe szeretnénk venni, akkor kell a következő definíció a VIM3-ból:



8. ábra: A szórás, S és a kiterjesztett mérési bizonytalanság, U viszonya

kiterjesztett mérési bizonytalanság: az eredő standard mérési bizonytalanság és egy 1-nél nagyobb kiterjesztési tényező szorzata.

A szórás, S és a kiterjesztett mérési bizonytalanság, U viszonyát egy mérési sorozat eredményeinek Gauss-görbéjén a 8. ábra mutatja be.

A bizonytalanság számítása több mérési sorozat esetén (mint a jártassági vizsgálatok adatainak értékelésénél is):

$$U = \pm k \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2}, \quad (4)$$

ahol:

U = a mérések kiterjesztett bizonytalansága,

k = kiterjesztési tényező, értéke 2 és 3 között változhat, mely a megbízhatósági (konfidencia) szinttől és a mérési darabszámtól függ,

S₁, S₂ ... S_n = a mérési sorozatok szórásai.

A képlet szerint, ha egy munkadarabon három kijelölt helyen végzünk öt-öt mérést, és mérési helyenként kiszámítjuk a szórásokat, akkor a gyökös kifejezéssel meghatározhatjuk az eredő szórást, és ezt szorozzuk a k kiterjesztési tényezővel. A tényezőt a GUM 2008 (Table G2; 78. oldal) táblázatából [2] kereshetjük ki. A 95%-os megbízhatósági, konfidenciaszinthez (m), 15 db mérés esetén, a kiterjesztési tényező értéke k=2,14.

Ebben az esetben a teljes mérési eredményt a következő formában kell megadni a kiterjesztett mérési bizonytalanság felhasználásával:

a teljes mérési eredmény: $x \pm U, m\%$ megbízhatósági szinten.

A teljes mérési eredmény, például mm-ben mért hosszúság esetén: $25 \pm 0,06$ mm 95%-os megbízhatósági szinten. Az eredményt úgy kell értelmezni, hogy a következő hosszúságmérések eredményei – ugyanolyan mérési körülmények esetén – 95%-os valószínűséggel a $25 \text{ mm} \pm 0,06 \text{ mm}$ tartományba fognak esni.

Néhány megjegyzés a B-típusú értékeléshez, amit lehet a:

- hatóságilag közzétett mennyiségértékekhez társított,
- hiteles anyagminta mennyiségértékéhez társított,
- kalibrálási bizonyítványból kapott,
- hitelesített mérőműszer pontossági osztályából kapott, vagy a
- személyes tapasztalatok útján nyert határértékekből kapott adatokra alapozni.

A mérési bizonytalanságot úgy is meg lehet határozni, hogy számba vesszük és összegezzük a lehetséges hatásokat. Ez a B-típusú értékelés egyik formája. Az ultrahangos vastagságmérés esetében a vonatkozó szabvány C melléklete [4] összefoglalja azokat a mérési paramétereket, melyek hatással vannak a mérési bizonytalanságra. Ennek alapján is lehet mérési bizonytalanságot becsülni.

Természetesen ezt a módszert nem lehet a jártassági vizsgálatban használni, mert összehasonlíthatatlan értékeket eredményezne. Ezért a bizonytalanságot a mérési eredmények szórásából számítjuk. Ez nem korlátozza a laboratóriumokat, hogy napi vizsgálataikban a szabvány szerinti módon határozzák meg a méréseik bizonytalanságát.

3.2 A bizonytalanság kiértékelésének előnyei a vizsgáló laboratóriumok számára

A mérési bizonytalanság értékelésével kapcsolatban számos előny adódik, bár a feladat időigényes:

- A mérési bizonytalanság számszerű módon nyújt segítséget olyan fontos kérdésekben, mint a vizsgálati eredményekkel kapcsolatos kockázat és megbízhatóság.
- A mérési bizonytalanság megadása az eredmény közlése és értelmezése révén közvetlen versenyelőnyt jelenthet.
- A vizsgálati eredményeket befolyásoló egyes paraméterek hatásának (számszerű) ismerete növeli a vizsgálati eljárás megbízhatóságát.
- Eredményesebben lehet kiigazító intézkedéseket tenni, melyek ezáltal költséghatékonyabbá válnak.

- A mérési bizonytalanság kiértékelése a vizsgálati eljárás jobb megismerése révén kiindulási pontot jelent az eljárás optimalizálására.
- Az előírások teljesítésének megállapításához az ügyfelek és a termékeket minősítő testületek igénylik az eredményhez társított bizonytalanságról szóló információt.
- Csökkenthetők a kalibrációs költségek, ha a kiértékeléssel kimutathatók, hogy egyes befolyásoló mennyiségek a bizonytalanságra nincsenek jelentős hatással.

4. Összefoglalás

A MAROVISZ figyelemmel kíséri és folyamatosan fejleszti a jártassági vizsgálatok minőségét. Az észlelési vizsgálatok értékelésében mutakozó bizonytalanságot egy valós vizsgálati eredményeket tartalmazó adathalmaz különféle módon végzett értékeléseivel hasonlítottuk össze. Megállapítottuk, hogy nincs minden fajta vizsgálat értékelésére alkalmas módszer. Az eredmények összehasonlíthatóságához szükséges a vizsgálati technológiához illesztett kiértékelési módszer.

A mérési bizonytalanság számításának bevezetése a skaláris eredmények feldolgozásában egy új szempont lesz a következő vizsgálati feladatoknál. Reméljük, a fejlesztések növelni fogják a laboratóriumok felkészültségét és előnyeit a jó eredményekkel elvégzett jártassági vizsgálatok után.

Hivatkozások:

- [1] International vocabulary of basic and general terms in metrology, second edition, 1993, International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland)
- [2] JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, GUM 2008.
<https://www.bipm.org/en/publications/guides>
- [3] Nemzeti Akkreditálási Rendszer EA Útmutató mennyiségi vizsgálatok bizonytalanságának kifejezéséhez NAR-EA-4/16 1. kiadás 2004. szeptember
<https://docplayer.hu/216016-Nemzeti-testulet-nemzeti-akkreditasi-rendszer-ea-utmutato-mennyisegi-vizsgalatok-bizonytalansaganak-kifejezeséhez-nar-ea-4-16-1.html>
- [4] MSZ EN ISO16809:2019 Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vastagságmérés (ISO 16809:2017)
- [5] International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms 3rd edition, VIM3: www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu 2021/IV. lapszám



Fókuszban az oktatás

AZ ALKALMAZOTT
TUDOMÁNYOK EGYETEME
www.uniduna.hu



DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
UNIVERSITY OF DUNAÚJVÁROSI

A legkiemelt partnere a
Dunaújvárosi Egyetem

PAKS II háttérinformáció



PAKS II. AKADÉMIA



Új anyagvizsgáló laboratórium

Szakmai továbbképzés

Riport Erdei Rékával

Beszélgetőtársam nevével már találkozhatott a Tisztelt Olvasó, ha végigböngészte a lapunk impresszumát. Erdei Réka gondos, pontos munkája nélkül nehéz dolga lenne a szerzőknek és a szerkesztőbizottságnak. Pontosságával kitűnt a debreceni szakmérnöki tanfolyam hallgatójaként is a „Roncsolásmentes vizsgálatok” tárgy félévi vizsgakérdéseire adott írásbeli válaszaival is. Személyében egy pályája elején álló, elhivatott fiatal gépészmérnökkel ismerkedhetünk meg ezúttal.



játszik az atomerőművi felhasználhatósága is.

Hogyan jutott el a műszaki-kutatói pályáig? Ki és mi inspirálta, mit adott ehhez az iskola?

Igazság szerint már az általános iskolában a természettudományi terület irányába tereltek, mivel az akkori osztályfőnököm matek-fizika szakos tanár volt, és észrevette az érdeklődésemet a tantárgyai iránt. 7. osztályos koromban, amikor mások elkezdtek tanulni a fizikát, én már a 8. osztályos tananyagon is túl voltam,

Bemutatkozásként, kérem, mondja el, hol dolgozik és milyen feladatokkal foglalkozik – már amikor nem az AVI Lapot szerkeszti!

Gépészmérnöki felsőoktatási alapképzésemet a Miskolci Egyetem kötelékében kezdtem el 2014-ben, melynek negyedévében megadatott a lehetőség a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-nél (BZN) egy kutatói pozíció betöltésére.

Már a BSc tanulmányaim alatt is nagyon érdekelt a végeselem modellezés, és amikor junior kutatói állást ajánlottak számomra a BZN-nél, amely a numerikus analízisek és az anyagvizsgálatok területén komoly múlttal rendelkezik, nagy örömmel fogadtam el a szakmai fejlődésemet elősegítő munkát.

A Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztályon számos kutatási területen tevékenykednek, ide sorolhatók például a törésmechanika, a fröccsöntés, a hegesztés és a roncsolásmentes vizsgálatok numerikus számításai. A fiatal kutatóknak lehetőségük nyílik az egyes szoftverek alkalmazásának elsajátítására, amihez tapasztalt kutatók nyújtanak segítséget. Bézi Zoltán kollégám iránymutatásával betekintést nyerhettem a szilárdságtani számítások és modellezések mellett az ultrahangos vizsgálatok világába is. Ezen belül a CIVA szoftvert mutatták be nekem, amelyet teljesen az alapoktól kellett elsajátítanom. Ma már ezt a tudást igyekszem folyamatosan bővíteni, mivel a szoftver számos projekt fontos részét képezi, melyben nagy szerepet

köszönhetően a rengeteg külön foglalkozásnak. Ez megadta a gimnáziumi éveimre is azt az alapot, hogy az ottani tudnivalókat megerősítés nélkül, könnyen elsajátítsam. Ennek eredményeként először gépészmérnök-géptervező szakot végeztem BSc-n, majd vegyipari gépész MSc diplomát szereztem. Az MSc tanulmányimmal párhuzamosan kezdtem el dolgozni jelenlegi főnököm, Szávai Szabolcs megkeresésére a BZN-nél. Ekkor még nem voltam biztos benne, hogy a kutatói pályát szeretném választani, azonban az itt folyó változatos, innovatív, többretnű munka elnyerte a tetszésemet.

Örömmel olvastam a nevét a Debreceni Egyetemen tavaly indított és már – a járvány ellenére is talán – sikeresen lezajlott szakmérnöki tanfolyam hallgatói között. Önmagától jelentkezett, vagy a munkáltatója küldte? Új területeket akart megismerni, vagy az eddigi munkáihoz szervesen kapcsolódott ez a tanfolyam?

Ahogy korábban említettem, munkám nagy részét a roncsolásmentes és a törésmechanikai vizsgálatok szimulációja teszi ki. Ezáltal, amikor Tóth László professzor úr figyelmembe ajánlotta a Debreceni Egyetemen újonnan induló képzését, tudtam, hogy ez a szakmai tudásom fejlesztését teszi lehetővé. Fő célom a képzésre való jelentkezéssel a roncsolásmentes vizsgálatok (RMV-k) elméletének elsajátítása volt.

Mennyire volt elégedett végül a kurzus tematikájával és a színvonalával? (Az igazat, ne csak a valódit! Ne feszélyezze, hogy főszerkesztő úr és én is oktatók voltunk a tanfolyamon.)

A három nagy tárgycsoportból a szerkezetintegritással és anyagkárosodással kapcsolatos – a feladataim során és a korábbi képzéseken szerzett – ismereteimet a tanfolyamon átadott tudás keretbe foglalta. Mivel korábban csak ultrahangos vizsgálat (UT) terén volt tapasztalatom, az RMV tárgyak tanulása biztosította a legtöbb új ismeretet számomra. A koronavírus járvány hatására kialakult helyzetben az információs technológiáknak köszönhetően a távoktatás zökkenőmentesen lebonolítható volt, az egyedüli nehézséget az okozta, hogy a gyakorlatok megvalósítása nem az eredeti elképzelések mentén zajlott.

Miután – tudtommal – meghirdetni tervezik a következő ilyen jellegű szakmérnöki tanfolyamot, nem csak „költői” a kérdés, hogy milyen mértékű, mélységű RMV gyakorlati képzést, illetve az RMV elméleti és gyakorlati órák milyen arányát tartaná hasznosnak? És ami alapvető: ajánlaná-e másoknak ezt a tanfolyamot?

Véleményem szerint minden vizsgálati technika elméleti alapjait elsajátíthattuk, viszont a korlátozások miatt a gyakorlatokra kisebb hangsúlyt lehetett helyezni.

A képzés egy olyan átfogó tudást tud nyújtani, amelyet minden üzemeltetésben résztvevő szakembernek ajánlanék, legyen az a vizsgálatokat végző, vagy a döntéshozatalban részt vevő személy. Mindkét oldalról komplex rendszert kell átlátni, nem csak azt a részét, amely az adott egyén szűk feladatkörébe

esik, hiszen ezáltal tud felelősségteljes döntést hozni.

Milyen elképzelései, tervei vannak a szakmai jövőjét illetően?

Szeretném a kurzus során szerzett ismereteket elmélyíteni, bővíteni és kamatoztatni. Ezen képzés mellett már több atomerőművi irányultságú tanfolyamon vettem részt, van atomerőművi üzemeltetési szakmérnöki végzettségem, ezért a jövőben ezen a területen szeretném felhasználni a tanultakat.

Hogyan látja friss szemmel, fiatal kutatóként az anyagvizsgálat helyzetét ma Magyarországon – amennyire ez idáig megismerte?

Eddig a témára kutatói oldalról volt valamennyi rálátásom, az ipari alkalmazását kevésbé ismerem. Véleményem szerint az alkalmazás és a fejlesztés elkülönül egymástól, amelyet talán ez a képzés is próbált áthidalni. Példaként említendő a legújabb RMV technológiák számítógépes támogatásának népszerűvé válása, amelybe betekintést nyerhettünk. Fejlesztés tekintetében példaértékű Franciaország, ahol a nagyszámú atomerőműnek köszönhetően rendkívüli ütemben fejlődnek a roncsolásmentes vizsgálatok. Bízom abban, hogy a fejlesztés és az alkalmazás összekapcsolása hasonló szintre jut el a közeljövőben hazánkban is.

Bár így lenne! Kívánom, hogy a tervei valóra váljanak, örömet lelje a munkájában, magunknak pedig azt kívánom, hogy még hosszú ideig számíthassunk a segítségére az Anyagvizsgálók Lapja szerkesztésében!

Skopál István

MAGYAR RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI SZÖVETSÉG

SZEMÉLYTANÚSÍTÓ TESTÜLET

1191 Budapest, Üllői út 206.
info@szemelytanusitas.hu

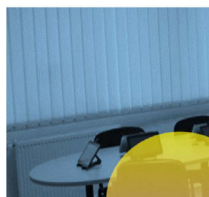
Vizsgaszervező:

Bartos Éva

+36 20 362 29 06



www.szemelytanusitas.hu



- Nemzetközileg elismert tanúsítványok kiállítása
- Vizsgáztatás egyedülálló, internet alapú szoftver használatával
- A Leonardo program tankönyveihez szorosan illeszkedő vizsgakérdések
- Rugalmas vizsgaidőpont választás online felületen
- Gyakorló tesztkérdések elérése vizsgára jelentkezéskor
- Tanúsítványok érvényességének nyomon követése a központi adattárból

Grafika: Szabó Anna Dóra

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja

Tetmajer Lajos (vagy ahogyan a mérnöki tanulmányok során megismertük, Ludwig von Tetmajer) 126 éve, 1895. szeptember 9-11. között Zürichben életre hívta az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét. A MAGYAR ANYAGVIZSGÁLÓK EGYESÜLETE másodikként, 1897. június 16-án alakult meg azzal az alapvető céllal, hogy hazánkat a nemzetközi rendezvényeken ez, és ne az osztrák-magyar egyesület képviselje. A II. Világháború végéig szervezetünk folyamatosan működött, majd az alapítás 100. évfordulóján, a Miskolctapolcán elindult kezdeményezés hosszas vajúrást követően (Anyagvizsgálók Lapja, 2013/3-4) végül 2012-ben beérett. Az eltelt – immáron történelmi – kor nem csupán lehetőséget biztosít a Felelős Szerkesztőnek a visszatekintésre, hanem fel is szólítja arra, hogy megemlékezzünk dicső elődeinkről. Az alapvető kérdés ebben a helyzetben: hogyan, milyen módon, miképpen? A történelem megismételhetetlen. Ami elmúlt, visszahozni nem lehet, még törekedni sem szabad erre, hiszen a kudarc eleve adott. Mégis kapaszkodóként szolgálhat az a tény, hogy mindig és mindenkor voltak olyan emblemikus személyek, akik többet vállaltak a szakmáért, annak fennmaradásáért, a szakemberek összefogásáért, a tudás népszerűsítéséért.

Ezek voltak az Egyesület elnökei. Álljon itt a névsoruk:

1897-1904	Czigler Győző (műegy. tanár)
1904-1910	Nagy Dezső (műegy. tanár)
1910-1914	Czékus Aurél (min. tanácsos)
1914-1917	Rejtő Sándor (műegy. tanár)
1917-1924	Zielinski Szilárd (műegy. tanár)
1924-1927	Gállik István (alelnök, államtitkár)
1927-1930	Czakó Adolf (műegy. tanár)
1930-1934	Zorkóczy Samu (műsz. vezérig.)
1934-1939	Mihailich Győző (műegy. tanár)
1939-1942	Quirin Leo (műegy. tanár)
1942-1944	Misángyi Vilmos (műegy. tanár)
2012-2014	Gillemot László, Dr.
2014-2019	Czinege Imre (professzor emeritus)
2019 -	Bíró Gyöngyvér, Dr. habil

A 14 nevet felsorakoztató névsorból lapunk korábbi számaiban már öt szakember életének mozzanataival találkozhattak. Most a Mihailich Győző (1877-1966) a „vasbetonszerkezetek” építésének hazai „apostolával” életének egyes részleteibe tekinthetünk be.

Tóth László
felelős szerkesztő

Mihailich Győző (1934-1939)

- 1877. október 14-én Temesrékason született köztisztviselő családban.
- Kecskeméten tanult, majd 1899. szeptember 28-án a Budapesti Műszaki Egyetemen (akkor Királyi József Műegyetem) kitűnő minősítésű mérnöki oklevelet kapott.
- 1899-től az egyetemen oktatott Khernd Antal professzor mellett, 1899-1902-ig tanársegéd, 1902-1906-ig adjunktus, majd 1906-1920 között előadó volt.
- Doktori értekezését „A csomópontok merev kötése okozta mellékfeszültségek grafikai meghatározása” címmel írta, melynek eredményeként



1906-ban az egyetem Mérnöki Karának történetében hetediként szerezte meg a műszaki doktori címet, majd 1909-ben habitált.

- 1906-ban magántanári képesítést kapott és a "Vasbetonszerkezetek" c. tárgy meghívott előadója lett.

- 1908-1909-ben a Bega-csatornán épülő temesvári Ligeti-úti híd tervezője volt.

A híd a 38,4 méteres középső támaszközével a kor legnagyobb vasbeton gerendahídja volt, mely az 1910-es párizsi világkiállításon dicsőítő oklevelet is kapott.

- 1916-ban címzetes rendkívüli tanár lett, majd 1920-ban nyilvános rendes tanárrá nevezték ki.
- 1920-ban hozták létre a II. sz. Hídépítéstani Tanszéket, melynek vezetőjévé választották.
- Elnyerte 1922-ben a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet arany, 1931-ben az ezüst fokozatú kitüntetését.
- 1928-tól két tanéven át volt a Mérnöki és Építési Osztály dékánja.
- 1931-ben létrehozta a II. sz. Hídépítéstani Tanszék Beton- és Vasbetonépítési Laboratóriumát, amelynek igazgatója is lett.
- Az 1931. évi magyar vasbetonszabályzat kidolgozására alakult bizottság elnöke volt.
- A Magyar Tudományos Akadémia 1931-ben választotta levelező tagjává.
- Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének elnöke 1934-39 között.
- A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet vasbeton bizottságának elnökévé 1938-ban választották meg.
- 1938-ban a Magyar Érdemrend kiskeresztjét kapta a Margit híd kiszélesítési munkálatai körül szerzett érdemeiért.
- A Mérnök Továbbképző Intézet 1939. július 26-án Buday László, Pattantyús Á. Géza és Mihailich Győző professzorok kezdeményezésére jött létre, mint Európa első mérnöktovábbképző intézete. Mihailich Győző volt az intézet első igazgatója.
- 1941-ben lett a Nemzeti Természettudományi Tanács alelnöke. (1941-54)
- 1942/43 és 1949/50-es tanévekben a Műegyetem (ekkor már: Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem) rektora.
- 1945-ben a Duna-hidak újjáépítésére alakult bizottság tanácsadójának hívták meg.
- 1948-ban a Budapesti Műszaki Egyetem tiszteletbeli doktorává fogadta.
- Az IVBH (Nemzetközi Híd- és Szerkezetépítési Egyesület) Magyar Tagozatának elnöke volt 1948-tól.
- 1948-ban a Kossuth-díj arany fokozatát kapta a műszaki tudományok területén elért eredményeiért. (Megosztott díj: Dr. Schimanek Emil)
- 1948-ban a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja lett.
- 1950-ben a Népköztársasági Érdemrend III. fokozata kitüntetésben részesült.
- Az 1950-ben az újjászervezett MTA Műszaki Tudományok Osztályának első vezetője volt, s ő szervezte ezen belül az Építéstudományi Bizottságot.
- 1953-tól az MTA Műszaki Tudományok Osztályának tiszteletbeli elnöke.
- 1954-ben a Drezdai Műszaki Egyetem (Technische Hochschule Dresden) is díszdoktorává fogadta.
- 1957-ben vonult nyugalomba, de a tanszék munkatársaival az 1966-ban bekövetkezett haláláig tartotta a kapcsolatot.
- 1957-ben a Munka Vörös Zászló Érdemrend kitüntetésben részesült.
- Az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem 1959-ben gyémánt, 1961-ben műszaki doktori aranyoklevelet, 1965-ben vasdiplomát adományozott számára.
- 1962-ben a Magyar Népköztársaság Elnöki Tanácsa Munka Érdemrend kitüntetését adományozott számára.
- 1966. március 18-án hunyt el Budapesten. Az egyetem és az akadémia saját halottjának tekintette. Koporsóját I. éves hallgatók kísérték a Farkasréti temetőben, a Feszület Köröndön nyugszik. Emlékét az egyetem udvarán mellszobor őrzi [1-9], amelyről a következőt írja az egyetem [4]: „*Kimagasló egyéniségére hivatott emlékeztetni az egyetem kertjében születése 100. évfordulója alkalmából bronzba öntött szobra [4].*”

„Kitűnő tervező volt. Bár a vasbetonépítés atyjának dr. Zielinski Szilárdot tekintjük, a magyar vasbetonépítés elméleti és gyakorlati megalapozása elsősorban Mihailich Győző nevéhez fűződik. Mindig hangoztatta, hogy a jó oktató csak az lehet, aki nem szakadt el az ipari élettől, aki előadásait, gyakorlatvezetését az iparból vett, lehetőleg saját példákkal támasztja alá [5].”



Mihailich Győző mellszobra a BME parkjában [6]

Művei:

- Az 1908-ban átadott temesvári, Liget úti híd;
- A szolnoki Tisza-híd (1910–11);
- Ganz és Társa – Danubius fumei hajógyárában a voloscai út feletti vasúti felüljáró (1910–11);
- A Sebes-Körös berekböszörményi hídja (1910–11);
- A tamáshidai Fekete-Körös híd (1911–12);
- A málnási Olt-híd (1912–13);
- A budapesti dominikánus templom vasbeton kupolája (1912–13);
- Az ecsedi Láptársulat csatornáit áthidaló vasbeton hidak és vasbeton zsilipek (1913–14);
- A kéméndi Garam-híd;
- A dinnyési felüljáró;
- Az újpesti víztorony;
- Mihailich erősítési és szélesítési tervei alapján építették újjá 1935 és 1937 között a budapesti Margit-hidat;
- Folly Róberttel közösen tervezte a polgári hidat (1938–41; 1947–48) és a szegedi hidat a Tiszán (1948);
- Díjazottak voltak az óbudai és lágymányosi Duna-hidak építésére készített tervei;
- Szakértőként tevékenyen vett részt a felrobbantott budapesti hidak újjáépítésében;
- A 35.000 tonnás gabonátárház Csepelen (1927–29), építésének idején egyike Európa legnagyobb építményeinek. Hazánk első öntött-beton épülete;
- Szabó József utcai autóbuszgarázs csarnok Zuglóban (1929–30).

Újpesti Víztorony [1]

Mihailich Győző életével, munkásságával kapcsolatos dokumentumok tárháza már egy „Google-keresés” kapcsán is 8.420 egység átnézését kínálja. Ezekből csupán szemezgetni lehet. Ha a szokásos, általános források mellett hangsúlyozottan kívánjuk felhívni a Tisztelt Olvasó figyelmét néhány jelentősegteljesebbre, akkor a néhai Balázs György professzor 2004-ben megjelent munkáját [5] és a mintegy félórás videoműsorra mindenképpen [8] hivatkoznunk kell. A különböző forrásokat áttekintve,



Temesvár, Liget úti Bega híd [1]

összehasonlítva azonban azt is meg kellett állapítanunk, hogy néhány esetben a névben is betűhiba fordulhat elő, pl. „Michailich” vagy „Mihailich” és ez a hivatkozások során sokszorozódhat, ill. az élettörténethez kötődő évszámokban is vannak eltérések.

Irodalomjegyzék

- [1] Mihailich Győző élete, munkássága: https://hu.wikipedia.org/wiki/Mihailich_Győző (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [2] Mihailich Győző, Arcanum Adatbázis <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyar-eletrajzi-lexikon-7428D/m-76AF9/mihailich-gyozo-76DDF/> (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [3] Mihailich Győző, Wikiwand: https://www.wikiwand.com/hu/Mihailich_Győző (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [4] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék: Mihailich Győző: https://hsz.bme.hu/sites/default/files/hirek/hsz/mihailich_gyozo.pdf (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [5] Balázs Gy.: Dr. Mihailich Győző. Műszaki alkotók, Magyar mérnökök. 6. Füzet. 2004. https://library.hungaricana.hu/en/view/HidakUtak_Muszaki_Alkotok_peldakepek_06/?pg=0&layout=s (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [6] Mihailich Győző mellszobra, kép részlet, Feltöltő: Pinczés Sándor: <https://www.kozterkep.hu/3395/mihailich-gyozo-mellszobra#vetito=153817> (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [7] Hetven éves az Árpád híd – Sztálin nevét viselte átadásakor, 1950-ben https://pestbuda.hu/cikk/20201109_hetven_eves_az_arpad_hid_sztalin_nevet_viselte_az_atadaskor (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [8] Michailich Győző - Mérőföldkövek a magyar technika történetében <https://www.youtube.com/watch?v=Xvxuu8kqvvo> (Letöltés dátuma: 2021.07.06.)
- [9] Tallózás a mérnöktovábbképzés klasszikus kiadványaiból. Budapest. 1982, Budapesti Műszaki Egyetem, 1782–1982. pp. 31–102.

Tóth László, Erdei Réka
(felelős szerkesztő, digitális szerkesztő)

A MAGYAR SZABVÁNYOSÍTÁS CENTENÁRIUMÁRA

Száz év nagy idő. Érzékeljük ezt az alábbi, „mindösze” 84 éve született írás nyelvezetéből, fogalmazásmódjából is, különösen azokból a részletekből, melyek a 16 évvel még korábbi eseményt – az idei centenárium okát, a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság megalakulását – ismertetik.

Száz év nagy idő. Rámutatnak erre a mai utódszervezet – a Magyar Szabványügyi Testület – elnökének köszöntő sorai, melyek felvillantják a műszaki életben végbement óriási fejlődést. (Lásd például digitalizáció!) Ehhez hozzátehetjük, hogy túl a műszaki területeken, ma már a társadalmunk számos más tevékenységét is – zömmel nemzetközi – szabványok támogatják, szabályozzák. Gondoljunk csak a tanúsításokra, a minőségszerűsítésre, egyes

képzésekre, a korrupcióellenes intézkedésekre, az emberi erőforrás-gazdálkodásra vagy egyes szolgáltatások (pl. vezetési tanácsadás) nyújtására.

Száz év nagy idő, de bármennyire nagy, ami fontos – a fejlődés és a biztonság iránti igény, a kölcsönös alkalmazkodás célszerű, sőt szükséges volta, mind országos, mind globális szinten –, az nem változott. Ezt szolgálják a nemzeti és nemzetközi szabványügyi szervezetek a bennük tevékenykedő rengeteg szakember elkötelezett, nem ritkán teljesen önkéntes munkája révén.

Ezekkel a gondolatokkal ajánlom a Tisztelt Olvasó figyelmébe Dr. Farkas György professzor köszöntőjét és az általa mellékelt könyvrészletet.

Skopál István



Magyar Szabványügyi Testület



KÖSZÖNTŐ

100 éve alakult meg az első magyar szabványosító szervezet

100 éve, 1921. április 28-án tartotta alakuló ülését a magyar szabványosítás első hivatalos szervezete, a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság. Az alapítók – a mai napig érvényes iránymutatásként – a Bizottság *„feladatát abban állapították meg, hogy az összegyűjtött adatoknak és a külföldi eredményeknek felhasználásával az ipar közreműködésével magyar szabványokat állapítson meg. Evégett alakítandónak tartott: főbizottságot, elnökséget, szakbizottságokat, tanácsot, titkárságot”*.

Ma sem lehetne lényegre törőbben, illetve pontosabban meghatározni a szabványosítás feladatát és a szabványosító szervezet felépítését. A szabványosításnak e két állandó pillére mellett a kezdetektől változatlan a szabványok iránti igény, a szabványalkotás folyamata (érdekeltek/szakemberek vitája és megegyezése a szabványosító bizottságokban), valamint a szabványosításban közreműködők szakmai felelőssége. Ezeket nem írta felül a 100 év alatt végrehajtott hét intézményi formaváltás sem. Az elmúlt száz év műszaki fejlődése azonban szinte felmérhetetlenül kiszélesítette a szabványosítás

horizontját, aminek szükségszerű következménye, hogy míg a szabványosító műszaki bizottságok száma a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság idején 25 db volt, ma már 183 db. A szabványosítás számára jelenleg ez a legnagyobb kihívás, súlyosbítva a hagyományos, személyes egyeztetést kizáró világméretű járvánnyal. Ez hozza magával, illetve kényszeríti ki a szabványosításban a korábban már elhatározott és megkezdett, ám külső kényszer híján eddig befejezetlen digitalizációt. 100 éve az első világháború veszteségei ellensúlyozásának támogatási szándéka (nagy szériák, széles körben felhasználható gyártmányok, kooperációs lehetőségek bővítése) hozta létre a hazai, külföldi és nemzetközi szabványosító szervezeteket, most a világháború kényszeríti ki a szabványosítás teljes körű és haladéktalan digitalizálását. Korszakszükséglet okozva, amelynek elkerülhetetlenül részesei, illetve szereplői vagyunk, és amelyet az alapítók szándékának, iránymutatásának megőrzésével kell végrehajtánunk. Az évfordulón elengedhetetlen kötelességünk, hogy tisztelgünk elődeink előtt: a Bizottság

életre hívását a külföldi mintákra, valamint az országos szabványok szükségességére hivatkozva kezdeményező, az építőipar számára fontos szabványok kidolgozását elkezdő Magyar Mérnök- és Építész-Egylet, illetve tagjai előtt, vezető testületében Ybl Miklóssal; a „villamos természetű szabványosítás munkáját megkezdő” Magyar Elektrotechnikai Egyesület, illetve tagjai előtt, vezető testületében dr. Bláthy Ottó Titusszal és végül a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság, illetve tagjai előtt, vezető testületében alelnökként Kandó Kálmánnal.

Bízom benne, hogy újabb 100 év elteltével a mi szakmai utódaink is igazoltnak és helyesnek látják majd döntéseinket és tevékenységünket! Meggyőződésem, hogy az alapítók iránymutatása, a szabványosítás kezdetektől fogva változatlan ismérvei és küldetése akkor is maradéktalanul érvényes lesz. Ennek érdekében, ezúton és alkalommal kérem a hazai szakemberek és szervezetek támogatását, megköszönve mindazok munkáját, akik eddig is részt vettek a szabványosítás feladatainak megoldásában.

Dr. Farkas György
professzor emeritus
a Magyar Szabványügyi Testület
elnöke

RÉSZLETEK A KÖNYVBŐL

A szabványok hazánkban és külföldön Alkalmazásuk a közszállításban

MAGYAR IPARI SZABVÁNYOSÍTÓ BIZOTTSÁG

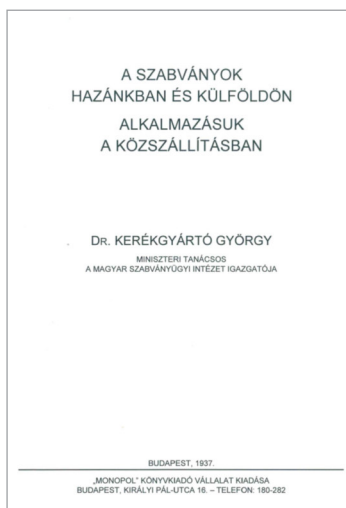
A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet a külföldi szabványosító mozgalmak hatása alatt már 1920-ban foglalkozni kezdett a szabványosítás gondolatával. Eltekintve ugyanis a legnagyobb és legrégebb angol szabványosító bizottságtól, amely 1901-ben alakult, a külföldi államok legtöbbje a világháború alatt, vagy közvetlenül annak befejezése után megalakította a szabványosító bizottságait. Ezek a bizottságok akkor még nem voltak nemzetközileg megszervezve, nem küldötték meg egymásnak szabványait, ennek következtében az egyes államok szabványosítása egymástól függetlenül folyt. A szomszéd államokban megjelenő más szabványokra való tekintettel a szabványokat sokszor javítani kellett. Magyar részről is felmerült a szabványosítás gondolata, a közelünkben lévő német és osztrák szabványosítás példájára. A szabványosító munkák a háborúban tulajdonképpen Amerikában indultak meg. 1901-ben alakult ugyan az ottani kereskedelemügyi minisztériumban egy szabványosító hivatal, mely azonban csak tudományos mérésekkel foglalkozott. 1917-ben az amerikai hadügyminiszter vezetése alatt egy hadiszer és

egyéb szabványosító hivatal alakult, majd 1919-ben az eddig működő különböző szabványosító szervek az ottani hadügyi, haditengerészeti és kereskedelmi minisztériumokkal megalakították az amerikai szabványosító bizottságot.

Hasonló szabványosító bizottságok alakultak még a háború után Franciaországban, Svájcban, Hollandiában, Norvégiában, Svédországban, Dániában Kanadában, Japánban, Ausztráliában és Olaszországban.

A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet felismervén, hogy a szabványosítás az ipari termelés fokozására, versenyképességének védelmére és növelésére, a tömeggyártás előnyeinek intézményes biztosítására alapvető fontos-

sággal bír, a külföld példájára 1920. október 12-én a m. kir. kereskedelemügyi miniszterhez felterjesztést intézett. Utóbbi még ez évben 72.211. szám alatt megelégedéssel vette tudomásul, hogy az Egylet az ipari szabványosításnak ipari és általános gazdasági szempontokból olyfontos kérdésénapirendretűzte. Egyben kinevezte a Magyar Ipari Szabványosítást Előkészítő Bizottság-ot a következő összetételben: Elnök: Herrmann Miksa. Alelnökök: Kandó Kálmán,



Maróthy Kálmán. Tagok: *Asbóth Emil, Dvorák Hubert, Ladányi Jenő, Láng Gusztáv, Orphanides János, Piltzer György, Samarjay Lajos, Stromszky Sándor, Szederjey Elemér, Tárnoky Miklós, Tóbiás Károly, Zorkóczy Samu.* Megbízta az Előkészítő Bizottságot azzal, hogy a magyar ipari szabványosítás végrehajtásának programját a külföldön ezirányban már folyó munkálatok eredményeinek figyelembevételével dolgozza ki. Iparunk mértékadó tényezőivel egyetértőleg tegyen javaslatot a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság szervezeti és személyi kérdéseinek megoldására. Tegyen javaslatot adminisztratív szerveinek felállítására, tegyen jelentést a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet közlönyével létesítendő szoros kapcsolat feltételeiről és dolgozzon ki egy költségelőirányzatot és gondoskodjék a költségek fedezéséről.

Az előkészítő bizottság két ülésén megfogalmazták a *Magyar Ipari Szabványosító Bizottság* szervezetét. E munkában a m. kir. Állami vas-, acél- és gépgyárak részéről rendelkezésre bocsátott két mérnök, *Marusák Dezső* és *Raschka Győző* segédkeztek. A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet pedig helyiséget bocsátott a bizottság rendelkezésére és Közlönyét is felajánlotta közleményei leközlésére. Az ülésen a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság feladatát abban állapították meg, hogy az összegyűjtött adatoknak és a külföldi eredményeknek felhasználásával az ipar közreműködésével magyar szabványokat állapítson meg. A szabványosítást elsősorban vas- és gépiparra tervezték, a szükséghez képest azonban felöllelhető minden más iparág is.

A szervezetre vonatkozólag a német szabványosító intézet szolgált mintaképül. E végett alakítandónak tartott:

1. főbizottságot,
2. elnökséget,
3. szakbizottságokat,
4. tanácsot (nem igen került a gyakorlati életbe),
5. titkárságot.

A főbizottság tagjai az állami intézetek és intézmények, a tanintézetek, vasúti és hajózási társaságok részéről 21, az egyesületek és szövetségek részéről pedig 13 kiküldött. Az egyes ipari vállalatok és érdekeltségek képviselői a szakbizottságokban foglaltak helyet. A főbizottság feladata az egész ország ipari szabványosításának egységes vezetése és ellenőrzése volt.

Az elnökség a főbizottság által választott elnökből és három alelnökből állott. A szakbizottságokat ez elnökség állította fel, amelyre a kérdésekben érdekelt köröknek (termelő, fogyasztó, tudományos

körök) képviselőit meg kellett hívni.

A titkárság a folyó adminisztratív ügyeket intézte el. A kereskedelemügyi miniszter úr 54.735/1921. szám alatt kelt kéziratával a munkaprogramhoz általánosságban hozzájárult és az előterjesztésben felsorolt állami intézményeket és hatóságokat, továbbá az ipari és műszaki egyesületeket, ezeken kívül a Székesfőváros Tanácsát, a m. kir. Technológiai Iparmúzeumot, végül a Takarékpénztárak és bankok egyesületét felszólította, hogy a főbizottságba képviselőjüket küldjék ki. A vezetése alatt álló minisztériumból a főbizottságba *Buday Béla* és *Ladányi Jenő* miniszteri tanácsosokat küldte ki. A főbizottságot jelen összeállításában egyáltalán nem tartotta lezártnak és a maga részéről kíváncsúnak tartotta, hogy a munka további különleges ügyköreinek ellátására más érdemes fórumok is behívassanak.

A Gyáriparosok Országos Szövetségéhez, a Magyar Vasművek és Gépgyárak Országos Egyesületéhez és a takarékpénztárak és Bankok Egyesületéhez leiratot intézett, amelyben annak a várákozásának adott kifejezést, "hogy a szabványosítás végrehajtását az érdekeltség messzemenő anyagi támogatással fogja lehetővé tenni. Az előkészítő bizottságba a honvédelmi minisztérium, illetve a tűzészeti és haditechnikai intézet részéről *Rumpelles Kornél* vks. ezredes és *Ébinger János* mérnökkari ezredest jelölte ki.

Az ekként megalakított Magyar Ipari Szabványosító Bizottság első alakuló ülését a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet helyiségében, 1921. évi április hó 28-án tartotta. Jelen voltak ezen a következő kiküldöttek:

1. az előkészítőbizottság részéről: *Herrmann Miksa* elnök, *Maróthy Kálmán* alelnök, *Dvorák Hubert, Láng Gusztáv, Piltzer György, Stromszky Sándor, Szederjey Elemér, Tárnoky Miklós, Tóbiás Károly, Zorkóczy Samu, Rumpelles Kornél, Ébinger János.*
2. a főbizottságba kiküldött képviselők: *Buday Béla, Brezlinger Frigyes, Láng Károly, Hegyi Gyula, Bátori Ferenc, dr. Ösz Lajos, Fodor Sándor, Mezey Bertalan, Jesch Aladár, Molnár József, Petz Antal, Dormándy Géza, Rácz Gusztáv, Marschall Ferenc, dr. Horovitz György, Kende Tódor, Dálnoki-Kováts Jenő, Herz Andor, Knuth Károly, dr. Kresz Károly, dr. Bartel János, Wilczek Ernő, Edvi Illés Aladár, Kakujay Károly, Messik Ödön, Przyborski Ottó és Zuck József.* A jegyzőkönyvet *Marusák Dezső* vezette.

Elnökjelenti, hogy a miniszter az előkészítő bizottság által megadott szervezeti szabályzatot elfogadta.

Ennek alapján a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság megkezdheti működését és az előkészítő bizottság mandátuma lejárt.

A főbizottság elnöknek egyhangú lelkesedéssel Herrmann Miksát, a volt előkészítő bizottság elnökét választotta meg. Alelnököknek pedig Kandó Kálmánt, Maróthy Kálmánt és Zorkóczy Samut.

Ugyanazon év júniusában Kienzle O. okl. gépészmérnök (Berlin), a német szabványosító bizottság főbizottságának tagja tartott a Magyar Mérnök- és Építész-Egyletben előadást a német és osztrák szabványosító munkákról.

A Magyar Ipari Szabványosító Bizottság megalakultát a kereskedelemügyi miniszter 68.957/1921. számú leiratával vette tudomásul.

A főbizottság 1922. év decemberében tartott második ülésén Hermann Miksa beszámolt arról, hogy az elmúlt évben a kereskedelmi minisztérium egy bizonyos összeget adott, majdnem ugyanakkorát adott a Magyar Vasművek és Gépgyárak Orsz. Egyesülete, felét a Magyar Bánya- és Kohóvállalatok Egyesülete, valamint a Schlick-Nicholson Gépgyár, a Felten-Guillaume Kábelgyár és Knuth Károly gyáros.

Megindította az „Ipari Szabványosítás” című lapot, amely a MMÉE Közlönyével karöltve jelent meg. Ebben közölték le hozzászólás végett a megjelent szabványtervezeteket. Beszámolt a hengerelt vas-szelvények bizottságáról, mely Zorkóczy Samu, a műszaki rajzok bizottságáról, mely Láng Károly, az építészeti bizottságról, amely Maróthy Kálmán, a csavar bizottságról, mely Stein Sándor vezetésével indult meg. Megemlékezett továbbá a Magyar Elektrotechnikai Egyesület által végzett villamosipari szabványosítási munkákról. Az Egyesület nevében 5 tagot jelölnek a szabványosító tanácsba, mégpedig: Zipernovszky Károlyt, dr. Bláthy Ottó Tituszt, Chatel Vilmost, Verebély Lászlót és Wilczek Ernőt.

Az „Ipari Szabványosítás” további megjelenése azonban és egyáltalán a szabványosító bizottságok működése, pénzünk leromlása és állandó továbbértéktelenedése következtében, mind ritkábbá és nehezebbé vált. Ez a magyarázata annak, hogy a főbizottsági ülések annyi ideig szüneteltek. Már az 1922. évi ülésnek jegyzőkönyvében bennfoglaltatik Herrmann Miksa elnöknek az a kijelentése, hogy most tehát, ha a megkezdett munkát tovább akarjuk folytatni, újból el kell kezdeni a pénzkérést, amihez azonban nem sok kedvet érez. Magától értetődőnek kell tartanunk, hogy pénzünk óriási állandó leromlása következtében nem merték összehívni a főbizottsági ülést csak 1927 áprilisban, mikor pénzünk már stabilizálódott és Herrmann Miksa elnök

a m. kir. kereskedelemügyi miniszterséggel bízott meg. Ezen a harmadik ülésen Zorkóczy Samu, mint korelnök elnökölt. A miniszterséget viselő elnök mellett ügyvezető alelnökké Maróthy Kálmánt választották meg, aki kérte az érdekelteket, hogy a szabványosítást úgy működésükkel, mint anyagilag támogassák.

Ezen az ülésen beszámoltak a nemzetek szabványosító szerveit összekötő hivatalos nemzetközi szabványosító szerv létesítésére irányuló mozgalomról, nevezetesen az 1926. év április havában az Egyesült Államokban tartott első hivatalos nemzetközi szabványosító értekezletről és az értekezlet által kiküldött hetes bizottságnak 1926. évi szeptember havában Londonban tartott tárgyalásairól. A bizottság elhatározta, hogy a nemzetközi szervvel együtt kíván működni.

A költségvetésre vonatkozólag egy részét az állam bocsátaná rendelkezésre, a többi az iparra maradna. A szabványosító munkák tekintetében a gépipari szabványokon kívül szükségesnek tartják azt, hogy a szabványosítás ne csak a gépipar szerkezeti kérdéseire terjeszkedjék ki, hanem a minőségi feltételekre is. Ez ülésen résztvett már Marusák Dezső mellett Gellért Ede mérnök is.

A főbizottság negyedik ülését 1928. áprilisában tartotta, amidőn a kivált Masurák Dezső helyett Juhász Károly Jenő mérnök lett a másodtitkár. Az elnök egy javaslattervezetet terjeszt elő, amely szerint a költségvetési szükségletet az állam, továbbá a Vasművek és Gépgyárak Országos Egyesületében tömörült gépipar, végül az állami és városi közművek és vasúti és hajózási társaságok, valamint a Rimamurány-Salgótarjáni Vasmű Rt. vállalná el. Bejelentették egy szerszmind, hogy az „Ipari Szabványosítás” című lap 1925-ben megszűnt. Elnök rámutatott arra is, hogy az alapszabályok módosítása alkalmával szükséges lesz, hogy a szabvány fogalmát újra megállapítsák olyképpen, hogy e fogalom felölelje úgy a méretek egységes megállapítását, mint az átvételi feltételeket és általában a termékek előállítására és szétosztására vonatkozó egységes előírásokat, határozmányokat és szabályzatokat.

A főbizottság ötödik ülését 1930. évi április hó 6-án abból az alkalomból tartotta, hogy Herrmann Miksa volt kereskedelemügyi miniszter a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság elnökségéről lemondott. Zorkóczy Samu alelnök javaslatára a főbizottság jegyzőkönyvileg köszönetét fejezte ki Herrmann Miksa elnöknek a bizottság megalakítása és kiépítése körül kifejtett odaadó értékes munkásságáért. A főbizottság erre a MISzB elnökévé

Orphanides Jánost választotta. Az új elnök vázolta a szabványosítás fontosságát; rámutat azokra a nehézségekre, melyek az anyagi eszközök hiányából erednek. Hangsúlyozza, hogy amennyiben a bizottság munkájához szükséges anyagi fedezet megfelelő biztosítása nem sikerül, az elnökség nevében javasolni fogja, hogy a főbizottság állapítsa meg, hogy az országos szabványosító intézmény fenntartására hazánkban nincs pénz, s ennek vonja le a következményeit és a Magyar Ipari Szabványosító Bizottságot oszlassa fel. Hangsúlyozta, hogy az elnökség nem vállalja a felelősséget, oly intézmény vezetéséért, mely a rábízott feladatok megoldására képtelen.

Az új elnökség *Bud János* dr. kereskedelemügyi miniszterhez 1931. március 27-én felterjesztést intézett, amelyben ismertetve a szabványosítás lényegét, gyakorlati példákat hoz fel arra, hogy a szabványok általános elfogadása az ipari termelés messzemenő stabilizálását eredményezi, szilárd, reális alapot nyújt a kereskedelmi ügyletek lebonyolítására és ezzel nagymértékben csökkenti a kereskedelemmel, vállalkozással járó kockázatot, úgyszólván majdnem kizárja a tisztességtelen kereskedő érvényesülésének lehetőségét. Az Egyesült Államok szövetségi kormánya például a szabványok révén közbeszerzéseinél elért megtakarításokat hivatalosan évi 100 millió dollárra becsüli. Az amerikai National Industrial Conference Board az építőiparra vonatkozólag az elérhető megtakarítást évi 2 milliárd dollárra becsüli. Viszonylagosan hasonló jelentésekkel rendelkezünk Európának valamennyi gazdasági szempontból számottevő országából.

A magyar szabványosítás előbb tisztán a tömeggyártást szolgáló méretekkal foglalkozott, most a nyerstermékek és a félkészítmények minőségi, szállítási és átvételi feltételeinek és az ipari, elsősorban az építőipari munkák keresztülvitelére vonatkozó részletes feltételeknek megállapítására helyezi a fősúlyt. A működő, illetve a munkára készen megszervezett szakbizottságok száma 25. Azok és albizottságaik 5 év alatt 150 ülést tartottak.

Hivatkozott továbbá arra, hogy a bizottság a szabványügyi intézetek nemzetközi szervének, a *Federation Internationale des Organismes Nationaux de Normalisation*-nak tagja lett és megfelelő arányban hozzájárul költségvetésének fedezéséhez. Az utóbbi négy évben a szövetség keretében tartott 20 kongresszuson és szakértekezleten volt küldöttségileg érdekelve.

A költségvetéssel kapcsolatban megemlíti, hogy a kereskedelemügyi miniszter a Magyar Vasművek és

Gépgyárak Országos Egyesülete kebelében tömörült vállalatok, valamint a vas- és gépipar körébe tartozó nagyobb köz- és magánüzemek, nevezetesen m. kir. államvasutak, a m. kir. állami vas-, acél- és gépgyárak, Budapest székesfőváros közlekedési rt., Rimamurány-Salgótarjáni Vasmű rt. és a Győr-Sopron-Ébenfurti vasúttársaság vállalták létszámuk arányában annak fedezését.

Arra való tekintettel, hogy a szabványosítás nem tekinthető elsősorban a termelőipar érdekének, hanem különösképpen a fogyasztó érdekeit is szolgálja, szóval közérdek is, az állam megfelelő arányban való támogatását kéri. A Magyar Vasművek és Gépgyárak Orsz. Egyesülete tudatta a Bizottsággal, hogy a költségeihez való hozzájárulást 1930. évi december végén elvben beszüntette, úgyhogy az elnökség kénytelen lesz a főbizottságnak a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság feloszlását javasolni, és Magyarországot a nemzetközi szövetségből kiléptetni. E végső lépés elkerülése érdekében azzal a kéréssel fordultak a miniszter úrhoz, hogy a bizottság ügyeinek rendezése iránt intézkedni méltóztassék. A Bizottság költségeit 50—60.000 P-ben állapította meg.

A főbizottság 1931. évi július hó 2-án tartotta hatodik ülését, amelyen *Orphanides János* elnök jelenti a szanálás céljából kifejtett munkásságot. Jelenti, hogy a lefolyt év nagyrésze az iparfejlesztésről szóló törvény országgyűlési tárgyalásának elhúzódása folytán ment számára veszendőbe, mivel a kereskedelemügyi miniszter a Bizottság anyagi alapját az iparfejlesztési törvénynek a közszállításokra vonatkozó rendelkezései végrehajtásával kapcsolatban kívánta rendezni. Reámutatott arra, hogy *Magyar Zoltán* dr., a közigazgatás racionalizálásának m. kir. kormánybiztosa, az elnökséget a tárgyalásokban hathatós támogatásban részesítette. Ismertette a kereskedelemügyi miniszterhez beküldött beadványt. Anélkül, hogy mint befejezett tényről közölhetné, jelzi, hogy a dotáció biztosítására alkalmas módként megfontolás tárgyát alkotja, hogy a közszállítási beszerzések után a beszerző hivatalok a szállítási érték bizonyos ezrelékében megállapított hányadát a kereskedelemügyi miniszter rendelkezésére bocsátják, aki ebből a bizottságnak évi 50-60.000 P-t nyújthat.

A minisztertanács előtt 1931. július 10-én volt is egy olyan javaslat, hogy a 20.000 P-t meghaladó közszállítások összegéből 1/20 százalék a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság részére levonásba helyeztessék. Röviddel utána azonban beállt a gazdasági válság, a *Bethlen*-kormány lemondott és a kilátásba

helyezett támogatás elhalasztódott.

Ennek következtében a főbizottság 1931. év november hó 19-én összehívott utolsó ülésén az elnök bejelentette, hogy a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság elnöksége szeptember hó 23-án tartott értekezletén tisztségéről lemondott, október 1-én a tisztviselőknélfelmondott és megkezdte a Bizottság irodájának likvidálását. A kereskedelemügyi kormány nevében vitéz *Guóthfalvy Dorner Zoltán* dr. kijelentette, hogy amennyiben a felfüggesztés a jelen helyzetben elkerülhetetlenül bekövetkezik, ez csupán egy átszervezési időszakot jelenthet és semmiesetre sem jelentheti a hazai szabványügyi munkálatok lezárását. A külföldi kapcsolatokat illetőleg semmiesetre sem tartaná célszerűnek, ha a külföldet a bizottság felfüggesztéséről értesítenék. Nem szabad azt a látszatot kelteni, mintha a szabványosítás gondolata nálunk kudarcot vallott volna, amint meggyőződése szerint nem is vallott, csupán átszervezési nehézségekkel küzdünk. A kormány azon gondolkodik, hogy a szabványosítás, mint a racionalizálás szerves része kezeltesék és annak keretében történjék gondoskodás a szabványosítás önálló intézményes megoldására.

A főbizottság a Bizottság elnökének és alelnökeinek lemondását tudomásul vette és a likvidáció előkészítése érdekében foganatosított intézkedéseket jóváhagyta. Egyben úgy határozott, hogy a Bizottság működésének felfüggesztését a külfölddel ne közöljük.

Az elnök felkérte végül a kereskedelemügyi minisztert, hogy az átmeneti időszak alatt az ügyek vezetésére, a likvidáció lebonyolítására és a további szükséges intézkedések megtételére bizottságot nevezzen ki, melybe azoknak a hatóságoknak és érdekeltségeknek képviselői, melyek a bizottságot eddig fenntartották, helyezkednének el.

A likvidáció alatt rendelkezésre áll *Gellért Ede* főtitkár a felmondási idő keretében. A likvidáció során megállapítottatott, hogy a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság fennállása alatt 25 szakbizottságot állított fel, ezek a zárjelben foglalt számokkal az alakulás évét jelezve a következők:

műszaki rajzok (1921) *Láng Károly*, – csavarmenetek és csavarok (1922) dr. *Szabó Gusztáv*, – illesztések (1924) *Stark Oszkár*; – házi tüzelőberendezések (1926) *Feyér Gyula*, – gőzkazán (1928) *Schimanek Emil*, – vas- és acélanyag (1929) *Zorkóczy Samu*, – armaturák (1928) *Pikler Henrik*, – öntöttvascsövek (1928) *Herczegh Ernő*, – acél- és fémcsövek (1928) *Krcsméry Vladimír*, – automobil alkatrészek (1922) dr. *Horovitz György*, – vízvezeték, gázvezeték, csatornázás és szennyvízderítés (1928) *Farkass Kálmán*, – központi fűtő, szellőző és ipari tüzelőberendezések (1928) *Bánó László*, – kőfaragó, műkö, ács és bádогоzási munkák (1928) *Schodits Lajos*, – épületesztalos, kovács és mázólo munkák (1928) *Sándy Gyula*, – padló és burkolati munkák (1928) *Schulek János*, – szobrász, stucco és szobafestő munkák (1928) dr. *Hüttl Dezső*, – kárpitozó, redőny és címtábla munkák (1928) *K. Császár Ferenc*, – épületek elektrotechnikai berendezései (1928) *Chatel Vilmos*, – sprinkler berendezések (1930) *Varsányi Emil* dr., – szén és bitumen (1928) *Zorkóczy Samu* és papirosminőség (1930) *Bárány Béla* elnökletével.

A likvidáció alatt alakult a kereskedelemügyi miniszter rendeletére az országos textilszabványosító bizottság, elnöke: dr. *Misángyi Vilmos* (128.631/1932. K. M.), szakbizottságai:

gyapjútermékek: *Thiering Oszkár* dr., pamuttermékek: *Szurday Róbert*, kender-, len- és jutatermékek: *Maly Ferenc* dr. és textilipari anyagvizsgálat: *Dischka Győző* dr. elnökletével.

A Magyar Ipari Szabványosító Bizottság szakmai utódszervezetei

1932. január – 1933. március	Magyar Racionalizálási Bizottság
1933. április – 1941. május	Magyar Szabványügyi Intézet
1941. május – 1948. március	Magyar Szabványügyi Intézet Egyesület
1948. december – 1951. március	Magyar Szabványügyi Intézet és az Országos Szabványügyi Tanács
1951. március – 1995. december	Magyar Szabványügyi Hivatal
1996. január –	Magyar Szabványügyi Testület

Könyvismertetés

Fehérvári Attila: Ifjan – Éretten – Öregem

Ismét egy új kiadvánnyal gyarapodott az „Ifjan – Éretten – Öregén” az immáron 16 kiadványt számláló sorozat, mely során elkészült és kiadásra került Fehérvári Attila életét és a szakmai munkásságát bemutató kötet. A hagyományoknak megfelelően Dr. Tóth László professzor „beszélgetőtárs” közreműködésével összeállított, mintegy 286 oldal terjedelmű könyv gazdag képanyaggal illusztrálva vezeti végig az olvasót Fehérvári Attila több mint 80 éves életpályáján.

Betekintést nyújt az ifjú első évtizedeibe, abba a családi és társadalmi környezetbe, melyben – a II. világháború viszontagságos eseményei ellenére – a nyiladozó értelem és a tudásvágy kibontakozott, és felfedezhette a matematika szépségét. A Nehézipari Műszaki Egyetemen 1962-ben szerzett gépészmérnöki oklevéllel a zsebben – Zorkóczy Béla professzor meghívására – egyenes út vezetett évfolyamtársával, Rittinger Jánossal együtt a VASKUT-ba. Szakmai tevékenysége három évtizeden át, 1992-ig kötötte az intézethez, majd 2005-ig az általa alapított és vezetett WELMAT Kft.-hez.

A több évtizedes kutatómunka kiemelkedő szakmai eredményekkel tűzdelt: a ridegtörési érzékenység alapján acélkiválasztási rendszert dolgozott ki nyomástartó rendszerek gyártásához; módszert dolgozott ki a törésmechanikai anyagjellemzők becslésére az ütve-hajlító vizsgálat átmeneti hőmérséklete figyelembevételével; elméleti összefüggést vezetett be a mikroötvözés hatásának elemzésére. Ezen kutatási eredményei szabványokban és egyetemi oktatási anyagokban öltöttek testet. A 80-as évek elején részt vett az akusztikus emissziós anyagvizsgálatok bevezetésében. 1992-96 között tagja volt

az USA Nukleáris Felügyelő Bizottsága Nemzetközi Tanácsadó testületének. 1997-ben a New Yorki Tudományos Akadémia tagjának választotta.

Az Olvasó 80 kérdésen át követheti Fehérvári Attila életének alakulását, majd a mellékletek adnak betekintést többek között az iskolai tanulmányaiba, a kapott elismerésekbe, a külföldi utazásaiba, a publikációiba, tájékozódhat a kutatási jelentéseiről és a megbízásairól.

A kiadvány külön értéke, hogy a gazdag életpálya szakaszainál a szerző kitekint a hazai és nemzetközi

környezet eseményeire, beágyazza az életrajzi adatokat a kor meghatározó történéseibe.

Fehérvári Attila munkássága összekapcsolódott barátja, Rittinger János tevékenységével. Így nem meglepő, hogy a könyv második részében kapott helyet néhai Rittinger János életének mozaikjait bemutató rész, melyben *„egy nem lezárt és feldolgozott élet rövid tényeivel találkozhat a Tisztelt Olvasó”* (részlet Tóth László bevezetőjéből). Az áttekintés Rittinger János által összeállított könyvrészletből, életrajzából, szakmai publikációiból, elismeréseiből és felesége visszaemlékezéseiből állít emléket e kiváló szakembernek.

E kötetben bemutatott két szakember elévülhetetlen érdemeket szerzett az anyagtudományi és hegesztési szakmai életben, a nemzetközi és hazai szakmai egyesületek tevékenységében, mely eredményeket a nemzetközi tudományos élet is megbecsült.

Fehérvári Attila Ifjan – Éretten – Öregem kötetet bátran ajánlom pályatársainak, tanítványainak, az ifjú szakembereknek, akik koruknak és érdeklődési körüknek megfelelően történelmi környezetbe ágyazva ismerhetnek meg két gazdag szakmai életpályát.



Dr. Gáti József

Sikeresen befejeződött a Debreceni Egyetem Műszaki Karán (DE-MK)

Európa első

Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök képzése

Tóth László^a, Trampus Péter^b, Mankovits Tamás^c

^any. egyetemi tanár, Debreceni Egyetem

^bprofessor emeritus, Dunaújvárosi Egyetem

^ctanszékvezető, Debreceni Egyetem

Lehetséges, hogy tévedünk a „sikeresen” kifejezés használatával? Hiszen a speciális, oklevéllel záródó, szakmérnöki képzés akár világviszonylatban is az első volt! Bizonytalanságunk egyértelmű oka az, hogy szerte a világon forrong a szakma, hogy mit is kellene oktatni és milyen formában annak érdekében, hogy a nagy gazdasági kihatású, értéket őrző, de hosszú ideje üzemelő létesítmények biztonságos további üzemeltethetősége garantálható legyen. A DE-MK a MAROVISZ együttműködésével 2020 tavaszán kidolgozott egy olyan tematikát, amelyet a hazai és nemzetközi szakmai élet egyaránt üdvözölt. A 180 óra időtartamú képzés így 17 fővel, 2020 őszén „gőzerővel” megindult és kiváló szervezéssel a COVID okozta nehézségek dacára 2021. június 16-án két tantárgycsoport és az egyének által készített szakdolgozat eredményeinek átlaga alapján sikeresen zárult jó, jeles és kiváló minősítésekkel. A képzés struktúráját áttekinthette a Tisztelt Olvasó lapunk 2021/I. számában, így azzal nem kívánunk foglalkozni, a záróvizsgán adott osztályzatok átlaga valamivel a 4,5 felett volt. A résztvevők meghatározó hányada az olaj- és gáz- és a nukleáris iparból, valamint a K+F szolgáltatók területéről került ki.

A záróvizsgát megelőzően kértük a „hallgatókat”, hogy anonim módon értékeljék a tapasztaltakat – lehetőleg röviden. A következő válaszokat kaptuk:

„Miért választottam az Szerkezetintegritási és Roncsolásmentes Vizsgáló (SZI és RMV) Szakmérnök képzést? A munkámban (hegesztőmérnök) szorosan csatlakozik a hegesztett varratok roncsolásmentes vizsgálatához. Mivel ezt a területet kevésbé ismerem, csak futólag érintettem a hegesztőmérnök képzés alatt, most lehetőség adódott arra, hogy a mélységébe is beleáshassam magam.

*Mivel a cég támogatását sikerült megszerezni, örömmel vállaltam a képzésen való részvételt. **Mit vártam?** A roncsolásmentes vizsgálatok alapos és mélyreható ismeretét, hisz szó volt egy esetleges 3. szintű minősítés megszerzéséről is. Ettől függetlenül pedig a többi tantárgyból az általános és speciális ismereteim bővítését. **Mit kaptam?** Szerintem elbillent az egyensúly a SZI-i tantárgyak irányába. Úgy a RMV-i témák rövidebben és kevesebb óraszámban kerültek ismertetésre. Ettől függetlenül elégedett vagyok a képzés minőségével, az oktatók felkészültségével és a tantárgyak kiválasztásával. Köszönöm a lehetőséget!"*

*„Magas színvonalú oktatás. Magasan képzett oktatók.
Érthető, jól felépített oktatási anyag.”*

„Nekem nagyon tetszett a képzés, sikerült olyan ismeretekkel gazdagodni, melyeket egyedülállónak tartok a szakmérnöki kurzusok között. Igyekszem a jövőben az Anyagvizsgálók Lapjával szinten tartani a meglévő tudásom.”

„Miért választottam az SZI és RMV szakmérnöki képzést? Reméltem, hogy ez a szakmérnöki képzés a régi „anyagvizsgáló szakmérnök” képzés utódképzése lesz, szerteágazó ismereteket ad a roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokról, megbízhatóságról, eredményeiket befolyásoló tényezőkről. **Mit vártam?** A roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálati eljárások képességeinek, megbízhatóságának és alkalmazási lehetőségeinek részletekbe menő megismerését, ok-okozati összefüggéseinek mélyebb megértését. **Mit kaptam?** Roncsolásos- és roncsolásmentes vizsgálatok kevesebbet, szerkezetintegritási ismeretek témakörében lényegesen többet.”

„Hiánypótló képzés, tudtommal a 80-as évek óta nem
indult ilyen és természetesen, a technika és tudomány

azóta sokat változott, ezért össze sem hasonlítható vele. Írom ezt azért, mert hazai top szakemberek igen átfogó tudásukat osztották meg velünk, akik a szakma világszínvonalú képviselői is egyben, mivel jelenleg is tisztségeket töltenek be nemzetközi szakmai szervezeteknél, publikálnak és konferenciáznak. Megtiszteltetés volt részt venni ezen a képzésen."

*„Mit vártam a képzéstől? Az anyagvizsgálatok terén megszerezhető mérnöki tudásban a nagy generációs különbséget át fogja hidalni a képzés.” „Mit kaptam? Magyarországon a szakmai elit képviselőitől kaptuk az oktatást azokból a tantárgyakból, melyek a képzés meghatározó témái. A szerkezetintegritás témája - a törésmechanikai elemzésekkel - mely az anyagvizsgálatokkal együtt igen nagymértékben összefügg és egy rendszert alkotva sokkal komplexebb áttekintést, megközelítést és adott esetben jobb megoldást nyújt a feladataim végrehajtásához. **Bátran ajánlom** minden szakmát szerető Kollégámnak és Ismerősömnek a képzést!”*

„A képzésen való részvételemet az indokolta, hogy 10 éves ipari munkáim során többször kerültem kapcsolatba acélszerkezetek és nagynyomású gáz- és olajipari vezetékek roncsolásmentes vizsgálatával (KVV Zrt., Keviépf Kft. Keviépszer Kft., Tigáz DSO Kft.), majd 8 éves egyetemi oktatói tevékenységeim során gépek és gépelemek (csapágycak, hajtóművek) roncsolásmentes online és offline diagnosztizálásával, az ehhez kapcsolódó digitális jelfeldolgozással, gépi tanulási rendszerekkel, amely az oktatási és a kutatási területem lett. A képzéstől a roncsolásmentes technológiákban történő mélyebb ismeretszerzést vártam elméleti és gyakorlati szinteken, amely kiegészítésként szolgál a műszaki diagnosztika területen szerzett ismereteimnek. A képzéstől több területen hasznos ismereteket kaptam, viszont sajnos a Covid miatt kevesebb gyakorlati kontaktóra valósulhatott meg, hiánypótlónak és igen hasznosnak értékeltem a június 12-i színvonalas gyakorlati foglalkozást. Egyes vizsgálati technológiákat még érdemes lehet említeni és mélyebben bemutatni, amely a képzésen kevésbé volt hangsúlyos (pl. AE akusztikus emissziós vizsgálatok, Barkhausen-zaj mérésen alapuló rmv, kopásból eredő károsodások és tribológiai kapcsolatának vizsgálata). Összességében a képzést pozitívan értékelem.”

„Munkánk során mindig tapasztaltuk, hogy a berendezések károsodása megelőzhető lehetett volna. Ha tiszta lettünk volna a törésmechanika eredményeivel a javítás, a csere költségei csökkenthetőek lehettek volna. Szerkezetintegritás vizsgálat – az utóbbi időben az egyik leghasznosabb eljárás, amiről tudomást szerezhettem.

Köszönöm. **Ajánlásom:** Az előadások alapján sok forrásanyagot gyűjtöttem, de az összefüggések hamarabbi megértéséhez egy jegyzet kiadását javaslom."

„A képzést nagyon hasznosnak, az oktatókat rendkívül felkészültnek tartottam. A megszerzett tudás hasznos lesz a munkám során a jövőben. Egyetlen negatívumként a Covid okozta gyakorlati lehetőségek nagy részének elmaradását tudom csak kiemelni. Örülök, hogy a képzés első évfolyamában részt vettem.”

„A képzés során egy átfogóbb szemlélet formálódott bennem az ipari berendezések üzemeltethetőségével kapcsolatban, valamint azzal kapcsolatban is, hogy milyen roncsolásmentes vizsgálatokkal milyen fajta hibák mutathatóak ki a berendezésekben, illetve mikor, milyen beavatkozásokat érdemes tenni a biztonságos üzemeltetés érdekében. Ezt a szemléletet mindenképp érdemes elsajátítani az ilyen területeken dolgozó szakembereknek, így csak ajánlani tudom a képzést mindenkinek.”

„Számomra nem volt kérdés a képzésen való részvétel. Az oktatás tematikája, felépítése, szakmaisága és minősége rendkívül megfelelő és magas szintű volt. Az előző évtizedben rohamos fejlődésnek indult az NDE, ezért is tartottam hiánypótlónak és szükségszerűnek egy ilyen jellegű szakmérnöki képzés meghirdetését. A fejlődést le kell követni, alkalmazni és ismerni kell az új technológiákat. Azon Cégeknek, akik hosszú távon és fejlesztésekben gondolkodnak, javaslom Munkavállalóik beiskolázását. A lehetőséget, a megszerzett hasznos tudást köszönöm a Professzoroknak, Oktatóknak és a Debreceni Egyetem Munkatársainak.”

„Hogy **miért jelentkeztem?** Jött a Covid és kellett egy „idő-töltés”... Amúgy viccet félretéve, én már évek óta vártam egy szakmérnöki képzésre a BME-n „anyagvizsgáló szakmérnök” címmel, de 4 éve hitegetnek, hogy elindítják és a mai napig nem indult el, így erre a lehetőségre lecsaptam. **Amit vártam** az egy szélesebb körű ismeret, egy szemléletmód. Ennek a képzésnek nem célja az anyagvizsgálatokkal történő mély ismeretszerzés, hanem egy átfogó képet kell adjon az összes használható módszerről, eljárásról – a hagyományos technikákon át a legmodernebbekig - , amit meg is kaptunk. Az én fő célom volt mind abba betekintést szerezni, ami a vizsgálatokon kívül elhangzott. Az én **személyes javaslatom** a jövőre vonatkozóan, hogy 1-1 tárgy (gépi tanulás, statisztika/valószínűségszámítás stb..) helyére érdemes volna anyagismeretet/anyagszerkezetant beilleszteni. Ennek oka többes: egyrésztől nagyon

sokan nem tudják a helyszíni replika szövetszerkezet vizsgálatokat értelmezni. Másrészt pedig a különböző szövetszerkezet típusok és azok károsodása/ellenállóképesége szorosan összefügg a tanultakkal, nem beszélve a szövetszerkezeti hibákról. Tehát az én javaslatom károsodás szemszögből oktatni az anyagismeretet."



„Köszönetet szeretnék mondani a képzésért. Nem lehetett egyszerű összeállítani, engedélyeztetni a posztgraduális képzést; nem beszélve az oktatástól a számonkérésen át az államvizsgáig tartó folyamat lebonyolítását, amit a COVID igencsak átírt. Egy nagyon is igaz mondat jutott eszembe az oktatókra gondolva: "Ha egy évre tervezel, ültess rizst, ha 10 évre, akkor fát, ha 100 évre, akkor neveld és oktasd gyermekeidet."



„A képzés legnagyobb hasznát számomra (mondhatom szerintem, hogy számunkra) az jelentette, hogy a szerkezetintegritási kérdéseket összefogóan láttuk, így egy globális kép alakult ki a szerkezetek biztonságos üzemeltetéséről, ezáltal az általunk elvégzett munka minősége egy

magasabb szintre emelkedhet, továbbá olyan kapcsolatok tudtuk kialakítani, amely a különböző szakterületek (vegyipar, nukleáris ipar...) szakembereit összekovácsolva egy ún. „segítségkérő-nyújtó csapatot” hozott létre. A szakmai tudásunkhoz való legnagyobb hozzájárulást az nyújtotta, hogy az oktatóink nemcsak az egyetem falain belülről, hanem a szakma elismert és nagyra becsült képviselő közül kerültek ki, valamint olyan korszerű tananyagot – tudást – adtak át nekünk, amelyeket más képzéseken még meg sem említettek volna. Lásd ilyenek az MMM (metal magnetic memory) módszer, mely segítségével már előre becsülhető az anyag folytonossági hiányainak megjelenési helyei vagy a TFM/FMC (total focusing method/full matrix capture) legmodernebb ultrahangos vizsgálati módszer, amely más ultrahangos módszerekhez képest egy korszerűbb megjelenítést alkalmaz, melynek segítségével a valósághoz közelebbi indikációt kapunk a hiányokról. Úgy érzem, nagyon sokat tanultam ezen a képzésen, és nem csak a szakmai tudásra gondolok, hanem szemléletmódra is. Nagyon hálás vagyok mindenért, amit e képzés nyújtott nekem, valamint külön köszönet a mindig elérhető és segítőkész oktatóinknak."

Szerkezetintegritási és Roncsolásmentes Vizsgáló Szakmérnöki Képzés a Debreceni Egyetemen

A Debreceni Egyetem Műszaki Kara ismét elindítja a Szerkezetintegritási és Roncsolásmentes Vizsgáló Szakmérnöki Képzését a 2021/2022 tanév őszi félévében.

A 180 óra terjedelmű 2 féléves képzés 13 tantárgyában 20%-ot képviselnek a matematikai, 35%-ot az anyagokra vonatkozó és 45%-ot a roncsolásmentes vizsgálati módszerek. A képzést sikeresen befejező hallgatók a MAROVISZ harmadik szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanúsítását is megkaphatják.



**DEBRECENI
EGYETEM**

Bővebb információ a [Kar honlapján!](#)

Továbbá érdeklődhet Dr. Mankovits Tamás, tanszékvezetőtől: tamas.mankovits@eng.unideb.hu

A Debreceni Egyetem szakmérnöki tanfolyamának tapasztalatairól

Az Amerikai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (The American Society for Nondestructive Testing, ASNT) egyik jelentős konferencia sorozatának következő eseménye augusztusban kerül megrendezésre:



A Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálati Akadémia (Academia NDT International) lehetőséget kapott a rendezvény egy önálló szekciójának a megszervezésére. Miután a Debreceni Egyetem Műszaki Kara és a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség által közösen szervezett és a nyáron záródott "Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló" szakmérnöki kurzus az Academia által zászlóra tűzött "NDT Integrity Engineering" pilot kurzusa volt, ezért szervezői kézenfekvőnek tartották, hogy tapasztalataikat megosszák a szélesebb szakmai közönséggel. A rendezvény – tekintettel a pandémia helyzetre – hibrid formában kerül megrendezésre.

Trampus Péter, Tóth László és Mankovits Tamás konferencián elhangzó előadása a Magyarországon, de kijelenthető, hogy a világon is újszerű és egyedülálló megközelítésű képzés tapasztalatait foglalja össze. A mérnöki szerkezetek biztonságához hozzájáruló képzés lényege, hogy integrálja a roncsolásmentes

vizsgálat, a törésmechanika, az anyagtudomány és más tudomány területek ismereteit, és nyújt ilyen módon komplex ismereteket az olaj- és gázipar, a nukleáris energia és más iparágak, valamint a kutatás és fejlesztés területén dolgozó mérnökök számára.

A tanfolyam különlegessége, ami egyben előnye is, hogy a képzésben az Egyetem oktatói mellett kiemelt szerepet kaptak a MAROVISZ szakemberei. Ez különösen fontos információ egy másik (mellesleg a világ legnagyobb) nemzeti roncsolásmentes vizsgáló szövetség rendezvényén. Az előadás a Debreceni kurzus tapasztalatait foglalja össze, amelyek – a hallgatók visszajelzéseit értékelve – összességében pozitívak, és e szám egy másik cikkében olvashatók. Az előadás online formában hangzik el.

Trampus Péter

Krállics György (1951-2021)

Krállics György 1974-ben szerezte meg gépészmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen és itt is kezdte meg akadémiai pályafutását az egyetemi végzést követően az Anyagtudomány és Technológiai Tanszék jogelődjén. Itt lett gyakornok, tanársegéd, adjunktus majd egyetemi docens. Kandidátusi fokozatot Moszkvában szerzett, de volt vendégkutató Németországban, Kanadában és az Egyesült királyságban is.



oktatta a képlékenyalakítás elméleti alapjait és úttörő szerepet vállalt egy új szakterület, a képlékenyalakítás numerikus szimulációjának megteremtésében. Ezen a területen elért eredményei alapján kapta meg a Miskolci Egyetem rektorától 2019-ben a Miskolci Egyetem érdemes oktatója kitüntető címet.

A pályán eltöltött 47 év után is nagyon szerette mindazt, amit csinált, a nap 24 órájában volt kutató és oktató. Magával ragadó, mindig vidám és optimista személyisége minden munka-

A nanoszerkezetű, ultra-finomszemcsés anyagok területén végzett eredményeiért 2015-ben Dr. habil címet kapott. Az intenzív képlékenyalakítás szakterületen elért magyarországi és nemzetközi viszonylatban is jelentős eredményei alapján lett meghatározó tagja 2006-tól a Bay Zoltán Alapítvány Miskolcon megalakuló, Nanotechnológiai Kutatóintézetének. Alapító osztályvezetője volt a Nano-alakítás osztálynak, egészen az intézet átszervezéséig. Szakmai és emberi nyitottságát mutatja, hogy 2011-től a Miskolci Egyetemen a Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetben vállalt feladatokat, tudományos munkatárs lett, majd itt teljesedett ki akadémiai karrierje, mert a képlékenyalakítási szakterület vezetőjeként 2016-ban megkapta professzori kinevezését.

Ahogy szakmai kapcsolati rendszere a földbolygó kelet és nyugati fele közt ívelt, úgy testesített meg személyisége egy kapcsolatot, hidat a BME, a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kara és a Gépészmérnöki Kara valamint a Bay Intézet között, egészen hirtelen bekövetkező haláláig. Gépészmérnök hallgatók ezrei tanulták tőle az anyagszerkezettant, az anyagvizsgálatot és a képlékenyalakítás elméletét. Miskolcon anyagmérnök hallgatók kisebb, de nagyon lelkes csoportjának

társat inspirált. Mindenkit támogatott intézménytől, hovatartozástól függetlenül, és konfliktusok nélkül tudott együtt dolgozni bármelyik szakmai közösséggel. Szakterületének egyik legfelkészültebb oktatója, kutatója volt, aki ennyi év után is a felmerült feladatok felé lelkesedéssel és egyfajta alázattal fordult. Ugyanolyan intenzitással tartott előadást a több száz fős előadóban, mint a néhány fős szeminárium teremben vagy az online térben, akár szombat délelőtt is. A hallgatókat tisztelte és annak ellenére, hogy nehéz tárgyakat oktatott, ők is tisztelték, tisztelik ma is, szaktudását, emberségét. Bizonyítja ezt az a sok-sok üzenet, amit halálhíre kiváltott még a külföldi hallgatóink körében is.

A 70. születésnapja előtt sem terveztünk a visszavonulására, új projektekre, új feladatokra, aktív professzor emerituszságra készültünk. De nincs több szűrőterv, lefutott az utolsó szimuláció.

**Krállics professzor, nagy az űr, amit hagyta!
Nyugodj Békében!**

Dr. Mertinger Valéria

Polimer kompozitok károsodásának meghatározása újszerű módszerrel

Magyar Balázs^a, Dr. Szebényi Gábor^b

^aPhD hallgató; ^begyetemi docens

^{a,b}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

^amagyarb@pt.bme.hu, ^bszebenyi@pt.bme.hu

Absztrakt

Ebben a cikkben egy újszerű, automatizálható roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer megvalósíthatóságát mutatjuk be. A módszer alkalmazása során a felhasznált próbatestekről 3D Scanner segítségével felületi modelleket alkottunk a bevezetett terhelés előtt és után. A kapott felvételekből megállapítható a létrejött károsodás típusa és mértéke is. Ezzel egy első lépést lehet tenni egy-egy hosszútávú terhelésnek kitett alkatrész kialakult károsodásának megfigyelésére.

Kulcsszavak:

3D Scan, kompozit, károsodás

1. Bevezetés

A polimer kompozitok térnyerése a XXI. században már megkérdőjelezhetetlen azok kiváló mechanikai tulajdonságai miatt. Elmondható, hogy alacsony sűrűséghez kiváló szilárdság társul, amelyet a terhelés irányának megfelelően lehet alakítani, ezzel nagyobb mérnöki szabadságot teremtve [1]. A hétköznapi életben is már színes palettában jelennek meg a polimer kompozitok, kezdve a sportfelszerelésektől az autóiparon át a repülőgépiparig [2, 3]. A nagyobb igénybevételnek kitett kompozit alkatrészek felülete vizsgálatára megkerülhetetlen témakör. A roncsolásmentes anyagvizsgálatok segítségével lehetőség nyílik ezen rendszerek valós idejű megfigyelésére, ezáltal a nagy veszélyeket rejtő, hirtelen tönkremenetel megjelenése csökkenthető. A szénszálas rendszerek esetében kiemelt szerepet kap azok állapotvizsgálata, hiszen egy kezdeti vagy egy külső hatásra keletkezett hiba hatalmas veszélyeket rejthet magában. Kezdeti vagy külső hatásra kialakult hibának köszönhetően a végső tönkremenetel alacsonyabb terhelési szinten jelenhet meg, hirtelen, nagy energiafelszabadulás mellett, amely rendkívüli veszélyeket rejt önmagában. Az állapot felülete a kompozitok esetében nem véletlenül nyert az elmúlt években ekkora hangsúlyt [4]. Elmondható, hogy számos állapotfelületelemzés ismert

már a területen [5, 6], azonban ezen módszerek legtöbbször komoly, összetett méréseket igényelnek, kezdve az akusztikus emissziós (AE) [7] mérésektől, a digitális képkorreláción (Digital Image Correlation - DIC) [8] át akár a termoanalízisig (IR) [9].

Kutatómunkánk során egy olyan vizsgálati módszert fejlesztettünk ki, amely alatt egy külső hatás által megjelenő károsodás formájára lehet következtetést levonni, továbbá a kialakult deformációkat lehet megfigyelni. A vizsgálat folyamán 3D scanner segítségével a külső behatásnak kitett kompozit elemeken létrejött felületeket olvastuk be. A kapott felvételek segítségével meghatározható a megjelenő károsodás jellege és mértéke. A mérési módszer segítségével egy-egy kompozit elem további használatára lehet következtetéseket levonni.

2. Mérések bemutatása

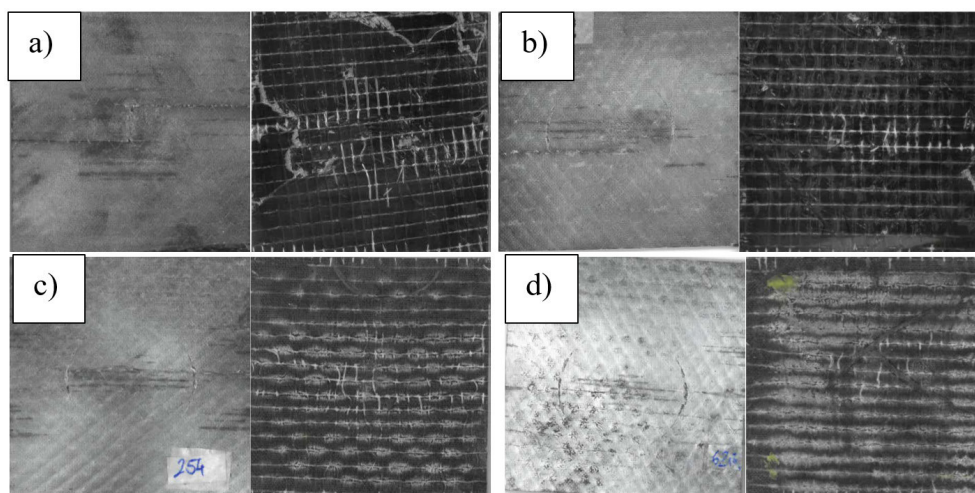
Egy kompozit elem szilárdsága, különböző nagy energiájú behatások következtében jelentősen megváltozhat. Egy esetleges dinamikus behatásnak köszönhetően az anyagban olyan károsodások alakulhatnak ki, amelyek jelentősen visszavethetik annak mechanikai tulajdonságát. A dinamikus terhelés hatására több típusú károsodás is megjelenhet a kompozit elemeken, amelyek kimutatása sokszor nehézségekbe ütközik.

A kezdeti hibákat Ceast Fractovis 9350 típusú ejtődárdás berendezés segítségével hoztuk létre 80x80x2 mm-es méretű unidirekcionális szénszál erősítésű (UDCF) próbatesteken különböző terhelések mellett. A hiba kialakítás során alkalmazott paraméterek az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Mérési paraméterek - ejtődárdás vizsgálat

Dárda típusa	M3144 22kN
Össztömeg	6,41 kg
Becsapódási energia	5, 10, 15, 20 J

A dinamikus igénybevételek hatására több típusú károsodás is megjelenhet. Legtöbb esetben a legnagyobb problémát a becsapódás környezetében létrejövő rétegelválás jelenti,



1. ábra: Próbatetek dinamikus terhelés utáni felülete (baloldali párok az ütés felőli oldalak, jobbpárok az ellentétes oldal); a) 5J-, b) 10J-, c) 15J-, d) 20J becsapódási energia

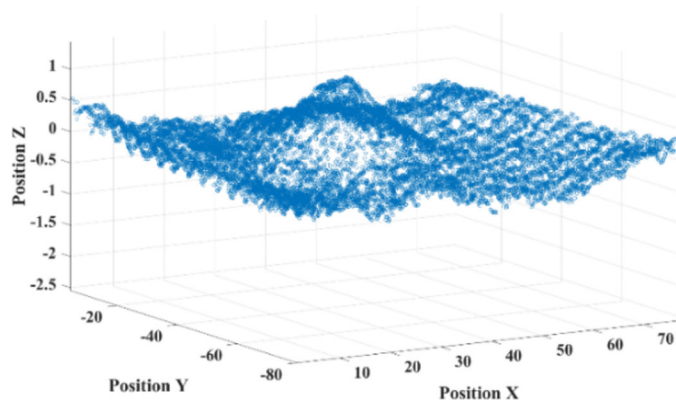
azonban a létrejövő hajlító-, valamint nyíró igénybevételek hatására a mátrixban további károsodások is megjelenhetnek. Ezek megfelelő detektálására lehetőséget biztosítanak a különböző roncsolásmentes (non-destructive testing – NDT) anyagvizsgálatok, amelyek segítségével akár egy szerkezeti elemről annak további alkalmazhatósága is meghatározható.

A kísérletek alatt 4 próbatesten végeztünk ejtődárdás méréseket, a már említett terhelések mellett. A legtöbb esetben az első mintavételezés folyamán szemrevételezés segítségével lehet megállapítani egy-egy alkatrész károsodását. Elmondható, hogy a módszer a vizsgálatot elvégző szakember szubjektív véleményétől erősen függ, nehezen számszerűsíthető. A károsodott kompozit laminátumokról készített lap scannelt felvételek alapján a károsodás, illetve az ütés hatására kialakult deformációról kevés információ kapható (1. ábra).

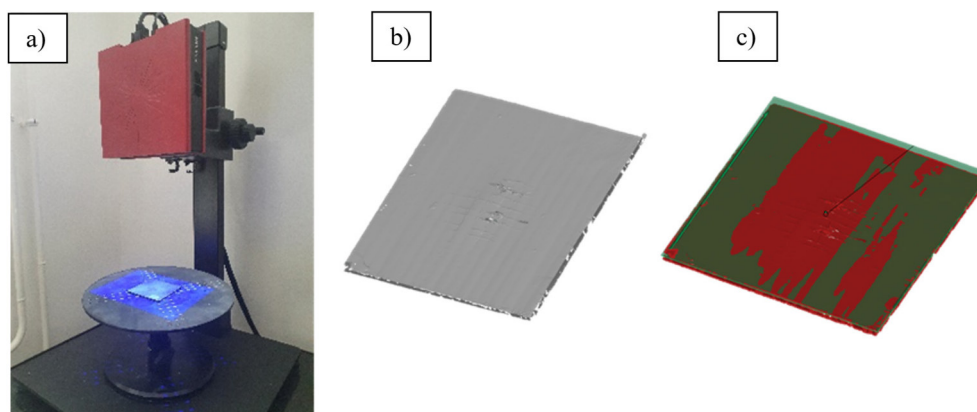
További információk érdekében, a létrejött deformáció nem csak szemrevétel alapú értékelésének érdekében 3D optikai mérőrendszert használtunk

fel. Segítségével az ütés előtti-, valamint ütés utáni felület hasonlítható össze pontosan. Ehhez GOM Atos Core 5M típusú optikai mérőrendszert alkalmaztunk (2.a ábra). A beolvasás után a kapott felületi modellt (2.b ábra) a további MatLab programban való feldolgozáshoz orientáltuk GOM Inspect program segítségével (2.c ábra).

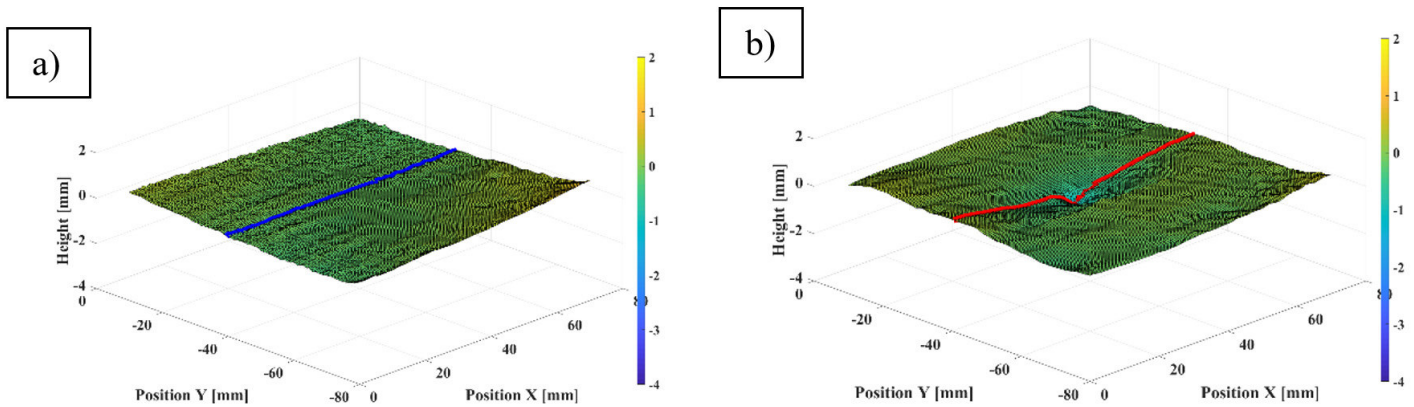
A próbatetek felületéről kapott modell további feldolgozását MatLab programban végeztük el.



3. ábra: MatLab programban generált pontfelhő



2. ábra: a) Próbatetst „beolvasása”, b) beolvasott felületi modell, c) orientált felületi modell



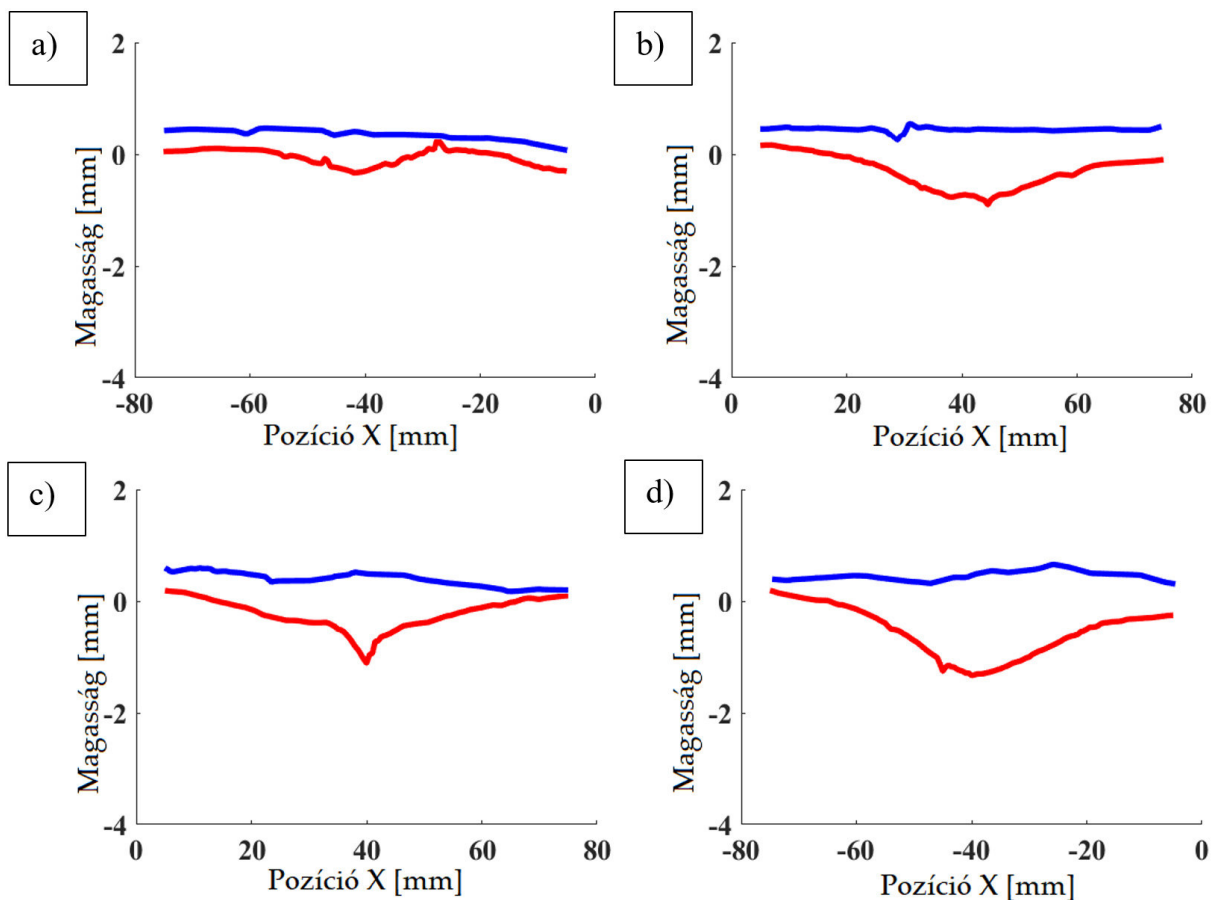
4. ábra: MatLab környezetben készített felületi modell;
a) Becsapódás előtt, b) Becsapódás után

A 3D scanner által készített pontfelhő (3. ábra) segítségével felületet hoztunk létre, pontokra való illesztések segítségével.

A 4. ábra alapján látható, hogy a becsapódás során valóban létrejött a lenyomatot is eredményező kezdeti károsodás. A megjelenő felület nem követi le az alkalmazott félgömb geometriájú dárdafejet. Ennek oka az alkalmazott szálérősítés kialakítására vezethető vissza, szálirányban jobban elterül a kialakult felület.

3. Eredmények

A becsapódás környezetében létrejött deformációt további metszetek segítségével lehet felmérni, valamint számszerűsíteni. Az 5. ábra mutatja ezen metszeteket, amelyeket a 4. ábra is reprezentálja. A kék színű metszet a terhelés előtti, míg a piros színű a terhelés hatására kialakult állapotot mutatja. Elmondható, hogy igen kis terhelés hatására is (5J) megjelent egy kisebb deformációs zóna, amelyet ezen módszer segítségével sikerült kimutatni.



5. ábra: Kialakult deformációk a próbatesteken különböző terhelési szinteken:
a) 5J, b) 10J, c) 15J, d) 20J

Elmondható, hogy a létrejött deformáció megfigyelhetőségének határát az alkalmazott 3D scanner pontossága szabja meg.

Látható, hogy milyen mértékű kimutathatóság jelenik meg az 1. ábra és az 5. ábra alapján. Elmondható, hogy az egyszerű szemrevételezés során a hiba értékelése szubjektív, valamint nehezen számszerűsíthető, ám a módszer segítségével már a deformáció mértéke számszerűsíthető. Megfigyelhető, a kialakult deformációk közti különbség a különböző ütési energiák hatására a kompozit lemezekben. A becsapódás mélysége mellett fontos tényező még a létrejött károsodási zóna is. A zóna kiterjedése a becsapódás energiájának növelésével szintén jelentősen növekedett. Ennek hatására jellemzően delaminációs jelenségek következtek be, amely a kompozitok jelentős szilárdság vesztesével járhat.

4. Összefoglalás

A kifejlesztett módszer segítségével lehetőség nyílik a kompozit alkatrészek minőségi állapot felügyeletének monitorozására. Elmondható, hogy a megjelölt deformáció folyamatosan értékelhető, amely segítségével egy-egy alkatrész felhasználása alatt kialakult deformációk figyelhetők meg. A vizsgálat korszerűségét mutatja, hogy komolyabb berendezés nem szükséges a mérés elvégzéséhez, a modern technikának köszönhetően a 3D scannelés már egy okostelefon segítségével is ellenőrizhető. A kapott modell továbbá már MatLab környezetben feldolgozható és dokumentálható.

További kutatásunk során a méréseket validálni fogjuk MicroCT és C-scan segítségével.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásban közölt eredmények megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (NKFIH FK 124352) támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Godara SS, Yadav A, Goswami B, Rana RS. Review on history and characterization of polymer composite materials. *Materials Today: Proceedings*. 2021.
- [2] Hsissou R, Seghiri R, Benzekri Z, Hilali M, Rafik M, Elharfi A. Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*. 2021;262:113640.
- [3] Sherwani SFK, Sapuan SM, Leman Z, Zainuddin ES, Ilyas RA. Chapter 15 - Application of polymer composite materials in motorcycles: A comprehensive review. In: Sapuan SM, Ilyas RA, editors. *Biocomposite and Synthetic Composites for Automotive Applications*: Woodhead Publishing; 2021. p. 401-26.
- [4] Gholizadeh S. A review of non-destructive testing methods of composite materials. *Procedia Structural Integrity*. 2016;1:50-7.
- [5] Derusova DA, Vavilov VP, Druzhinin NV, Kolomeets NP, Chulkov AO, Rubtsov VE, et al. Investigating vibration characteristics of magnetostrictive transducers for air-coupled ultrasonic NDT of composites. *NDT & E International*. 2019;107:102151.
- [6] Chandra Sekhara Rao PV. Study on Effects of Matrix Modifications on the Properties of Polymeric Composites by using NDT technique. *Materials Today: Proceedings*. 2021.
- [7] Brunner AJ, Potstada P, Sause MGR. Microscopic damage size in fiber-reinforced polymer-matrix composites: Quantification approach via NDT-measurements. *Procedia Structural Integrity*. 2019;17:146-53.
- [8] Szebenyi G, Hliva V. Detection of Delamination in Polymer Composites by Digital Image Correlation—Experimental Test. *Polymers*. 2019;11:523.
- [9] Szebenyi G, Hliva V, Magyar B. Development of interphase engineering techniques for the ductility improvement in CF/EP composites – Comparison of NDT methods for delamination localization. *Materials Today: Proceedings*. 2021;34:113-6.

Anyagvizsgálati lehetőségek a cink-foszfátozó felület-előkezelő folyamatok technológiai ellenőrzésére

Herbáth Beáta^a, Kovács Kristóf^b

^aBPW-Hungária Kft., Szombathely

PhD hallgató, Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola,
herbathbea@gmail.com

^bPannon Egyetem Mérnöki Kar, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ, egyetemi docens,
kris@almos.uni-pannon.hu

Absztrakt

A mezőgazdasági gépek festés előtti foszfátozó eljárása során a kezelt fém felületeken 1-2 mikrométer vékony, mikrokristályos cink-foszfát réteg keletkezik, ez a közbenső konverziós réteg szolgál a szerves (festék) bevonatok tapadásának és korrózióállóságának növelésére. Ebben a cikkben a cink-foszfát bevonatok vizsgálatait mutatjuk be különböző összetételű és felületű mintalemezekben. A roncsolásmentes vizsgálatok eredményei tartalmazzák a felületi hibahelyek képeit, a hibahelyek struktúráját és összetételét, illetve az optikai emissziós spektrometriával (OES), a pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), röntgen mikroanalízissel (EDS), illetve a digitális fénymikroszkóppal (LM) mért adatokat. Azokat a vizsgálati módszereket mutatjuk be, amelyek jelen vannak a legtöbb járműgyártónál, vagy könnyen elérhetők külső laboratóriumban.

Abstract

Prior to painting of agricultural machinery, a thin (1-2 micrometres) microcrystalline zinc phosphate layer is formed on the treated metal surfaces. This intermediate conversion layer increases the adhesion and corrosion resistance of organic (paint) coatings. This paper discusses investigation zinc phosphate coatings on sample plates of different compositions and surfaces. Results of non-destructive studies include images of surface defects, structure and composition defects and other data obtained by optical emission spectrometry (OES) by scanning electron microscopy (SEM) X-ray microanalysis (EDS) and digital light microscopy (LM). These test methods are provided by most vehicle manufacturers or are readily accessible in external laboratories.

Kulcsszavak

felület-előkezelés, cink-foszfát, kristályszerkezet, pásztázó elektronmikroszkóp, optikai emissziós spektroszkópia

Keywords

surface pre-treatment, zinc-phosphate, crystal structure, scanning electron microscope, optical emission spectroscopy,

1. Bevezetés

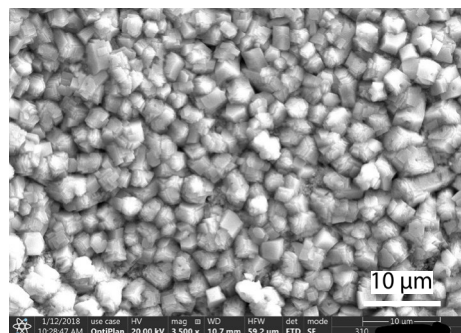
Napjainkban a járműgyártás területén már nemcsak a személygépjárművek esetében lényeges a fémfelületek korróziógátló bevonatolása, hanem a tehergépjárművek és a mezőgazdasági járművek esetében is. A mezőgazdasági gépek és alkatrészek festés előtti felület-előkezelési technológiája az elmúlt években már felzárkózott az autógyártásban elvárt minőségi elvárásokhoz. A festésre kerülő munkadarabok esetében a mechanikai és kémiai felülettisztításon kívül a fémfelületeket vékony foszfátréteggel kell bevonni, amelyhez a végleges bevonatot képező festékrétegek jól tapadnak. A festés előtti eljárás során, a kezelt felületen 1-2 mikrométer vékony, mikrokristályos cink-foszfát réteg keletkezik, ez a közbenső konverziós réteg szolgál a szerves (festék) bevonatok tapadásának és korrózióállóságának növelésére. A cink-foszfát rétegek matt szürkés-sötétszürkés színűek, a kristályokkal borított fémfelület kb. 5-6-szorosa a sima fémfelületnek.

A szabályozott foszfátozási technológiai folyamat meghatározott működési ablakain belül, a különböző összetételű és felületi tulajdonságú fémfelületeken a konverziós bevonat tulajdonságai eltérőek lesznek, így változnak a végső, többretegű bevonat korrózióállósági tulajdonságai is. Az egyenes bevonatminőség biztosítása érdekében a cink-foszfátozási folyamatban létrehozott kristályos konverziós bevonatot és az alapfémeket is vizsgálni szükséges. A foszfátozási folyamat során készített mintalemezek vagy mintadarabok vizsgálatai között szerepelhetnek kémiai analitikai vizsgálatok, roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálatok, hordozható optikai emissziós spektrométerrel (OES) végzett anyagösszetétel mérések, digitális

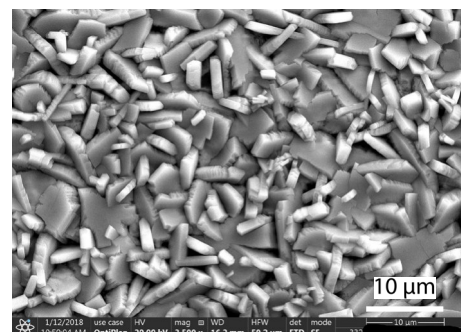
fénymikroszkópos (LM) vizsgálatok, valamint pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és a hozzá csatlakoztatott energiadiszipatív röntgenanalizátorral (EDS) végzett vizsgálatok. A leképező módszerekkel azonosított kristálystruktúrák, felületi hibahelyek, a hibahelyek szerkezete és összetétele nélkülözhetetlen információt ad a felület-előkezelési folyamatok beállításához.

2. Elektronmikroszkópos mikroanalízis vizsgálatok

Az elektronmikroszkópokban az elektronsugár és az anyag között létrejövő kölcsönhatások olyan jelek kibocsátását is eredményezik, amelyek nem csupán a képalkotást teszik lehetővé, de a minta jellemzőiről is fontos információkkal szolgálnak. A **pásztázó elektronmikroszkóp (SEM)** képalkotási elve a pásztázáson alapul, pontról-pontra haladva folyamatosan képezi le a minta felületét egy fókuszált elektronnalábbal és a mintából kilépő szekunder elektronokkal, vagy a mintából származó egyéb jelekkel (pl.: visszaszórt elektronokkal, röntgensugárzással) a számítógép képernyőjén sorról sorra, pontról pontra megjeleníti meg a képet. A legtöbb pásztázó elektronmikroszkóp fel van szerelve elektronsugaras mikroanalízisre alkalmas röntgenspektrométerrel, így a pontos morfológiai, mikroszerkezeti azonosítással együtt jól alkalmazhatók fémminták finomabb szerkezetének és összetételének tanulmányozására. A pásztázó elektronmikroszkópokban az elektronsugár és az anyag között létrejövő kölcsönhatások olyan másodlagos jelek kibocsátását is eredményezik, amelyek nem csupán az anyag belső és felszíni szerkezetéről történő képalkotást, de annak kémiai jellemzőiről is fontos információkat hordoznak. A legkiterjedtebben és a leghasznosabban a karakterisztikus röntgensugárzás használható analitikai célokra, az anyag elemi összetételének vizsgálatára. A karakterisztikus röntgensugárzás az elektronhájak közötti elektronátmenetet követő energiakibocsátás egyik formája, spektruma a kibocsátó elemre jellemző. Ezen túlmenően a **visszaszórt elektronok** is használhatóak anyagvizsgálati célokra, mivel a fémek és fémötvözetek elektronvisszaverő-képessége az elemek rendszámától függ, azzal bizonyos arányosságot mutat. A nagy rendszámú elemekben dús felület világosabban jelenik meg



1. ábra: Mártó rendszerű folyamat kristályképe (SEM)



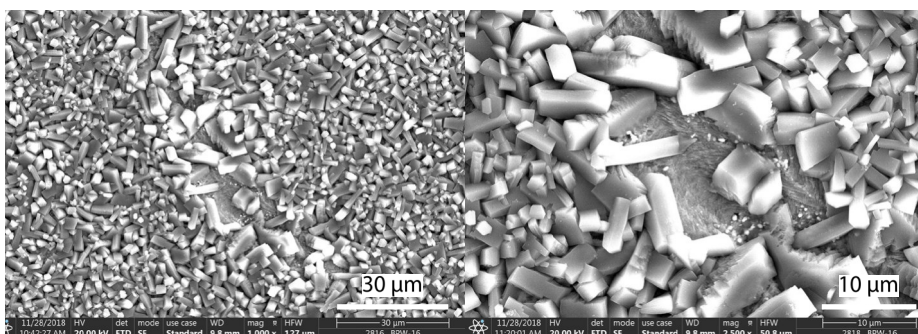
2. ábra: Szóró rendszerű folyamat kristályképe (SEM)

a kisebb rendszámú elemekből álló területekhez képest [1].

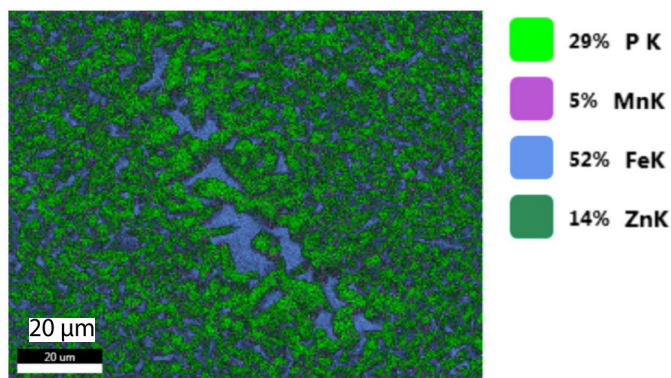
A cikkben szereplő SEM felvételek ThermoFisher/FEI Apreo pásztázó elektronmikroszkóppal készültek.

A fémfelületek cink-foszfát réteggel történő bevonása történhet a munkadarab cink-foszfátozó fürdőbe mártásával vagy a cink-foszfátozó oldattal történő szórásával. A két eljárás során különböző struktúrájú és összetételű kristályos réteg alakul ki a fémfelületen. Az 1. ábrán a mártó rendszerű előkezeléssel, a 2. ábrán a szóró rendszerű előkezeléssel kialakított cink-foszfát réteg pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvétele látható.

Ha a fémfelületek kémiai felület-előkészítése (felület zsírtalanítása, felület aktiválása) nem megfelelő, a cink-foszfát réteg nem fedi be egyenletesen az alapfémeket vagy a kristályok alakja szabálytalan lesz. **Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM)** felvételeken (3. ábra) a hibahelyek jól láthatóan megjelennek.



3. ábra: Hiányos fedettségű kristálykép SEM felvételei



4. ábra: Elemeloszlási térkép a hiányos részen

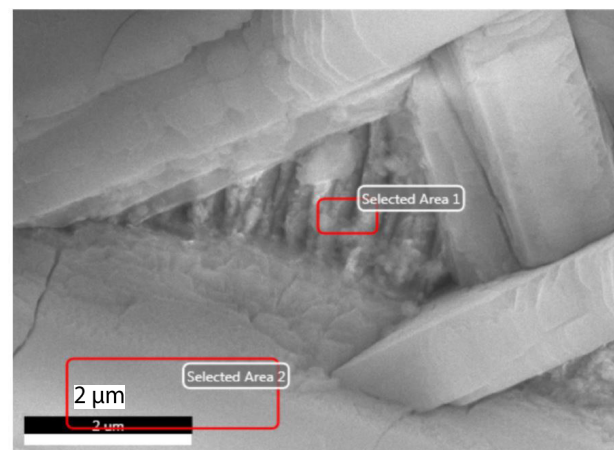
A SEM felvételeken látható hibahelyekről és környezetükről készült **elemeloszlási térkép** (4. ábra) (leképezés szűk energiaablakban beérkező röntgenfotonokkal) a hibahelyek elemi összetételét is megadja.

A SEM felvételeken látható különböző struktúrájú cink-foszfát kristályok és környezetük mikroanalitikai összetétele a pásztázó elektron-mikroszkóphoz (SEM) csatlakoztatott energiadisziperzív spektroszkópiás (EDS) vizsgálattal meghatározható (5. ábra). A szabályos kristályképet mutató területen az összetételi eredmények (6. ábra) a cink-foszfát bevonat összetevőit (Zn/Fe/Mn/P/O) tartalmazzák.

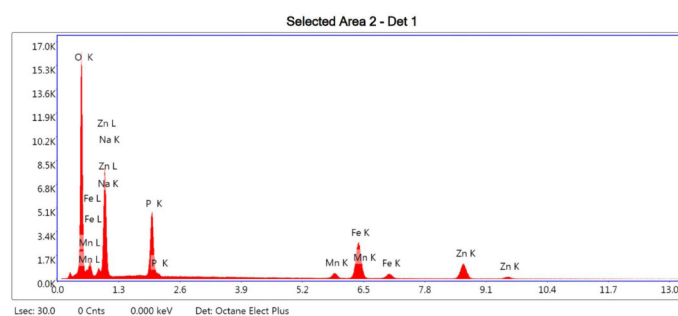
A rendellenes kristályok melletti területen az összetételi eredmények (7. ábra) az alapfém (Fe) jelenlétét mutatják ~96%-ban. A mérési eredmények szerint ezen a helyen csak egy nagyon vékony cink-foszfát réteg fedi az alapfémeket, így a későbbiekben a korróziós folyamat ezen a helyen gyorsabb és erőteljesebb lesz.

3. Röntgendiffrakciós vizsgálatok

A röntgendiffrakciós (XRD) roncsolásmentes analitikai módszer, a fázisösszetétel minőségi és mennyiségi meghatározására alkalmas. Különböző röntgendiffrakciós módszerek léteznek kristályos és amorf anyagok, folyadékok vizsgálatára. Kristályos anyagok esetében – ami a leggyakoribb alkalmazás – az ún. egykristály- és pordiffrakciós módszereket használjuk. A szilárd minták fázisösszetételének meghatározásához a besugárzott térfogatban nagyszámú, véletlenszerűen orientált kristályszemcse szükséges. A kristályos fázisok (kristályos vegyületek) a Bragg-törvény alapján a kristálysíkokról visszaverődő röntgensugárzás diffrakciójával kialakuló, és a kristályos vegyületekre jellemző, jellegzetes diffrakciós kép alapján azonosíthatók. Kristályos szerkezetű anyagról készült röntgendiffraktogramon a vonalak helyét és a relatív intenzitásukat a vizsgált



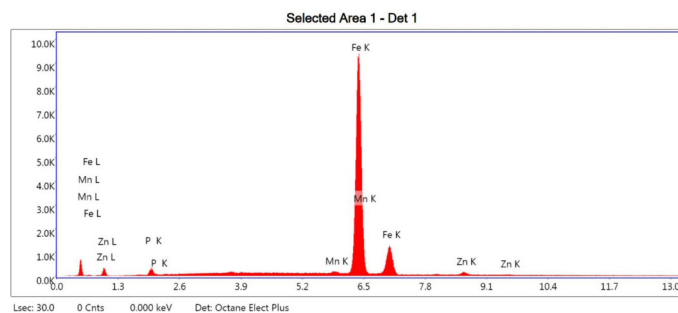
5. ábra: A rendellenes kristályok két különböző kristálystruktúrával



oZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
O K	44.67	71.43	6.94
NaK	0.00	0.00	99.99
P K	12.27	10.13	4.99
MnK	2.27	1.06	7.21
FeK	21.34	9.78	2.44
ZnK	19.45	7.61	3.22

6. ábra: EDS eredmények (Area2)



oZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
P K	0.35	0.63	21.53
MnK	0.97	0.98	18.74
FeK	96.34	96.39	1.66
ZnK	2.34	2.00	16.76

7. ábra: EDS eredmények (Area1)

anyag kristályszerkezete határozza meg. A röntgendiffraktogram a kristályos fázisokra más és más, a fázisok azonosításához a röntgendiffrakciós felvételt egy referencia adatbázissal hasonlítjuk össze [2, 3].

2. táblázat: S420MC mintalemez szikragerjesztésű OES mérési eredményei

	Kémiai összetétel [tömeg %]									
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
1.	98,8	0,075	0,0118	0,96	<0,0040	0,0048	0,0287	<0,0040	0,0068	0,0405
2.	98,8	0,0764	0,0152	0,969	<0,0040	0,0052	0,0289	<0,0040	0,0100	0,0413
3.	98,8	0,0759	0,0083	0,977	<0,0040	0,0054	0,0288	<0,0040	0,0053	0,0393
átlag	98,8	0,0758	0,0118	0,969	<0,0040	0,0051	0,0288	<0,0040	0,0074	0,0404

szilícium a homokszórás után) megjelennek a mérési eredményekben, míg az OES az anyag tényleges anyagösszetételt méri. A 3. táblázat adatainak összehasonlításakor megállapítható, hogy az OES mérési eredmények értékei tükrözik az alapfém specifikációjában megadott értékeket. Az EDS mérésekben látható egyéb elemek (pl. Al, Ca, Na) a szóróhomok természetes szennyezőinek (földpátok: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – KAlSi_3O_8 – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; mész: CaCO_3 ; dolomit: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$; egyéb: Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; $\text{CaO} + \text{MgO}$; Na_2O ; K_2O) maradványai lehetnek homokszórt felület esetén, illetve a szórószemcse összetevőiből (0,5-1,2 % Mn, min. 0,4 % Si) kerülhetek a felületre szemcseszórt felület esetén.

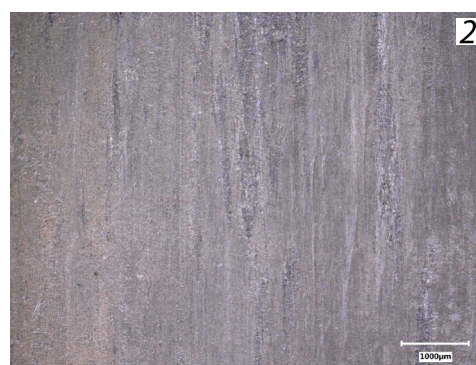
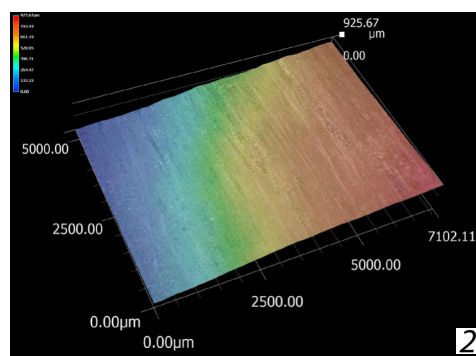
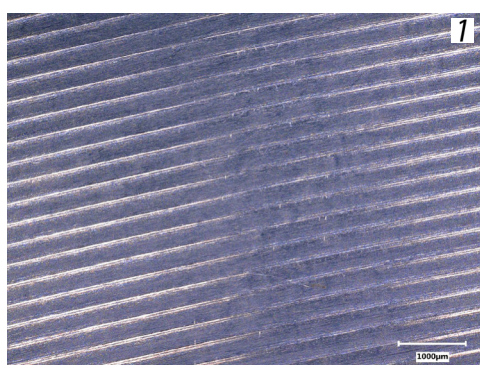
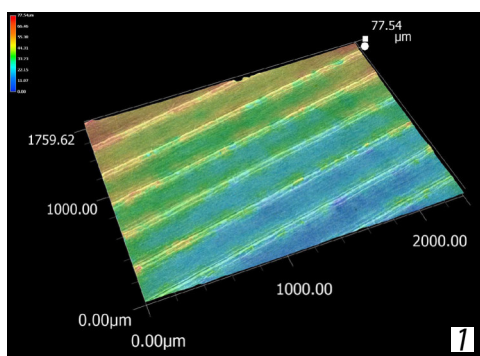
Digitális fénymikroszkóppal végzett vizsgálatok (LM)

A digitális mikroszkópok megfigyelési, képrögzítési és mérési funkciókkal is rendelkeznek. A hagyományos képalkotó és mérőrendszerekhez képest több információt nyújtanak, nagy mélységélességű képek készítésére is alkalmasak. A képek alapján a 2D mérések, valamint a 3D képekből profil-,

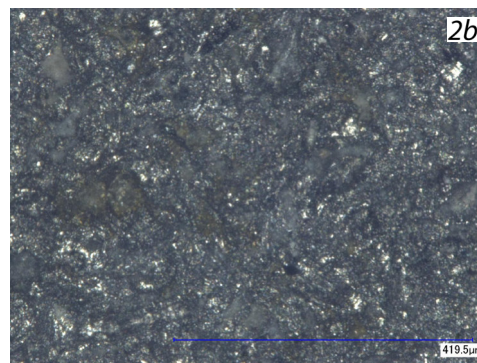
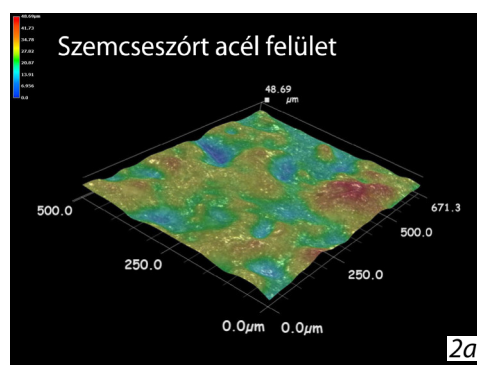
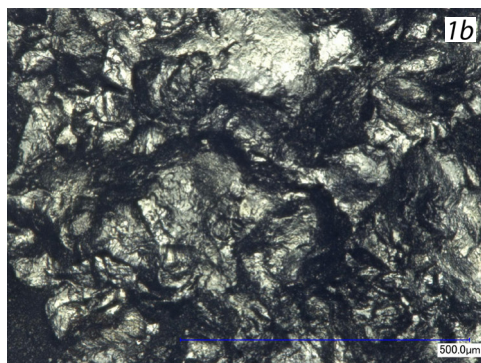
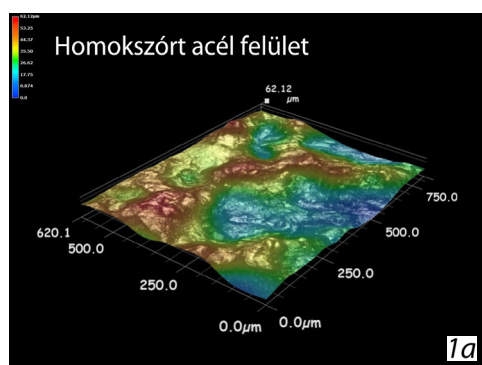
3. táblázat: S420MC mintalemez szikragerjesztésű OES mérési eredményeinek és az anyagspecifikáció szerinti összetételének összehasonlítása

Átlagos kémiai összetétel specifikáció szerint						
C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
max.%	max.%	max.%	max.%	max.%	min.%	max.%
0,1	0,03	1,5	0,025	0,01	0,015	0,15
Kémiai összetétel OES mérés szerint [tömeg %]						
C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0,0758	0,0118	0,969	<0,0040	0,0051	0,0404	-

magasság- és mennyiségi adatok is szereshetők. A 10. ábrán egy kovácsolt alumínium munkadarab megmunkált és nyers (kovácsolt) része látható, a két alapfelület más tulajdonságokat mutat a foszfátoszási reakció során. A határfelületeken lejátszódó reakciók miatt az acél felületek mechanikai felületelőkészítése befolyásolja a felületen kialakuló cink-foszfát réteg kristálystruktúráját, így a bevonat későbbi tulajdonságait is. A felületi struktúra ismeretében a foszfátoszási folyamat paramétereit (szabadsav, gyorsító tartalom) változtatni szükséges. A LM 2D és 3D felvételeket (10-11. ábrák) KEYENCE WHX J20T digitális fénymikroszkóppal készítettük.



10. ábra: Kovácsolt alumínium megmunkált (1) és kovácsolt (2) részének LM vizsgálata



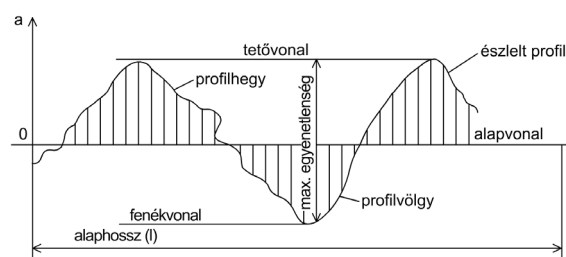
11. ábra: Homokszórt (1) és szemcseszórt (2) S420 MC acél felületi struktúrájának különbözősége: a) LM 3D felvételeken, b) LM 2D felvételeken

5. Felületi érdesség mérése

A módszer méri a csúcsok-völgyek magasságát (12. ábra) és megadja a mérési hosszon észlelt csúcsok gyakoriságát is (meghatározott távolságon mért a csúcsok-völgyek átlaga).

A védőbevonatok alkalmazása előtt az acélfelületeket gyakran koptató hatással (szemcseszórás, homokszórás) tisztítják. Ez a folyamat eltávolítja a korábbi bevonatokat, oxidokat, revét, megmunkálás során a felületre került szennyeződések, hegesztési fröcseket, szilikátot és érdesíti a felületet, hogy javítsa a bevonat tapadását. Az acélfelület mechanikai felület-előkészítése után véletlenszerű szabálytalanságok, csúcsok és völgyek alakulnak ki a felületen. Azok a műszerek, amelyek nagy pontossággal tudják mérni ezt a profilt, mint például az elektronmikroszkópok vagy a tapintótűs felületi érdességmérők (profilometriás felületi érdességmérés), általában csak laboratóriumi használatra alkalmasak.

A festett bevonatok tervezésekor és kivitelezésekor azonban lényeges alapinformáció a felület érdessége. A felületi érdesség növelése összefügg a bevonati szerkezet finomságának növekedésével. Ha nagyobb a felületi érdesség, nagyobb az egységnyi rétegtömegre számított felület, és a határfelületen lejátszódó reakciók miatt – a foszfátózás során – a savas marás hatása erőteljesebb. Az egyenletes



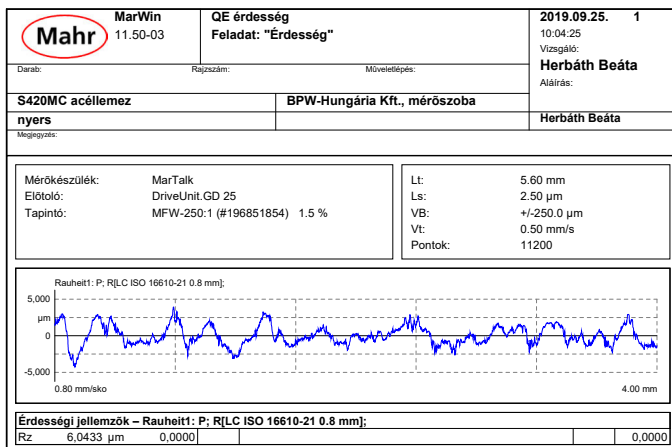
12. ábra: Felületi érdesség értelmezése [6]

konverziós rétegen egyenletes alapozott réteg alakul ki, főleg az elektroforetikus festési eljárások esetén.

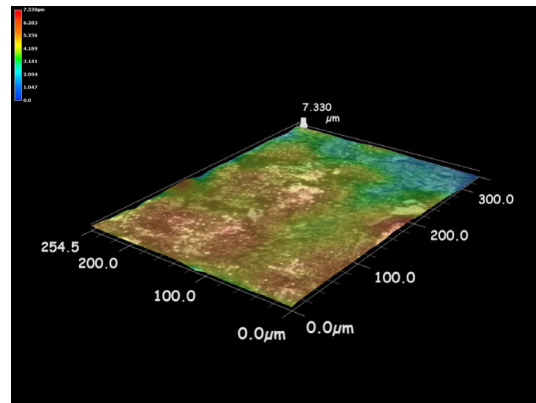
Az alapfém felületi érdességét a laboratóriumban használt, letapogató tűvel vizsgáló, telepített felületi érdességmérővel mérve megadható a bevonat tervezéséhez szükséges információ, mint a vizsgált fém átlagos érdessége (R_a), egyenetlenség magassága (R_z) és annak maximális értéke ($R_{z_{max}}$). A 13. ábrán a nyers S420MC acél érdességmérési jegyzőkönyve látható.

A mérést MAHR/MarTalk Drive Unit GD 25 / letapogató tű: MFW-250:1 felületi érdességmérő készülékkel, a DIN EN ISO 4287 szabvány szerint végeztük.

A mintalemezek felületi érdessége, illetve felületi struktúrája nyers és foszfátózott állapotban is vizsgálható és összehasonlítható (LM) digitális fénymikroszkóppal 2D és 3D képalkotással. A különböző érdességű részek a színek segítségével



13. ábra: Felületi érdességmérés vizsgálati jegyzőkönyve letapogató tűvel végzett vizsgálatról

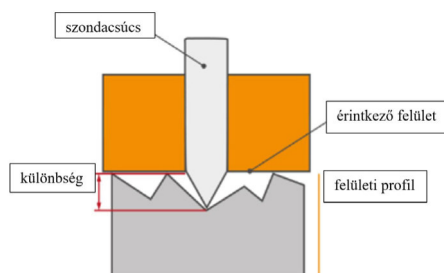


14. ábra: LM 3D felvétel a mintalemez felületi érdességéről

vizualizálhatók. A 14. ábrán látható LM 3D felvétel a 13. ábrán látható mérési jegyzőkönyvben szereplő nyers acéllemez mérési képe. A két mérési eredmény között a felület-előkezelés szempontjából nincsen lényeges különbség.

6. Felületi profil mérése

A mérés terjedelme a felületi profilon a csúcsok tetejétől a völgyek aljáig terjed (15. ábra). Különösen hasznos abban az esetben ez a mérési módszer, ha a munkadarab mérete a laboratóriumi tapintótűs mérést nem teszi lehetővé – a felület mikrogeometriája ellenőrizhető kézi felületi profil mérő készülékkel, amelynek mérőszondájával, több ponton kapott mérési eredményeiből közelítő pontossággal a felületi érdesség is megadható. A felületprofil-mérők a felület profilmagasságának mérésére használhatók. A felületi profil mértéke befolyásolja a bevonat tulajdonságát és befolyásolja a tapadást, az alapfém fedettségét és a használt bevonatok szükséges vastagságát. Ha a felületi profil túl nagy, a szükséges bevonat mennyisége nő, különben fennáll annak a veszélye, hogy a csúcsok bevonat nélkül maradnak – lehetővé téve a rozsdafoltok bekövetkeztét. Ha a felületi profil túl kicsi, előfordulhat, hogy nincs elegendő felület a megfelelő tapadáshoz, ami idő előtti bevonat leváláshoz vezet.



15. ábra: Felületi profil értelmezése

7. Összefoglalás

Általános vélemény a foszfátosító eljárásokat alkalmazó vállalkozásoknál, hogy a foszfátosítási folyamat a kémiai-analitikai vizsgálatokkal kézben tartható. Azonban a korrózióvédő bevonat tervezésekor figyelembe kell venni a használt acél- és vas alapanyagok fizikai és kémiai jellemzőit, a bevonaton kívánt felületek megmunkálások (forgácsolás, hegesztés, felülettisztítás és érdesítés stb.) utáni fizikai és mechanikai tulajdonságait, mivel ezek mind befolyással vannak a felületen kialakuló bevonat tulajdonságaira [5]. A leggyakrabban használt roncsolásmentes vizsgálatokat mutattuk be, fókuszálva az ipari körülményekre és azokra a mérési módszerekre, amelyek laboratóriumi körülményeken kívül is használhatók.

Irodalomjegyzék

- [1] Pozsgai I: Képalpalkotás, kémiai analízis és szerkezeti vizsgálat a korszerű pásztázó elektronmikroszkópban. TYPOTEX Kiadó, Budapest, 2016, ISBN 978 963 279 908 7/ ISSN 1788-2494
- [2] J. M. Schultz: Az anyagvizsgálat diffrakciós módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987, ISBN 963 10 6854 4
- [3] D. Brandon and W. D. Kaplan: Microstructural Characterization of Materials. WILEY, England, 2008, ISBN 978 0 470 02785 1
- [4] Dr. W. Rausch: Die Phosphatierung von Metallen. EUGEN G. LEUZE VERLAG, Bad Saulgau, Germany, 2005, ISBN 3-87480-197-7
- [5] S. Lohmeyer: Phosphatierfehler aus Zink- und Alkaliphosphatierungen. EUGEN G. LEUZE VERLAG, Saulgau/ Würth, Germany, 1993, ISBN 3-87480-086-5
- [6] Felületi érdesség és jelölése: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/felületi-erdesseg/felületi-erdesseg-es-jelolese>

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének a 2021. évre szóló munkaterve

1. Jártassági vizsgálatok

- a) 2021-ben a MAE csak akkor rendez jártassági vizsgálatot, ha arra valós igény van, és kellő számú résztvevő jelentkezése garantálható.
- b) A 2021-ben elindítható Qualco–MAE-jártassági vizsgálatok kellő számú résztvevővel való elindításához szükséges felmérések, egyeztetések és előkészítések elvégzése.

2. Saját vagy partnerrel közös szervezésű oktatások, tanfolyamok

- a) Metallográfia képzések: kettő tanfolyamot tervezünk.
- b) Kiterjesztjük a tanfolyamok körét, újra szervezzük a MET-2 és az ALU-képzéseket.

3. Az anyagvizsgáló szakmérnöki oktatás elindításának támogatása

- a) A 2020. tavaszán megszakadt egyeztetés folytatása a BME ATT-vel a tantervek december 31-ig való kidolgozása és a BME GPK Kari Tanácsa számára való benyújtásra alkalmas formára hozása érdekében.
- b) Az anyagvizsgáló szakmérnöki képzés iránti igények felmérése a MAE-tagság és a szélesebb hazai szakma körében.

4. Szakmai napok, Laborvezetők Fóruma, rendezvények

- a) Az anyagvizsgálási szabványok területén elkezdett aktivitás folytatása megvitatása, ennek a tevékenységnek a kiterjesztése.
- b) Online fórumok és munkacsoportok létrehozása célfeladatokra, pl. a laboratóriumok akkreditálása témakörben, érdemi tagsági részvétellel.

5. A 2021. évi *AGY Konferencia* előkészítése és megrendezése

- a) A 10. AGY és a RAKK közös előkészítése és megrendezése a MAROVISZ-szal.

6. Marketing

- a) A MAE-tagság véleményének felmérése az egyesület működéséről.
Célja: a tagság számára hasznos funkciók felmérése és fejlesztése.
 - b) A MAE-honlap értékelése, frissítése, üzemeltetése, facebook-oldal létrehozása.
 - c) A MAE népszerűsítése, vonzóvá tétele a szakmát művelő vállalkozások és egyéni tagok részére.
 - d) Az Anyagvizsgálók Lapjának támogatása, cikkek generálása.
 - e) Pályázatok, elismerések
(pl. publikációs nívódíj pályázat feltételeinek kidolgozása, meghirdetése).
 - f) Szakdolgozati témák kiírása laboratóriumok, ipari partnerek segítségével.
 - g) Szakdolgozati pályázat feltételeinek kidolgozása, meghirdetése.
 - h) Tagsági adatbázis elkészítése (érdeklődési körök, elérhetőség stb.).
-

7. Az egyesület kapcsolatrendszerének fejlesztése

- a) A tagság bővítési lehetőségeinek elemzése.
- b) Új jogi tagok szervezése.
- c) Új egyéni tagok szervezése.
- d) Az együttműködés további fejlesztése szakmai civil szervezetekkel.
Potenciális partnerek felmérése. Megállapodások kidolgozása, aláírása.

8. Közgyűlések és elnökségi ülések ütemezése, megtartása

- a) Elnökségi ülések: az igények szerinti időpontban, a szükséges számú ülés.
- b) Évi rendes Közgyűlés a beszámolók elfogadására; határidő: május 31-ig.
- c) Jelölőbizottság megválasztása a 2021. évi rendes közgyűlésen, május végéig.
- d) Az *Alapszabály* és a *Szervezeti és Működési Szabályzat* módosításának előkészítése és a módosítási javaslatok betérjesztése a rendkívüli Közgyűlésre.
- e) Rendkívüli Közgyűlés a tisztségviselők megbízásának lejártja miatt, az új tisztségviselők megválasztása érdekében.
Tervezett időpontja: 2021. november közepe.

**Várunk minden anyagvizsgálattal foglalkozó kollégát,
illetve vállalkozást tagjaink közé!**

Jelentkezni lehet: titkarsag@mae2012.hu

Jelenlegi jogi tagjaink:

AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Zrt.

ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft.

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

***Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és
Technológia Tanszék***

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék

Farkas Anyagvizsgáló Bt.

Grimas Ipari Kereskedelmi Kft.

HÁMOR Zrt.

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (MAROVISZ)

Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

MTDL – Magyar Tartály Diagnosztikai Laboratórium Kft.

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

Nemak Győr Alumíniumöntöde Kft.

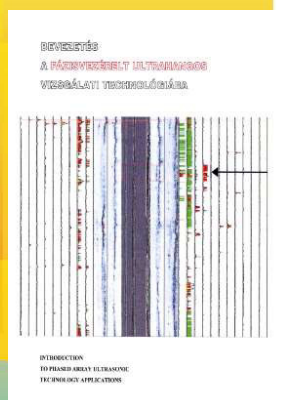
ORSZAK Bt.

Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék

Volvid Zrt.

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség

TANFOLYAMI KÉZIKÖNYVEK



Grafika: Szabó Anna Dóra

marovisz@marovisz.hu