

Anyagvizsgálók Lapja

Az Ország vezető szaklapja



Linde hidrogén A holnap üzemanyaga ma



H₂ üzemanyagtöltés

A lap kiemelt
támogatója:



LINDE Gáz
Magyarország Zrt.

Cseh Hidrogén
Platform



Amit a hidrogénről
tudni érdemes,
LINDE

Technikatörténet
I. rész:
A Tűzpasa
gőzsiklója



Portré:
Prohászka János
MAE elnökök
Németh Emil

Muraui
H₂-régió

Hidrogén
szállításának
biztonsági kérdései



Kitekintés
Japánra



Balatoni
ANKÉT

Bemutatjuk:
Diósgyőri
anyagvizsgálat,
VASKUT III. rész



Európai
Szerkezetintegritási
Társaság (ESIS)
II. rész

ECF23
Konferencia
beszámoló

2022/III.
lapszám



Innovatív hidrogéntechnológiák

Linde H₂ megoldások A-tól Z-ig



Termelés

- Több, mint 200 hidrogén fejlesztő üzem
- Hagyományos és megújuló energiával előállított hidrogén



Töltés technológia

- Gyors és energia hatékony
- Két szabadalmaztatott technológia:
 - ionic kompresszor
 - kriopumpa
- Piackész sorozatgyártás és teljesen egyedi megoldások



Szállítás és tárolás

- Cseppfolyós halmazállapot -253 °C-on (LH₂)
- Gáz halmazállapot akár 50 MPa nyomás felett



Hidrogén töltés

- A Linde szakértelme több, mint egymillió sikeres üzemanyag töltésen alapul
- Folyékony vagy gáznemű üzemanyag-ellátás 35 MPa vagy 70 MPa nagynyomású tartályok esetén
- Gyors üzemanyag töltés: 3 perc
- Könnyen kezelhető töltőpíztoly

Mélyen tisztelt Olvasóim!



Sokszor dicsérem a magyar nyelvet azért, mert életünknek szinte minden pillanatára mutatni tud egy olyan mondatot, amely tömören, bölcsen összefoglalja a mondanivaló lényegét. „*Amit az ember maga megtehet, ne bízsa másra!*” A JEGYZET rovatot akár e mondattal is kezdettem volna. Az Anyagvizsgálók Lapját megálmodó, elindító, majd folytató mindenkor szakembergárda mindenkor igyekezett megtalálni azt az „*arany középutat*”, avagy „*aranyhidat*”, amely az „*elvárások*” és „*lehetőségek*” közötti részt igyekszik összekötni. Abban pedig senki sem kételkedik, hogy a „*hídépítés*” bizony MUNKÁVAL JÁR. Mindazok, akik kezükbe vették az idei lapszámokat, nem csupán a terjedelemmel és külalakkal lehettek elégedettek, hanem a tartalom bővülésével és a lap gondolatkörének tágulásával is. Őszintén be kell vallani, hogy örömmel, jóleső érzéssel fogadtuk – a sokszor világhírű – szakemberek elismerő sorait lapunk tartalmát, külső megjelenését dicsérő mondatait. Mindezek a „szabad gondolkodást” serkentik. Így folytatni és „állandó rovattá” kell alakítani a *Fodor Olivér* kezdeményezte keresztretjvényt, amely mögött mindig meg fog jelenni a sorsolandó ajándékot biztosító szervezet is. Újabb, a technikatörténettel foglalkozó rovatot indítunk útjára, *Laczik Bálint* vezetésével.

A látszólagosan független „szabad gondolkodás” és az „aranyhíd” kifejezések viszont felvethetik azt a kérdést, hogy mit is nyújthat egy szakmai tömörülés, szervezet a tagdíjat befizető egyedeinek, legyen az akár jogi, akár pedig egyéni tag? Másképpen fogalmazva. Miért lépjek be egy szakmai szervezetbe? Miért fizessem be a tagdíjat? A lapot jegyző felelős kiadó, a MAROVISZ elnöke és felelős szerkesztője hosszasan beszélgetett e kérdésekről. Ennek egyik első eredményét a jelenlegi lapszámban is olvashatják. Ami egyik időszerűségét adja a gondolatkörnek az nem más, mint az elmúlt 30 év megjelent, mintegy 1500 cikkhez közelítő anyaghalmaza. A korábbi, igazán kiváló Felelős Szerkesztő, Gillemot László halála után szerveződött csapat, csoport hatalmas munkát fektetett be a 30 év „termésének” feldolgozásába. Ezekből relatíve könnyen olyan új és hasznos extrakciók készíthetők, amelyekhez csak a MAROVISZ tagjai juthatnak hozzá. Ez lehet „pillére” a felvetett építkezésnek. Természetesen minden gondolatot örömmel várunk, amely „aranyhidat” feszíthet egy „szakmai szervezet és tagság” között.

Ami a lapszám szakmai jellegét illeti: maradtunk a „hidrogén”, mint lehetséges alapenergia-forrás témája mellett. Ennek lehetőségei, problémái nem csupán a lapszám közleményeiben jelenik meg, hanem a soron következő 42. Balatoni Ankét egyik szekciójának is ez lesz a témája. Méltán büszkék lehetünk rá, hogy a jelenlegi lapszámunk támogatója a Linde Gáz Magyarország Zrt., melynek gázait számtalan területen használják, mint például az acélgyártás, a vegyipar, az élelmiszeripar, az üvegyártás és az elektronika területén a nagy tisztaságú, speciális gázokat vagy a hidrogént, mint tiszta üzemanyagot. Megismerheti a tisztelt olvasó a ausztriai „hidrogén-helyzetet” követően most a Cseh Hidrogén Platform tevékenységét, valamint kitekintünk Japánra is.

Ha a „sámán leplét ölténém magamra és varázsgömbjét venném kezembe” azt mondhatnám, hogy a megújuló energiaforrással előállított „zöld-hidrogén” termelés és szállítás anyagvizsgálói problémáira célszerű szakmánknak koncentrálnia a közeljövőben.

Tradicionalisan folytatjuk hazánk anyagvizsgálói kultúráját megalapozó laboratóriumok történetének bemutatását. A VASKUT életének egy újabb szelete mellett most megjelenik Diósgyőr is, ahol hazánk első transzmissziós elektronmikroszkópja lett használatba véve. Üzemeltetője pedig – a születésének centenáriumi ünnepelő, hőkezelési könyvéről széleskörű szakmai elismerést szerző – Németh Emil volt. A nagyon szűkre szabott életéről (59 év) a szintén kohómérnöki hivatást választó lánya visszaemlékezéseit is olvashatják.

Tóth László
felelős szerkesztő

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség
(MAROVISZ) kiadványa,

az ország vezető szaklapja.
Alapítva: 1991-ben.

Országos, iparágakat átfogó, szakmai folyóirat a minőségért és biztonságunkért.

Kiadó:

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség
cím: 1191 Budapest, Üllői út 206., B. ép. II. lh.
tel.: +36 1 / 278 0632;
fax: +36 1 / 278 0633;
e-mail: marovisz@marovisz.hu

Szerkesztőség:

felelős szerkesztő: Dr. Tóth László
tel.: +36 30 932 2690
e-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu
avilap.szerk@gmail.com

Szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Tóth László (felelős szerkesztő)
Dr. Trampus Péter (felelős kiadó)
Dr. Dudra Judit (főszerkesztő)
Erdei Réka (digitális szerkesztő)

Hazai szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Divós Ferenc
Fodor Olivér
Kecskés Péter
Dr. Koncsik Zsuzsanna
Dr. Laczik Bálint
Lutor Attila
Dr. Mankovits Tamás
Skopál István
Szűcs Pál

Nemzetközi szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Bitay Enikő (Románia)
Dr. Djorde Dobi (Szerbia)
Dr. Dusza János (Szlovákia)
Dr. Kristián Máthis (Cseh Köztársaság)
Dr. Major Zoltán (Ausztria)

Az elektronikus folyóirat szerver háttérét biztosítja:

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

Az Anyagvizsgálók Lapja honlapja:

www.anyagvizsgaloklapja.hu



JEGYZET – NOTE

TÓTH László	3
Jegyzet	
Note	

ANYAG, ANYAGSZERKEZET – MATERIAL, MATERIAL STRUCTURE

LINDE Gáz Magyarország Zrt.	6
Amit a hidrogénről tudni érdemes	
What you need to know about hydrogen	
LINDE Gáz Magyarország Zrt.	10
Miben mások a különböző színű hidrogének? Különböző hidrogén típusok „nevezéktana”	
How are hydrogens of varying colours different? The "nomenclature" of different types of hydrogen	
BARANYAI Viktor, T. SZABÓ József, KAPTAY György	12
Nátrium-, kálium-halogenid sókeverék alacsony olvadáspontú összetételeinek keresése	
Searching for low-melting compositions of sodium-, potassium-halide salt mixture	
WINDISCH Márk, MALOVECZKY Anna, VERES Miklós, RIGÓ István, FÜRJES Péter, DANKHÁZI Zoltán, VIDA Ádám	16
Lézeres felületkezelés felületerősített Raman-spektroszkópiai alkalmazása	
Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) application of laser surface treatment	

ÁLLAPOTELLENŐRZÉS, ÉLETTARTAM GAZDÁLKODÁS – RELIABILITY ASSESMENT, LIFE CYCLE MANAGEMENT

TÓTH László, Guy PLUVINAGE, Julien CAPELLE	20
Hidrogén keverék szerepe tranzitvezetékek biztonságának mérlegelésében	
Role of the hydrogen blending of natural gas networks	

HÍREK – NEWS

MAJOR Zoltán	27
Szemelvények a murai H2-régió megvalósíthatósági tanulmányából	
Excerpts from the feasibility study on the Murau H2 region	
MAJOR Zoltán	32
Kitekintés Japánra	
A look at Japan	
MÁTHIS Krisztián	33
Hidrogén platform a Cseh Köztársaságban	
Hydrogen platform in the Czech Republic	
TÓTH László	34
Európai Szerkezetintegritási Társaság (ESIS) – II. rész – Az ESIS új elnöke: Aleksandar SEDMAK, Professor Emeritus	
European Structural Integrity Society (ESIS) – Part II – New ESIS President: Aleksandar SEDMAK, Professor Emeritus	
FEKETE Tamás	36
Beszámoló az ECF23 Konferenciáról – I. rész	
Report from the ECF23 Conference – Part I	
TRAMPUS Péter, TÓTH László	44
MAROVISZ 25+ Terveink	
MAROVISZ 25+ Our plans	
TRAMPUS Péter	45
Támogatás az Ukrán Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség „Műszaki Diagnosztika és Roncsolásmentes Vizsgálat” folyóiratának	
Support for the Ukrainian Society for Non-Destructive Testing Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing journal	

PORTRÉK – PORTRAIT

- TÓTH László** 46
A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja – Zielinski Szilárd (1917-1924)
Presidents of the Hungarian Association for Material Testing – Szilárd Zielinski (1917-1924)
- PÁCZELT István, TÓTH László** 49
Emlékezzünk! – Egy évtizede hunyt el Prohászka János
Let us remember! – A decade since the death of János Prohászka
- KOVÁCSNÉ NÉMETH Livia** 51
100 éve született Németh Emil (1922-1981)
Emil Németh (1922-1981) was born 100 years ago

BEMUTATJUK... – INTRODUCING...

- KOVÁCS Károly** 53
A diósgyőri anyagvizsgálat története
The history of materials testing in Diósgyőr
- FEHÉRVÁRI Attila** 61
A Vasipari Kutató Intézet 70 éves-jubileuma (1952-2022) – III. rész
70th anniversary (1952-2022) of the Research Institute for Ferrous Metals – Part III.

ÉRDEKESSÉGEK - POINTS OF INTEREST

- TÓTH László** 66
Könyvismertetés: Szeidl György, Kiss László Péter: Mechanikai Rezgések
Book Review: György Szeidl, László Péter Kiss: Mechanical Vibration
- LACZIK Bálint** 68
Technikatörténet – I. rész – A Tüzpasa gőzsiklója
History of technology – Part I – The Firefly's steam shuttle
- Keresztrejtvény - Crossword** 70



Előfizetés megújítás!

Ne felejtse el
a meglévő előfizetését megújítani vagy
új előfizetését elindítani!

2022. november 15-ig
meglévő és új előfizetőink
a 2023-as évi előfizetést 2022-es áron kapják!

Írjon a marovisz@marovisz.hu email címre!



Amit a hidrogénről tudni érdemes

What you need to know about hydrogen

Linde Gáz Magyarország Zrt.

www.lindegas.hu, lindehu@linde.com

**Mi a hidrogén**

A hidrogén (latinul: hydrogenium) a periódusos rendszer első kémiai eleme. Vegyjele H, rendszáma 1.

A hidrogén, a mindössze egy protonból és egy elektronból álló elem, a legegyszerűbb és legkönnyebb kétatomos gáz.

A világegyetem leggyakoribb eleme, az ott előforduló, egyatomos hidrogén a Földön ritka, mert a hidrogén a legtöbb elemmel könnyen képez kovalens vegyületeket; ekként jelen van a vízben, a legtöbb szerves vegyületben és minden élőlényben.

Kémiai tulajdonságok

Kémiai képlete:	H ₂		
Molekulasúly:	2,02 g/mol (H ₂)		
Hármaspont:	Hőmérséklet	Nyomás	Olvadáshő
	14,0 K (-259 °C)	72 mbar	58,2 KJ/kg
Forráspont 1,013 barnál:	Hőmérséklet	Párolgáshő	
	20,4 K (-252,8 °C)	453,3 KJ/kg	
Kritikus hőmérséklet:	32,2 K (-239,9 °C)		
Kritikus nyomás:	13,0 bar		
Kritikus sűrűség:	(1,013 bar 0 °C) 0,0301 kg/l		
Relatív sűrűség gázállapotban levegőhöz képest:	(1 bar 15 °C) 0,0695 kg/l		
Felső robbanási határkoncentráció:	75,6 Vol.-% H ₂		
Alsó robbanási határkoncentráció:	4,0 Vol.-% H ₂		
Oldhatóság vízben:	1,62 mg/l		
Öngyulladás hőmérséklet:	560 °C		

Fizikai tulajdonságok

Valamennyi gáz között a hidrogén a legkönnyebb. Normál állapotban (szabványos nyomáson és hőmérsékleten: 1 bar, 15 °C) színtelen, szagtalan, íztelen, nem mérgező, nem fémes, egy vegyértékű, igen gyúlékony kétatomos gáz, amely a levegőnél könnyebb, levegővel keveredve robbanóképes elegyet alkot, nagy kiáramlási sebesség esetén fennáll az öngyulladás veszélye, oxidálószerre hevesen reagálhat.

Előállítás

Az iparban nagyrészt földgázból, magas hőmérsékleten gőz hozzáadagolásával, azaz gőzreformálással (SMR) állítják elő, ezt a hidrogént nevezzük szürke hidrogénnek.

Kisebb mértékben nagyobb energiaigényű hidrogéntermelő módszerekkel is előállítható, mint amilyen a víz elektrolízise, azaz a víz elektromos árammal történő bontása, amely során oxigén és hidrogén keletkezik, a hidrogén elégetésének végterméke pedig újra víz, amely így visszakerül a körforgásba.

Abban az esetben, ha a vízbontáshoz megújuló energiaforrásból származó villamos energiát használunk az előállított hidrogént zöld hidrogénnek nevezzük.

Tárolás

Természetes körülmények között elvileg nagy mennyiségű hidrogén tárolható földalatti üregekben, leművelt földgázmezőkben.

Az ipari felhasználásra előállított gázhalmazállapotú hidrogént palackokban (50 liter, 200 bar), illetve tartályokban tárolhatjuk (50 bartól 1000 barig).

A cseppfolyós halmazállapotú hidrogén tárolása vákuumszigetelt tartályokban lehetséges, -252,9 °C-on, ez azonban nagyon költséges, ezért jelenleg csak az űrtechnikában használják.

Szállítás

A nagy mennyiségű hidrogént fogyasztó ipari felhasználókhoz általában csővezetéken szállítják a gázhalmazállapotú hidrogént, melyet a felhasználási hely közelében állítanak elő.

Általánosságban a gázhalmazállapotú hidrogént sűrített gázként (200 bar) palackokban, csöves tartálykocsiban vagy trélerben szállítják.

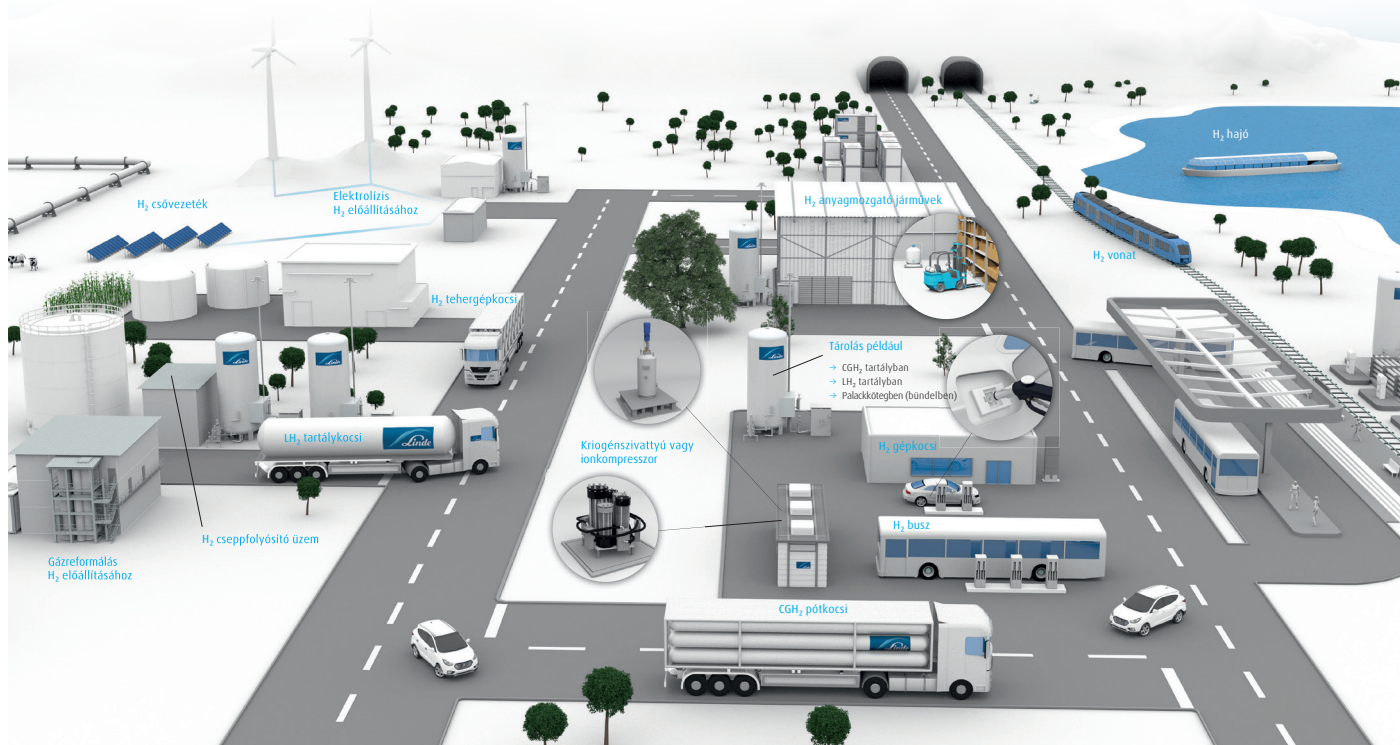
A trélerből a gáz lefejthető akár a felhasználó telephelyén lévő tárolóedénybe is, vagy nagyobb mennyiség igénye esetén maga a pótkocsi is a felhasználónál marad és a gáz elvételezése közvetlenül a tartálykocsiból is végezhető.

A cseppfolyós hidrogén (-252,9 °C, 1 bar) szállítása vákuumszigetelt tartálykocsiban is lehetséges, de ez a szállítási forma Magyarországon még nem elérhető.

Felhasználás

A legtöbb hidrogént a termelés helyéhez közel használják fel. A két legnagyobb felhasználási területe a fosszilis tüzelőanyagok feldolgozása és az ammóniagyártás, elsősorban a műtrágyákhoz.

A hidrogén számtalan területen alkalmazható energiaforrásként és üzemanyagként, széleskörűen használják az ipar számos területén, de egyes lakossági felhasználása is ismert.





Linde hidrogén A holnap üzemanyaga ma

Az ipar az alábbi területeken használja leginkább:

Fém- és gépipar, metallurgia: Égőgáz forrasztáshoz és plazmavágáshoz; hőkezelési eljárásoknál; védőatmoszféra acélok hegesztésénél; különleges és szinterezett fémek gyártásakor, ezek forrasztásánál éghető gázként; víz alatti lángvágásnál, hordozó gázként gázkeverékekhez használják.

Vegyipar: Metanol előállítás; sósav előállítás; dime-til-amin, metil-ciklohexán előállításához; hidrogén-peroxid gyártásához; finomvegyszer- és növényvédőszer-gyártási intermedierek előállításához; petrokémiai és egyéb hidrogénezési reakcióknál használják.

Elektronikai és világítástechnikai ipar: Redukáló védőatmoszféra; főleg formálógáz alkotórészeként; félvezetők, alkatrészek, egyéb termékek gyártásakor használják.

Élelmiszeripar: Elsősorban hajtó- és csomagológázként használják, emellett pedig számtalan élelmiszerben is megtalálható (a hidrogént, mint élelmiszer-adalékanyagot az Európai Unióban az E949-es E-szám jelöli). Zsírok keményítéséhez és cukoralkoholok előállításához is felhasználják a hidrogént.

Gyógyszergyártás: Vitaminok gyártásához; katalitikus hidrogénezésekhez használják.

Energiaipar, közlekedés, rakétatechnika: Éghető gázként; tüzelőanyagcellákban; járművek üzemanyagaként; magfúzióknál; a jövő környezetbarát energiahordozója; motorok, atomerőművek turbó generátorainak hűtőgáza; héliummal léghajók felhajtógázaként.

Kőolajipar: Hidrogénezés; kéntelenítés.

Méréstechnika: Éghető gáz és vivőgáz a gázkromatográfiában; fotometriában és spektrometriában; kutató ballonok töltőgázaként.

Üvegipar: Éghető gázként különleges üvegek előállításakor.

A cseppfolyós hidrogént rakétahajtóanyagként, a nukleáris iparban buborékkamrák töltésére, az elektrotechnikában mélyhűtésre (például a szupravezetéshez), illetve a szilárdtest-kutatásban használják, a cseppfolyós állapotú szállításnak csak ezeken a különleges területeken van jelentősége.

Nem tanácsolt alkalmazás: A hidrogén gáz robbanásveszélyessége miatt nem alkalmas szórakoztatás és játék céljából ballonba töltésre. Tilos a kereskedelemben kapható ballonok felfúvására használni!

A hidrogén újabb felhasználási területe **üzemanyagként a hidrogén tüzelőanyagcellás járművekben.**

Biztonsági tudnivalók

Rendkívül tűzveszélyes gáz; mérgező hatása nem ismeretes; nyomás alatt lévő gáz, hő hatására robbanhat.



Oltóanyag:

Alkalmas oltószer: Habbal, vízzel és porral oltó készülék

Nem alkalmas oltószer: Szén-dioxiddal oltó

Robbanásveszélyes légkör kialakulásának elkerülése helyiségekben és szabadban

Hidrogénes berendezések közelében a robbanásveszélyes atmoszféra kialakulását a következő feltételekkel lehet megelőzni:

- a hidrogénes berendezést jól szellőzött helyen kell felállítani,
- a hidrogénes berendezésnek tömítettnek kell lennie és annak kell maradnia.

A hidrogénes berendezéseket lehetőleg a szabadban kell felállítani, hogy a kilépő hidrogén messzemenően veszélytelenül tudjon a légkörbe kilépni. Legalább a hidrogéntartálynak a szabadban kell állnia. A biztonsági szelepek, vákuumszivattyúk stb. lefűvő vezetékeit, a szabadba kell vezetni. A lefűvő nyílásokat nem szabad tetőkiugrások, épületnyílások alatt vagy levegőbeszívó nyílások közelében elhelyezni. A lehetséges, szabadban levő munkahelyek közelében levő lefűvő nyílásokat figyelmeztető táblával felismerhetővé kell tenni, hogy felhívják a figyelmet tűzveszéllyel járó munka esetén a biztonsági intézkedések szükségességére.

Zárt helyiségekben lévő hidrogénes berendezések esetében a kívülről jövő gázvezetékét nem veszélyeztetett helyen biztosan el kell tudni zárni. A zárt helyiségekben lévő hidrogénes berendezéseknél a használaton kívüli vakkarimákat le kell zárni, hogy a helyiségbe történő gáz-kilépés biztosan meg akadályozott legyen.

A hidrogénes berendezések helyiségeinek hatékony szellőzése tetőnyílásokon keresztül általában elérhető. A helyiség levegőjét hidrogénérzékelő berendezéssel lehet felügyelni, ami a riasztási érték elérésekor a tetőnyílást automatikusan nyithatja.

Gyújtásforrások kiküszöbölése

A hidrogénes berendezés körüli terület nem minden esetben robbanásveszélyes zóna. Ha egy hidrogénes berendezés megbízhatóan tömör és az azt körülvevő tér jól szellőztetett, az elektromos berendezések robbanásvédelméről le lehet mondani. Az ehhez mértékadó feltételek a villamos berendezések szabványaiban rögzítettek.

Ha ezzel szemben a hidrogénes berendezésből a gáz kilépése nem kizárt, az adott területen el kell kerülni a gyújtó forrásokat.

Ez a következőket jelenti:

- Kerülni kell az elektromos üzemi eszközöket, vagy azokat robbanás biztos kivitelben kell telepíteni.
- Tűzveszéllyel járó munkákat (hegesztés, vágás, forrasztás, köszörülés) csak akkor szabad végezni, ha a veszélyeztetett terület hidrogénmentes. Megbizonyosodni csak légtérelmzővel végzett vizsgálattal lehet, semmi esetben sem nyílt lánggal történő világítással. Tűzveszéllyel járó munkák esetén figyelembe kell venni, hogy hegesztési vagy köszörülési szikrák a munkahelytől akár több mint 10 m messze is elrepülhetnek.
- Kiáramló hidrogén alatt szerelési munkák végzése megengedhetetlen, mivel még szikraszegény szerszámok használata esetén sem zárható ki a meggyulladás.

Magatartás hidrogén kiáramlásakor vagy égésekor

Ha hidrogén nem szándékoltan áramlik ki, a gázáramot a szerelvények elzárásával le kell zárni. A lyuk közvetlen eltömítését nem szabad megkísérelni. Ha egy helyiségbe nagyobb mennyiségű hidrogén áramlott ki, fokozott robbanásveszély áll fenn. Az embereknek azonnal el kell hagyniuk a helyiséget, és szellőztetni kell. A szellőzés eredményességét műszeres méréssel kell igazolni.

Kiáramló hidrogén égését a gáz hozzávezetésének elzárásával kell megszüntetni. Ha ez nem sikerül, a lángot nem szabad oltóanyaggal oltani, mert a tovább kiáramló hidrogén robbanásveszélyt válthat ki. Ebben az esetben hagyni kell a tüzet égni, amíg hidrogén hiányában magától ki nem alszik. Adott esetben a láng által veszélyeztetett berendezéseket (pl. gázpalackok) vízzel hűteni kell. A tűz végső fázisában az érintett berendezésrészt nitrogénnel ki kell öblíteni, hogy a lángvisszacsapást a berendezés belsejébe megakadályozzuk.

Helytelen használat megakadályozása

Hidrogént alapvetően csak olyan célra szabad használni, amit más gázzal nem lehet elérni.

Hidrogént nem szabad játékballonok töltésére használni, mivel az fokozottan robbanásveszélyes.

Hidrogént nem szabad pneumatikus energia hordozójaként, pl. festékszórásra, folyadékok szállítására használni. Hidrogént nem szabad szándékosan belélegezni. A hidrogén fojtó hatása már egy mély belégzéssel is felléphet.

Linde Gáz Magyarország Zrt.

9653 Répcelak, Carl von Linde út 1.
www.lindegas.hu
lindehu@linde.com

Miben mások a különböző színű hidrogének?

Különböző hidrogén típusok „nevezéktana”¹

How are hydrogens of varying colours different? The "nomenclature" of different types of hydrogen

Linde Gáz Magyarország Zrt.

www.lindegas.hu, lindehu@linde.com

A hidrogén alapú mobilitás és energetika kapcsán az egyik legtöbbet említett fogalom a „zöld”, „kék”, „szürke” (esetként „barna”) hidrogén. A színhasználatok alapvetően a különböző hidrogén előállítási módok üvegházhatású gáz kibocsátásának mértékéhez kapcsolódnak, tehát ez az osztályozás alapvetően klímavédelmi szempontú. Jogszabályban vagy szabványban rögzített követelményrendszer jelenleg még nincs, így ma még kissé önkényes a zöld/kék és egyéb hidrogén fogalmak használata. Ugyanakkor a pontos és az EU-s nomenklatúrával egyező fogalomhasználatot Magyarországon is fontos lenne megismerni és használni. Emiatt az EU-s szakirodalomban elfogadottnak tekinthető „szín magyarázatokat” (azaz hidrogén típusok rövid magyarázatát) adjuk meg.

A hidrogén kapcsán alkalmazott, de még nem minden elemében egyértelműen elfogadott, letisztult, „szín” szerint azonosított (kvalitatív) kategóriák magyarázata a következő:

- **SZÜRKE** (vagy barna) hidrogénnek tekintjük, a jelenleg uralkodó módszerrel, azaz metán (vagy esetleg egyéb magasabb rendű szénhidrogének) gőzreformálása (SMR) útján előállított hidrogént. E folyamat során viszonylag jelentős mennyiségű CO₂ keletkezik (kgCO₂/kgH₂), ami a légkörbe kerül kibocsátásra. Emiatt „szürke” hidrogénnek szokták nevezni az így előállított hidrogént, de egyes szakirodalmak olykor „barna” hidrogénként is említik ezt a H₂ típust. Magyarországon jelenleg (2021 elején) – egyes labor méretű vagy egészen kis léptékű, kísérleti jellegű hidrogén előállítási módokat kivéve – ipari léptékben csak földgáz alapú és SMR eljárást alkalmazó, azaz „szürke” hidrogén előállítás zajlik.
- **KÉK** hidrogénnek tekintjük – a szürke hidrogén esetében is alkalmazott előállítási módszerrel – az SMR módszerrel előállított hidrogént. Ebben az esetben a folyamatban CO₂ leválasztást, tárolást és/vagy CO₂ hasznosítást alkalmaznak, így a folyamat során keletkező CO₂ nagy része nem a légkörbe kerül, ezáltal egységnyi tömegű hidrogén előállítása számottevően kisebb (kb. 40-80%-kal kevesebb) CO₂ kibocsátással jár, mint a szürke (barna) hidrogén esetében.
- **SÁRGA** hidrogén: nem széleskörűen elterjedt, és nem általánosan elfogadott fogalom egyelőre, de sárga hidrogénnek azt tekintik, ha a hidrogén előállítás (közvetlenül) nukleáris energia segítségével előállított (azaz low-carbon) villamos energiából, alapvetően elektrolízisen keresztül történik. A nukleáris alapú

villamos energiához olyan csekély (gyakorlatilag nulla közeli) karbon intenzitás (gCO₂/kWh) tartozik, hogy az ezzel – elektrolízis alapon – előállított hidrogén karbon intenzitása (kgCO₂/kgH₂) számottevően jobb, mint bármely kék hidrogén alternatíva esetében.

- **ZÖLD** hidrogénnek azt tekintik, ha a hidrogén előállítása valamilyen megújuló energia segítségével történik. Leggyakrabban ez szél-, víz- vagy napenergiából termelt villamosenergiával végzett elektrolízisen keresztül valósul meg. Ide sorolható még pl. a biogáz (biometán) reformálásából előállított hidrogén, esetleg algák segítségével, biotechnológiai úton előállított hidrogén is; illetve a távolabbi jövőben fotokatalitikus úton előállított hidrogén stb. Zöld hidrogén esetében nem csak a kék hidrogénnel legalább azonos vagy kisebb karbon intenzitás (kgCO₂/kgH₂) elérése a feltétel, hanem az előállításához szükséges primer energiahordozónak is megújulónak kell lennie.
- **MELLÉKTERMÉK** hidrogén: bizonyos ipari folyamatok melléktermékeként is keletkezhet hidrogén (pl. klóralkáli elektrolízis, olefingyártás). E fogalmi kategória szintén nem letisztult még: egyesek e melléktermék hidrogént is a „kék hidrogén” egyik alkategóriájának tekintik, ami végső soron nem tekinthető elhibázottnak; más szakértők, az átláthatóbb statisztikák érdekében önálló kategóriaként javasolják szerepeltetni. Előfordul, hogy adott cég – akár Magyarországon is – a saját tevékenysége során keletkező melléktermék hidrogénjét, saját telephelyén fel is használja (pl. hőtermelésre).

A fentiekből látható, hogy a kvalitatív osztályozásban a szürke / kék / zöld hidrogén kategóriák viszonylag letisztultak, egyértelműek; de pl. a „sárga” és „melléktermék” hidrogén kategóriák jövőbeni önálló vagy alkategóriaként „beágyazódó” jellege még nem dőlt el. Vannak még nyitott kérdések, de ezek várhatóan a közeljövőben megválaszolásra kerülnek.

*Forrás: Hidrogéntechnológiai Fehér Könyv (NHT Platform, 2021)

¹ Csak megemlítjük, hogy egyes szakirodalmak már-már „szinkavalkádót” alkalmaznak a különböző hidrogén formák azonosítására. Így például „barna” hidrogénként a szénégázosítás útján előállított, nagy karbon-intenzitású hidrogént értik (tehát nem tekintik úgy, hogy ez is a szürke hidrogén egy részhez tartozzon); „tűrkiz” hidrogént is olykor meg szoktak különböztetni, amely metán pirolitikus eljárásával állítható elő (míg ezt a típust sokan a kék hidrogén egy változatának tekintik, hiszen lényegében egy szintén alacsony karbon-intenzitású hidrogénformát jelent). A hidrogén színskála elvi okokból tehát szinte tetszőleges mértékben bonyolítható, amit mi elkerülnénk, és egy kezelhető, jól értelmezhető, 3-4 kategóriát alkalmazó minősítést javasolunk használni.

2022. november 18. (péntek)

4. szekció: A hidrogén hatása a szerkezeti anyagainkra

Levezető elnök: Dobránszky János (BME)

- 10.15-10.45 **A hidrogénhez kapcsolódó technológiák a MESSER-nél**
Halász Gábor, alkalmazástechnikai szakértő (MESSER Hungarogáz Kft.)
- 10.45-11.15 **A hidrogén és a korrózió**
Dr. Lukács János, egyetemi tanár (Miskolci Egyetem, Szerkezetintegritási Intézet)
- 11.15-11.45 **Az Akvamarin Projekt legújabb eredményei – Anyagtechnológiai kutatások végrehajtása hidrogénnel kevert földgáz közegben**
Lovas László, technológus-folyamatmérnök (Magyar Földgáztároló Zrt.)
Mérő Tamás, művelési csoportvezető (Magyar Földgáztároló Zrt.)
- 11.45-12.15 **Amit még a hidrogén ipari felhasználásáról tudni kell. A „zöld hidrogén” technológiai korlátjai és perspektívái**
Dr. Major Zoltán, egyetemi tanár (Johannes Kepler Egyetem, Linz)
Dr. Tóth László, tudományos tanácsadó (Bay Zoltán Nonprofit Kft.)
- 12.15-12.30 **Hőcserélő robbanás - ANIMÁCIÓS VIDEO**
Moderátor: Kurucz Botond (MOL Nyrt.)



Nátrium-, kálium-halogenid sókeverék alacsony olvadáspontú összetételeinek keresése

Searching for low-melting compositions of sodium-, potassium-halide salt mixture

Baranyai Viktor Zsolt^a, T. Szabó József^b, Kaptay György^c

^aBay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos munkatárs, viktor.baranyai@bayzoltan.hu

^bBay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos munkatárs, jozsef.szabo@bayzoltan.hu

^cBay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., vezető kutató, gyorgy.kaptay@bayzoltan.hu

Miskolci Egyetem, Nanotechnológiai Intézet Kihelyezett Tanszék, egyetemi tanár

ELKH-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, kutatócsoport vezető

Kulcsszavak

sóolvadékok,
alkáli-halogenidek,
olvadáspont,
számítógépes termodinamika,
fázisegyensúly

Keywords

molten salts,
alkali halides,
melting point,
computational thermodynamics,
phase equilibrium

Absztrakt

A sóolvadékok kiemelt szerepet töltenek be az ionos folyadékok között, lévén hogy számos elektrokémiai eljárás fontos elemei. Ezen technológiák gazdaságos megvalósíthatóságához olcsó és alacsony olvadáspontú összetételeket kell keresni.

Jelen kutatás során többkomponensű, Na⁺ és K⁺ kationokból, valamint F⁻, Cl⁻, Br⁻ és I⁻ anionokból álló sókeverékeket vizsgáltunk a FactSage szoftvert és sóolvadék adatbankjait felhasználva. A lehetséges összetétel-kombinációkat kis lépésközökkel végigszámolva lehetőségünk nyílt kiválasztani az elektrokémiai felhasználásra potenciálisan alkalmas, alacsony olvadáspontú összetételeket.

Abstract

Molten salts have an important role among ionic liquids, as they are essential components of many electrochemical processes. In order to make these technologies economically viable, cheap and low-melting compositions must be sought.

In this research multi-component salt mixtures consisting of Na⁺ and K⁺ cations and F⁻, Cl⁻, Br⁻ and I⁻ anions were examined using the FactSage software and molten salt data banks. By scanning all the possible composition combinations in small steps, we had the opportunity to select compositions with a low melting point that are potentially suitable for electrochemical use.

Bevezetés

A sóolvadékok számos technológiában kiemelt szerepet töltenek be. Sóolvadékokat használhatnak acélgégyártásnál, alumínium hulladék feldolgozásnál, nukleáris reaktorok hűtőközegeként, vagy éppen hőtároló közegként [1-8]. Elektrokémiai felhasználások, ezen belül fémolvadék akkumulátorok terén is egyre nagyobb figyelem összpontosul a sóolvadékokra, mint lehetséges elektrolitokra [9-12]. Kim és társai öt kritériumot állítottak a potenciális elektrolitokkal szemben: alacsony olvadáspont, nagy ionos vezetőképesség, megfelelő sűrűség, spontán és visszafordíthatatlan elektród-elektrolit reakciók hiánya és minimális fém oldhatóság. Az utóbbi kritériumról megjegyzendő, hogy az önkisülés következtében fellépő veszteség csökkentése végett nagy jelentősége van. Megállapították, hogy a fémek oldhatósága csökken a sóolvadék elektrolitban további kationok hozzáadásával [9]. Az alumínium ipari előállítása sóolvadék elektrolízissel történik, általánosan kriolitot használnak [13], ugyanakkor léteznek megoldások kloridos olvadékból történő elektrolízisre is [14-15]. Sóolvadék elektrolízissel leválasztható titán [16], előállíthatók fémboridok [17-19], szilicidok [20], karbon nanocsövek [21-24]. A szemcsékkel erősített fémmátrixú kompozitok újrahasznosításának lényeges kérdése a mátrix és a szemcsék szétválasztása, ami sóolvadék alkalmazásával megoldható [25]. Sóolvadékok alkalmasak lehetnek fémek és kerámiák felületkezelésére [26], fémmátrixú és karbonmátrixú kompozitok előállítására [27-32].

A sóolvadékok fizikai-kémiai jellemzőit számos kutató igyekezett számítógéppel modellezni. Aragones és társai három különböző erőter modell (Tosi-Fumi, Smith-Dang és Joung-Cheatham) figyelembevételével és három eltérő számítási módszerrel számították ki alkáli-halogenidek keverékének olvadáspontját [33]. Megállapították, hogy NaCl esetén a Tosi-Fumi modellel kapott olvadáspont

érték áll a legközelebb a kísérleti eredményekhez.

Waltz és társai a WBK erőter modell bevezetésével jobb közelítést kaptak alkáli-halogenidek fizikai jellemzőinek (köztük az olvadáspont) meghatározására, mint a korábban alkalmazott modellekkel lehetett [34-35].

Alkáli halogenidek olvadási jellemzőit meghatározza az anion-kation összetétel, mivel az ionok közti kötés erősségét befolyásolja az ionok közötti távolság, ezért nagyobb rendszámú (és nagyobb méretű) ionok között a kötés erőssége kisebb. Ebből kifolyólag általában elmondható, hogy akár a kationok, akár az anionok esetén a rendszám növelése kisebb olvadáspontot eredményez tiszta (egyfajta aniont és kationt tartalmazó) sók esetén [36-37]. Az ionméret növelésével nem csak az olvadáspont, de a hővezető-képesség [38] és a hőkapacitás [39] is csökken.

Keverékek olvadáspontja meghatározható számítógépes termodinamika (computational thermodynamics) módszerével is, amihez számos kereskedelembe kapható szoftvercsomag rendelkezésre áll. Ezen szoftverek termodinamikai adatbázisokra és a vonatkozó egyenletekre támaszkodva határozzák meg a lehetséges fázisok egyensúlyát, figyelembe véve a rendszer Gibbs-energia minimumra való törekvését [6, 40-42].

Jelen munkánk során FactSage szoftvercsomagot felhasználva határoztuk meg Na⁺, K⁺ kationokat, illetve F⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻ anionokat tartalmazó sókeverékek legalacsonyabb olvadáspontú összetételeit.

1. A kutatás során alkalmazott módszerek

Munkánkhoz FactSage 8.1 szoftvercsomagot használtuk, annak fázisegyensúly meghatározására szolgáló Equilib modulját, illetve az FTSalt és ELEM adatbázisokat.

A FactSage lehetővé teszi ismétlődő feladatok elvégzésére saját programkód, úgynevezett makró fejlesztését. Erre a célra írt makrókat lefuttatva nagy koncentráció felbontással (5 mol% az anionok és kationok esetén is)

végigpásztáztuk az összes lehetséges összetétel-kombinációt, és kiválasztottuk azokat az összetételeket, amelyek alacsony olvadáspontjuk révén gazdaságosan alkalmazhatók lehetnek elektrolitként.

A valóságos technológiáknál az elektrolit összetétele időben változhat, illetve a cellán belül térben is eltérhet az előre beállított összetételtől. Ezért megvizsgáltuk azt is, hogy a kiválasztott összetételű sókeverékek olvadáspontja mennyire érzékeny az egyes ionok koncentrációjának változására.

2. Kétkomponensű alkáli-halogenid rendszerek

Kétkomponensű (valójában kvázi kétkomponensű) rendszereket vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a sókeverékek olvadáspontja kisebb, mint a tiszta sóké. Ez elmondható mind az ugyanazon aniont és két eltérő kationt (1. táblázat), illetve ugyanazon kationt és két eltérő aniont (2. táblázat) tartalmazó rendszerekről is.

1. táblázat: A talált minimum olvadáspontok (T_m (min)) a hozzájuk tartozó kationösszetétellel a NaX-KX kvázibinér rendszerekben a különböző halogenid ionok ($X: F^-, Cl^-, Br^-, I^-$) esetén

Anion	Összetétel ($Na^+/(Na^++K^+)$) [mol/mol]	T_m (min) [$^{\circ}C$]
F^-	0,397	718
Cl^-	0,506	657
Br^-	0,487	643
I^-	0,588	580

2. táblázat: A talált minimum olvadáspontok (T_m (min)) a hozzájuk tartozó anionösszetétellel az $X_2/(X_1+X_2)$ kvázibinér rendszerekben a vizsgált két kation (K^+, Na^+) esetén

Kation	Anion1 (X_1)	Anion2 (X_2)	Összetétel $X_2/(X_1+X_2)$ [mol/mol]	T_m [$^{\circ}C$]
K^+	Br^-	Cl^-	0,35	717
		F^-	0,405	581
		I^-	0,67	663
	Cl^-	F^-	0,45	606
		I^-	0,601	599
	F^-	I^-	0,602	543
Na^+	Br^-	Cl^-	0,25	740
		F^-	0,328	642
		I^-	0,687	645
	Cl^-	F^-	0,33	679
		I^-	0,6	573
	F^-	I^-	0,815	596

Az 1. táblázatot elemezve megállapíthatjuk, hogy a minimális olvadásponthoz tartozó összetételek 0,4-0,6 móltört tartományon belül vannak. Az anion méretét növelve csökken az olvadáspont. A 2. táblázatból látható, hogy az olvadáspont minimumhoz tartozó összetételek szélesebb összetétel-tartományon belül helyezkednek el. Ezeknél az összetételeknél általánosan elmondható, hogy a nagyobb rádiuszú kation aránya nagyobb. Azt feltételeznénk a tiszta sók olvadáspontjait elemezve, hogy a nagy anionokat

(NaBr-NaI, KBr-KI) tartalmazó keverékek eredményezik a legkisebb minimum olvadáspontot. Ezzel szemben kisebb és nagyobb anionokat (KF -KI, illetve $NaCl$ -NaI) tartalmazó keverékek minimum olvadáspontja 75-100 $^{\circ}C$ -al kisebb.

3. A kapott eredmények és kiértékelésük

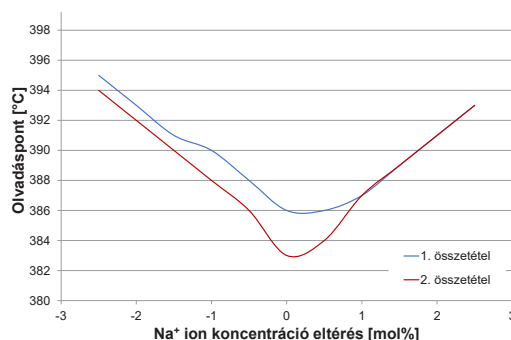
A vizsgálataink során megállapítottuk, hogy az elérhető legalacsonyabb olvadáspont értékek 380-390 $^{\circ}C$ között alakulnak. Valamennyi 400 $^{\circ}C$ alatti olvadáspontú összetételről elmondható, hogy a kationok aránya: 35-65 mol% Na^+ , 35-65 mol% K^+ ; az anionok aránya: 10-20 mol% Cl^- , 0 mol% F^- , 25-45 mol% Br^- , 35-65 mol% I^- (utóbbi kettő együtt 80-90 mol%). A két legalacsonyabb olvadáspontot eredményező, egymástól markánsan eltérő összetételt, valamint a hozzájuk tartozó olvadáspontokat a 3. táblázatban mutatjuk be. Az eredmények összhangban vannak a korábbi szakaszban bemutatottakkal, a legalacsonyabb olvadáspontokat azok az összetételek adják, ahol a Na^+ és K^+ kationok mólaránya többé-kevésbé kiegyenlített, míg az anionok döntő hányadát a nagy rendszámú, következésképpen nagy átmérőjű ionok teszik ki, míg a kis rendszámú ionok mólaránya 20 %, vagy az alatt marad.

Megkerestük azokat az összetételeket, amelyek egyféle kationt tartalmazva eredményezik a legalacsonyabb olvadáspontot (4. táblázat). A csak K^+ -t tartalmazó halogenid sók esetén az olvadáspont minimuma 428 $^{\circ}C$, míg csak Na^+ kationtartalmú sók esetén 464 $^{\circ}C$.

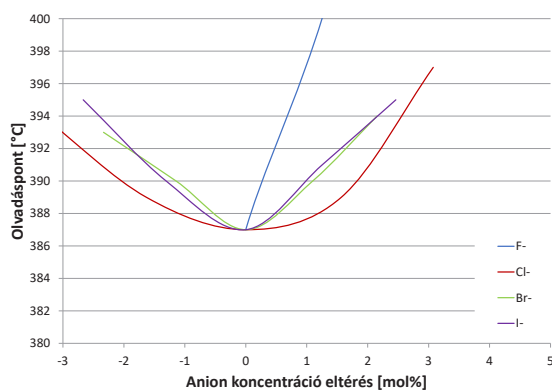
3. táblázat: A legalacsonyabb olvadáspontokat adó összetételek (móltört) és a hozzájuk tartozó olvadáspont értékek

$Na^+/(Na^++K^+)$	$K^+/(Na^++K^+)$	$Cl^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$F^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$Br^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$I^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	T_m [$^{\circ}C$]
0,44	0,56	0,2	0,00	0,44	0,36	387
0,63	0,37	0,14	0,00	0,25	0,61	383

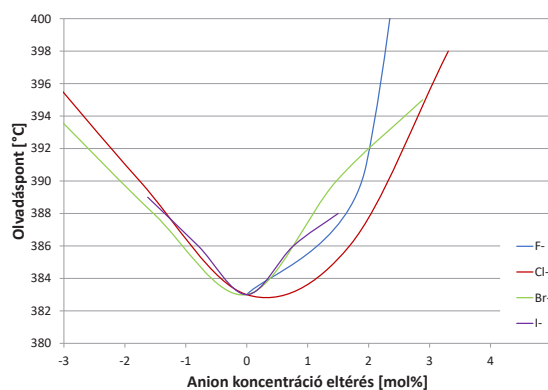
Vizsgáltuk, hogy a 3. táblázatban közölt összetételek (a továbbiakban: 1. sor: 1. összetétel; 2. sor: 2. összetétel) kismértékű módosítása miként befolyásolja a sókeverékek olvadáspontját. Az 1. ábrán a két összetétel kation koncentráció változtatásának hatását mutatjuk be, ahol 2,5% eltérés mintegy 8-12 $^{\circ}C$ olvadáspont növekedést eredményez.



1. ábra: A Na^+ ion koncentrációjának ($Na^+/(Na^++K^+)$) hatása a 3. táblázatban közölt összetételek olvadáspontjára



2. ábra: Az anionok koncentrációjának ($X^-/(F^-+Cl^-+Br^-+I^-)$) hatása a 3. táblázatban közölt 1. összetétel olvadáspontjára



3. ábra: Az anionok koncentrációjának ($X^-/(F^-+Cl^-+Br^-+I^-)$) hatása a 3. táblázatban közölt 2. összetétel olvadáspontjára

4. táblázat: Kizárólag Na^+ , illetve K^+ kationt tartalmazó legalacsonyabb olvadáspontokat adó összetételek (móltört) és a hozzájuk tartozó olvadáspont értékek

$Na^+/(Na^++K^+)$	$K^+/(Na^++K^+)$	$Cl^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$F^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$Br^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	$I^-/(Cl^-+F^-+Br^-+I^-)$	T_m [°C]
0	1	0,2	0,2	0,25	0,35	428
1	0	0,2	0,05	0,3	0,45	464

Az anionok koncentráció-változtatásának olvadáspontra gyakorolt hatását a 2. (1. összetétel) és a 3. (2. összetétel) ábrán mutatjuk be. Az 1. összetétel esetén a F^- -ion megjelenése okozza a legszembetűnőbb változást. Ez a 2. összetétel esetén kevésbé észrevehető. A Cl^- -ion koncentráció módosítása az 1. összetételénél kevésbé hat az olvadáspontra, míg a 2. összetételénél markánsabb a befolyása.

4. Összefoglalás

Jelen munkák során FactSage szoftver és adatbázis segítségével vizsgáltuk, hogy többkomponensű, Na^+ és K^+ kationokból, valamint F^- , Cl^- , Br^- és I^- anionokból álló sókeverékek összetétele miként befolyásolja az olvadáspontot, annak minimumát keresve. A számítás során az összetevők koncentrációinak 5 mol%-os változtatása mellett az elérhető legkisebb olvadáspont $383\text{ }^\circ\text{C}$ -nak adódott. Az ehhez tartozó összetétel: 63 mol% Na^+ és 37 mol% K^+ (a kationok százalékában), 14 mol% Cl^- , 0 mol% F^- , 25 mol% Br^- és 61 mol% I^- (az anionok százalékában).

A $400\text{ }^\circ\text{C}$ alatti olvadáspontú összetételekre jellemző, hogy a kationok aránya kiegyenlített (35-65 mol%), az anionok között a nagy rendszámú anionok dominálnak (75-80 mol%), a maradék Cl^- (20-25 mol%), a F^- koncentrációja 0%.

Megállapítottuk, hogy kizárólag Na^+ illetve K^+ kationt tartalmazó keverékekkel 464, illetve $428\text{ }^\circ\text{C}$ legalacsonyabb olvadáspont érhető el.

Valamint vizsgáltuk azt is, hogy a kiválasztott összetételű sókeverékek olvadáspontja mennyire érzékeny az egyes ionok koncentrációjának változására. Megállapítottuk, hogy az egyes ionok koncentráció-változásának hatása függ a kiinduló összetételtől, jellemzően $5\text{-}15\text{ }^\circ\text{C}$ olvadáspont-növekedést jelent valamely anion vagy kation 2,5 mol%-nyi koncentráció-változása.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2020-NKA-18 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-4.1.1-TKP2020 program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Xiaolan Wei, Ming Song, Qiang Peng, Jing Ding, Jianping Yang: A New Ternary Chloride Eutectic Mixture and its Thermo-physical Properties for Solar Thermal Energy Storage; Energy Procedia, 2014
- [2] Jing Ding, Gechuanqi Pan, Lichan Du, Jianfeng Lu, Xiaolan Wei, Jiang Li, Weilong Wang, Jinyue Yan: Theoretical prediction of the local structures and transport properties of binary alkali chloride salts for concentrating solar power; Nano Energy, 2017
- [3] Murat M. Kenisarin. High-temperature phase change materials for thermal energy storage; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010
- [4] D. Sergeev, E. Yazhenskikh, P. Haseli, M. Liu, M. Ziegner, F. Bruno, M. Müller: Experimental study of thermodynamic properties and phase equilibria in Na_2CO_3 - K_2CO_3 system; CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry 71, 2020
- [5] D. Sergeev, E. Yazhenskikh, D. Kobertz, K. Hack, M. Müller: Phase equilibria in the reciprocal $NaCl$ - KCl - $NaNO_3$ - KNO_3 system; CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry 51, 2015
- [6] Carolina Villada, Wenjin Ding, Alexander Bonk, Thomas Bauer: Simulation-Assisted Determination of the Minimum Melting Temperature Composition of $MgCl_2$ - KCl - $NaCl$ Salt Mixture for Next-Generation Molten Salt Thermal Energy Storage; Frontiers in Energy Research, 2022
- [7] Rafael Bolivar, Bernd Friedrich: The influence of increased $NaCl$: KCl ratios on Metal Yield in salt bath smelting processes for aluminium recycling; World of Metallurgy - ERZMETALL, 2009
- [8] Yu-Ting Wua, Ying Lia, Nan Renb, Rui-Ping Zhia, Chong-Fang Maa: Experimental study on the thermal stability of a new molten salt with low melting point for thermal energy storage applications; Solar Energy Materials and Solar Cells 176, 2018
- [9] Hojong Kim, Dane A. Boysen, Jocelyn M. Newhouse, Brian L. Spatocco, Brice Chung, Paul J. Burke et al.: Liquid metal batteries: Past, present, and future; Chem. Rev. 2013
- [10] Kaixuan Cui, Wang Zhao, Shengwei Li, Dongmei Zhou, Chunrong

- Liu, Xuanhui Qu, Ping Li: Low-Temperature and High-Energy-Density Li-Based Liquid Metal Batteries Based on LiCl-KCl Molten Salt Electrolyte; ACS Sustainable Chem. Eng. 2022
- [11] Yu Ding, Xuelin Guo, Guihua Yu: Next-Generation Liquid Metal Batteries Based on the Chemistry of Fusible Alloys; ACS Cent. Sci. 2020
- [12] M.Elena Arroyo-de Dompablo, Alexandre Ponrouch, Patrik Johansson, M. Rosa Palacín: Achievements, Challenges, and Prospects of Calcium Batteries; Chem. Rev. 2020
- [13] S.V.Devyatkin, G.Kaptay: Chemical and Electrochemical Behaviour of Titanium Diboride in Cryolite-Alumina Melt and in Molten Aluminum; J Solid State Chem, 2000, vol.154, pp.107-109
- [14] Kaptay G. : Estimation of excess thermodynamic functions of aluminum monochloride dissolved in alkali chloride melts; Mater Sci Forum, 1991, vol. 73-75, pp. 101-108.
- [15] Akhmedov S.N., Kaptay G., Borisoglebskii Yu.V., Gorlanov E.S., Karimov M.I., Vetyukov M.M.: Chemical and electrochemical behaviour of some 'new materials' in molten salts to be used for aluminium electrolysis; Molten Salt Forum vol. 1-2 (1993/94) pp. 231-232
- [16] Deviatkin S.V., Kaptay G.: Influence of nature of the alkali metal cation on Ti(III) - e = Ti(IV) electrochemical process in chloride melts; Molten Salt Forum vol. 1-2 (1993/94) pp. 129-138.
- [17] Kaptay Gy., Deviatkin S.V., Berecz E., Shapoval V.I.: Átmeneti fémborid bevonatok elektrokémiai szintézise sóolvadékokból; Gépgyártástechnológia, 1991. XXXI. évf., 10. sz., 445-446 o.
- [18] Devyatkin S.V., Kaptay G., Poignet J.-C., Bouteillon J.: Electrochemical Synthesis of Titanium Diboride Coatings from Cryolite Melts; Molten Salts Forum 5-6 (1998) 331-334.
- [19] G. Kaptay, S.A. Kuznetsov: Electrochemical synthesis of refractory borides from molten salts – Review paper; Plasmas & Ions, 2 (1999) 45-56.
- [20] S.V.Devyatkin, O.I.Boiko, N.N.Uskova, G.Kaptay: Electrochemical Synthesis of Titanium Silicides from Molten Salts; Z. Naturforsch B, 2001, vol. 56 a, pp.739-740.
- [21] J. Miklósi, P.Póczik, I.Sytchev, K.Papp, G.Kaptay, P.Nagy, E.Kálmán: Atomic force microscopy investigation of electrochemically produced carbon nanotubes; Appl. Phys., 2001, vol. A72, pp. S189-S192
- [22] I.Lukovits, A.Gaovac, E.Kálmán, G.Kaptay, P.Nagy, S.Nikolic, J.Sytchev, N.Trinajstić: Nanotubes: Number of Kekulé Structures and Aromaticity; J. Chem. Inf. Comput. Sci., 2003, vol.43, pp.609-614.
- [23] J.Sytchev, G.Kaptay: Influence of alkali metal on the erosion of a graphite cathode and morphology of carbon nanotubes. Electrochim Acta, 2009, vol.54, pp. 6725-6731.
- [24] T.Gábor, F.H.Kármán, J.Sytchev, E.Kálmán, G.Kaptay: The separation of carbon nanotubes from chlorides; Carbon, 2009, vol.47, pp.1195-1198.
- [25] D.Madarasz, I.Budai, G.Kaptay: Fabrication of SiC-particles shielded Al-spheres upon recycling Al/SiC composites; Metal Mater Trans A, 2011, vol.42, pp. 1439-1443
- [26] P.Baumli, J.Sytchev, Zs.H.Göndör, G.Kaptay: Interaction between a titanium-containing molten salt and an alumina plate. Mater Sci Forum, 2005, vols. 473-474, pp.39-44.
- [27] P.Baumli, G.Kaptay: Wettability of carbon surfaces by molten alkali chloride mixtures. Mater Sci Forum, 2008, vol.589, pp.355-359
- [28] P.Baumli, G.Kaptay: Wettability of carbon surfaces by pure molten alkali chlorides and their penetration into a porous graphite substrate. Mater Sci Eng A, 2008, vol.495, pp.192-196.
- [29] P.Baumli, J.Sytchev, G.Kaptay: Perfect wettability of carbon by liquid aluminum achieved by a multifunctional flux; J Mater Sci, 2010, vol.45, pp. 5177-5190
- [30] K.L.Juhasz, P.Baumli, J.Sytchev, G.Kaptay: Wettability of a graphite crucible by liquid aluminum under molten potassium halide fluxes; J Mater Sci, 2013, vol.48, pp. 7679-7685.
- [31] Somlyai-Sipos L., Baumli P., Kaptay G., Bálint P., Dezső A., Simon A., Gácsi Z., A. Lekatou, T. Sfikas, A. Karantzalis: Volfrám-karbid szemcsékkel erősített alumínium mátrixú kompozit fejlesztése. BKL Kohászat, 2015, vol.148, No.2, pp.34-39
- [32] A. Lekatou, A. E. Karantzalis, A. Evangelou, V. Gousia, G. Kaptay, Z. Gacsi, P. Baumli, A. Simon: Aluminium reinforced by WC and TiC nanoparticles (ex-situ) and aluminide particles (in-situ): Microstructure, wear and corrosion behavior. Mater Design, 2015, vol.65, pp. 1121-1135.
- [33] J.L.Aragones, E. Sanz, C.Valeriani, C.Vega: Calculation of the melting point of alkali halides by means of computer simulations; J. Chem. Phys. 137, 104507 (2012)
- [34] Marie-Madeleine Walz, David van der Spoel: Systematically improved melting point prediction: a detailed physical simulation model is required; Chem Commun (Camb), 2019
- [35] Marie-Madeleine Walz, David van der Spoel: Molten alkali halides – temperature dependence of structure, dynamics and thermodynamics; Phys. Chem. Chem. Phys., 2019
- [36] David R. Rosseinsky, Keith Stead: Alkali-halide lattice energies, melting, and the scaling of lattice properties; Journal of Physics and Chemistry of Solids 60, 1999
- [37] Dmitry Zakiryanov, Mikhail Kobelev, Nikolai Tkachev: Melting properties of alkali halides and the cation-anion size difference: A molecular dynamics study; Fluid Phase Equilibria 506, 2020
- [38] Dmitry Olegovich Zakiryanov, Nikolai Konstantinovich Tkachev: Thermal conductivity of molten alkali halides: The phenomenology and molecular dynamic simulations; International Journal of Heat and Mass Transfer 181, 2021
- [39] Alexander G. Davydov, Nikolai K. Tkachev: Heat capacity of molten alkali halides; Journal of Molecular Liquids 356, 2022
- [40] C.W.Bale et al.: FactSage thermochemical software and databases, 2010–2016; Calphad 54. 2016
- [41] Jung, I.H., Van Ende, M.A.: Computational Thermodynamic Calculations: FactSage from CALPHAD Thermodynamic Database to Virtual Process Simulation; Metall Mater Trans B 51, 2020
- [42] Li Hanxu, Yoshihiko Ninomiya, Dong Zhongbing, Zhang Mingxu: Application of the FactSage to Predict the Ash Melting Behavior in Reducing Conditions, Chinese J. Chem. Eng., 14. 2006

Lézeres felületkezelés felületerősített Raman-spektroszkópiai alkalmazása

Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) application of laser surface treatment

Windisch Márk^a, Maloveczky Anna^b, Veres Miklós^c, Rigó István^d, Fürjes Péter^e, Dankházi Zoltán^f, Vida Ádám^g

^a Bay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., mark.windisch@bayzoltan.hu

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Anyagfizikai Tanszék

^b Bay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., anna.maloveczky@bayzoltan.hu

^c Wigner Fizikai Kutatóközpont, veres.miklos@wigner.hu

^d Wigner Fizikai Kutatóközpont, rigo.istvan@wigner.hu

^e Energiatudományi Kutatóközpont, furjes@ek-cer.hu @wigner.hu

^f Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Anyagfizikai Tanszék, zoltan.dankhazi@ttk.elte.hu

^g Bay Zoltán Alkalmazott Kutási Közhasznú Nonprofit Kft., adam.vida@bayzoltan.hu

Kulcsszavak

lézeres felületkezelés,
Raman-spektroszkópia,
SERS-hordozó,
plazmonikus nanorészecske,
szilícium

Keywords

laser surface treatment,
Raman spectroscopy,
SERS substrate,
plasmonic nanoparticle,
silicon

Absztrakt

Az ultrarövid impulzuslézerrel történő felületkezelés egyik előnye a gyors, különböző formájú és méretű felületi struktúrák kialakításának lehetősége. A femtoszekundumos lézeres anyagmegmunkálás során szilícium felületi struktúrázásával és aranyréteggel való bevonásával a felületerősített Raman-spektroszkópiában (Surface-enhanced Raman Spectroscopy) alkalmazott SERS-hordozót hoztunk létre. A készített hordozó SERS-erősítését Rodamin B és Rodamin 6G molekulák segítségével vizsgáltuk, és kereskedelmi forgalomban lévő hordozókéval hasonlítottuk össze. A Raman-mérések eredménye alapján a készített hordozó erősítése megközelíti a piacvezető termékekét.

Abstract

One of the advantages of the ultrashort pulse laser surface treatment is the rapid creation of surface structures of different, shape, size and morphology. During femtosecond laser material processing a surface has been fabricated for surface-enhanced Raman spectroscopy by structuring the surface of silicon and coating it with a thin film of gold. The SERS amplification of the produced substrate was investigated by using Rhodamine B and Rhodamine 6G molecules and it was compared with that of its commercial products. Based on the results of the Raman measurements, the enhancement of the produced substrate approaches that of market-leading products.

1. Bevezetés

A lézeres felületkezelésnek számos alkalmazása létezik, melyet ipari környezetben napi rendszerességgel használnak. A lézeres megmunkálásokhoz mind folytonos, mind impulzusüzemű lézerberendezést alkalmaznak, mellyel számos felületkezelés (felületedzés, felületi átolvasztás, felületi ötvözés stb.) könnyen megvalósítható [1,2]. A lézersugaras technológia fejlődésével, illetve a lézeres anyagmegmunkálások precizitása és azok minőségi javulásának igénye következtében az iparban hamar elterjedtek az ultrarövid (pikoszekundum vagy annál rövidebb idejű) impulzushosszúságú lézerberendezések használata. Az impulzuslézerek e típusa nagy energiasűrűséggel rendelkezik, melynek köszönhetően lehetőséget ad a szilárd anyagok kis hőhatásövezettel rendelkező, korábbiaknál jóval precízebb, szublimációs anyageltávolítására [3]. Az ultrarövid impulzusú lézeres megmunkálás további előnye a különböző formájú és méretű felületi struktúrák gyors kialakításának lehetősége [4], melynek előnyeit használtuk ki az ismertetett felületerősített Raman-spektroszkópiai (Surface-enhanced Raman Spectroscopy - SERS) alkalmazásban.

2. Felületerősített Raman-spektroszkópia

A SERS, amint nevéből is adódik, kiegészítő mérési technikája a Raman-spektroszkópiának. Az említett spektroszkópiai módszer során a fény-anyag kölcsönhatás során két típusú szórás detektálható. Az egyik a relatív nagy intenzitású rugalmas, ún. Rayleigh-szórás, mely a vizsgált molekuláról nem szolgáltat számunkra hasznos információt. A másik, a rugalmatlan Raman-szórás, melynek segítségével információt nyerhetünk a vizsgált molekula kötési szerkezetéről. Az utóbbi szórás intenzitása nagyságrendben csupán néhány század százaléka

a Rayleigh-szórásnak, melynek következményeként a mérési technika kis koncentrációban jelenlévő anyagok kimutatására nem alkalmas [5]. A Raman-szórás intenzitás-növelésének egyik módja a felületerősített Raman-spektroszkópia alkalmazása, melynek segítségével a Raman-jelek nagyságrendekkel nagyobb intenzitását mérhetjük. A SERS során plazmonikus tulajdonságokkal rendelkező (arany/ezüst) fémfelületek vagy nanoszemcsék közvetlen környezetében található molekulák Raman-szórását detektáljuk. A mérési folyamat során a monokromatikus gerjesztő fény (lézernyaláb) elektromágneses tere kölcsönhat a fémszerkezet szabad elektronjaival, és azok kollektív rezgéseivel (plazmonjaival) rezonanciába lépve jelentősen felerősödik. A plazmonrezonancia következtében létrejött elektromágneses közeltér a felület közelében fejt ki hatását és az ott található vagy a fémfelületen adszorbeálódott molekulák Raman-szórási intenzitásának növekedését okozza. Az erősítés nagyságát a mérési körülmények számos paramétere mellett – alkalmazott lézerhullámhossz, plazmonikus anyag fajtája és annak tisztasága – nanorészecskék esetében elsődlegesen azok alakja, mérete, méreteloszlása és köztük lévő karakterisztikus távolság határozza meg [6].

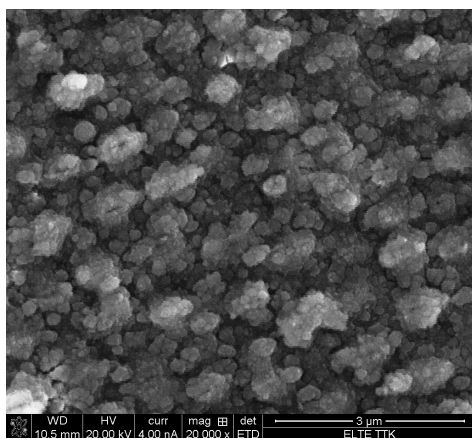
3. SERS-hordozó

A felületerősített Raman-spektroszkópiában SERS-hordozóként nanorészecskéket tartalmazó kolloid oldatokat, illetve plazmonikus tulajdonságokkal rendelkező szilárdtest felületeket alkalmaznak. A mérési technikával elérhető erősítés a legtöbb esetben szilárd hordozóval megvalósítható, ugyanakkor néhány esetben – DNS, RNS, kisméretű fehérjék, enzimek – az Au/Ag kolloidok bizonyultak hatékonyabbnak [7]. A szilárd SERS-hordozó előállítására többféle módszer létezik: plazmonikus anyag

felületi strukturálása, Au/Ag nanorészecskék felvitele különböző anyagú (szilícium, polimer, papír) hordozóra vákuumgőzölés, elektrokémiai leválasztás vagy más módszer használatával, hordozó strukturálását követően annak plazmonikus réteggel való bevonása, mely utóbbit a lézeres megmunkálással létrehozott SERS-hordozó esetén is alkalmaztunk.

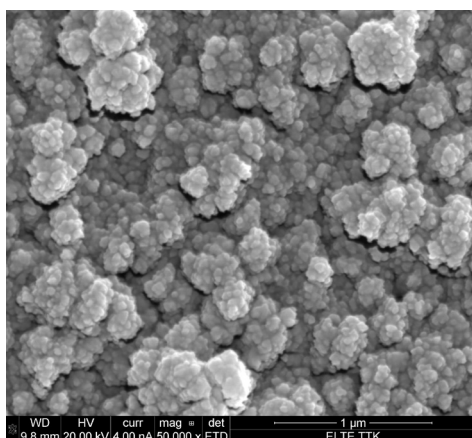
3.1 A SERS-hordozó előállítás

A hordozó előállításához szilícium egykristály felszínét F-theta lencsével felszerelt Coherent Monaco femtoszekundumos lézerberendezéssel strukturáltuk. A kialakított felületi morfológiát (1. ábra) a lézeres felületkezelés során a lézer-anyag kölcsönhatás következményeként megjelenő felületi visszarakódások eredményét kihasználva hoztuk létre.



1. ábra: A SERS-hordozó lézeres felületkezeléssel strukturált szilícium felszíne

A strukturált szilícium felszínét AJA Orion vákuumgőzölő segítségével 5 nm Ti adhéziós párnaréteggel és 80 nm vastagságú aranyréteggel vontuk be (2. ábra).



2. ábra: A SERS-hordozó aranyozott felszíne

A hordozó aranyréteggel való bevonásának kifejlesztését különböző vákuumgőzölő berendezésekkel, eltérő körülmények (pl.: kamranyomás, alkalmazott inert gáz) között végeztük. A Raman-spektroszkópiai vizsgálat során megállapítottuk, a plazmonikus bevonat akár néhány

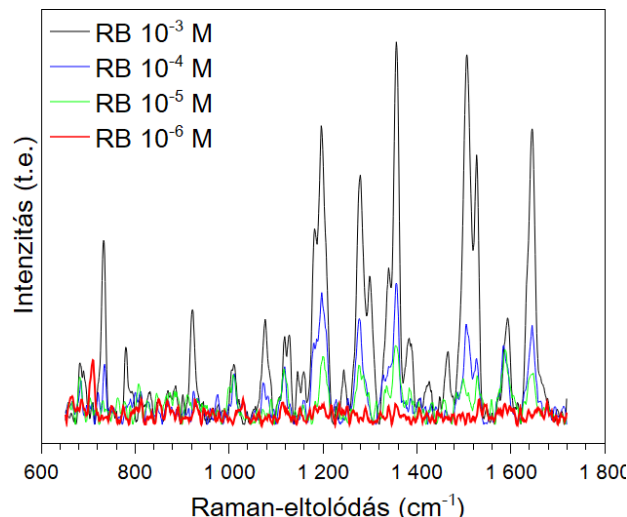
atomszázalékos szén- és oxigéntartalma is jelentősen csökkenti a SERS-erősítés nagyságát. Az erősítés megtartásának érdekében az aranyozás az említett gőzölővel tisztatérben és ultranagy vákuumban történt.

A SERS-hordozó készítésének meghatározó lépése az erősítéshez szükséges plazmonikus struktúra kialakítása, melynek alapja a szilícium megfelelő lézeres felületmódosítása. Az 1. ábrán is látható strukturált Si morfológiája 50 nm - 100 nm-es legkisebb egységekből épül fel, melyek aranybevonatának vastagságát 80 nm-re optimalizáltuk. A kialakított plazmonikus réteggel bevont morfológia karakterisztikus méretei összhangban vannak a plazmonrezonancián alapuló elektromágneses erősítést leíró elmélettel [6].

3.2 A SERS-hordozó erősítésének vizsgálata

A hordozó SERS-erősítését Rodamin B (RB) és Rodamin 6G (R6G) molekulák segítségével vizsgáltuk. Az alkalmazott molekulák propanolos oldatát a hordozóra cseppentettük, majd az oldószer elpárolgását követően azok SERS-erősítését egy Leica DM2700 mikroszkóppal egybeépített Renishaw InVia Raman-berendezéssel tanulmányoztuk.

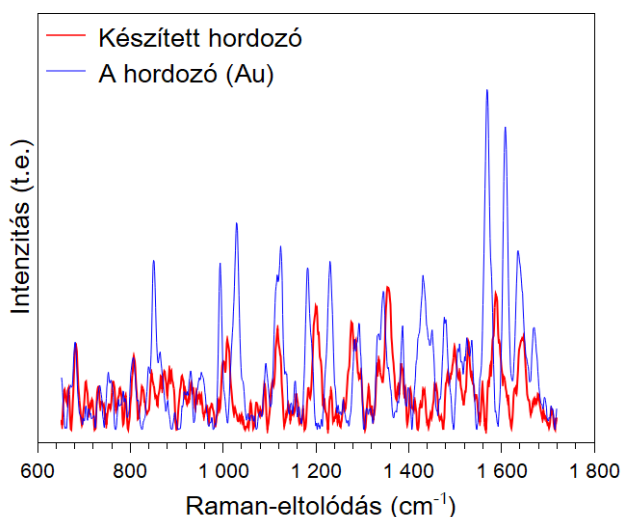
A hordozó RB molekulára vonatkozó kimutatási határának meghatározásához 10^{-6} M - 10^{-3} M koncentráció tartományban 785 nm-es hullámhosszú lézernyalábbal végeztünk méréseket. A mért Raman-spektrumok (3. ábra) alapján a RB molekulára jellemző csúcsok a 10^{-6} M koncentráció esetén is kimutathatók.



3. ábra: A SERS-hordozónkkal különböző koncentrációjú Rodamin B oldatokon mért Raman-spektrumok

A vizsgált koncentrációtartomány részletesebb tanulmányozása során a 10^{-6} M - 10^{-4} M közötti intervallumban a hordozó SERS-erősítésének koncentrációtól való függése linearitást mutatott. A 10^{-4} M feletti tartományban a molekulák SERS-erősítés nélküli Raman-szórását is detektáltuk.

A hordozó RB-vel való további vizsgálatához, annak SERS-erősítését kereskedelmi forgalomban kapható papíralapú, Au részecskékkel borított SERS-hordozó (A hordozó) erősítésével hasonlítottuk össze (4. ábra).

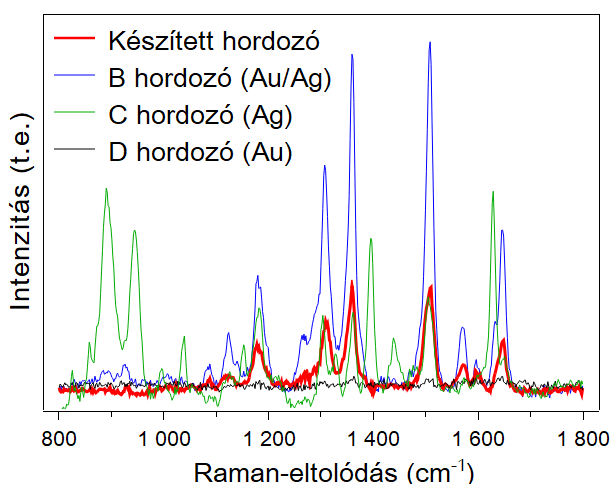


4. ábra: Az általunk előállított és a beszerezhető papíralapú (Au) SERS-hordozóval 10^{-5} M koncentrációjú Rodamin B oldaton mért Raman-spektrumok összehasonlítása

A Raman-spektroszkópiai méréseket 785 nm hullámhosszú lézernyalábbal 10^{-5} M koncentrációjú RB oldattal végeztük. A kapott összehasonlítás alapján az általunk előállított hordozó mért SERS-erősítése eléri a kereskedelmi forgalomban kapható papíralapú hordozóét, az alkalmazott koncentrációjú RB oldat esetén a mért Raman-spektrumaik között lényeges különbség nem tapasztalható.

A lézeres felületkezelés által létrehozott hordozó SERS-erősítését továbbiakban R6G molekula segítségével 633 nm-es lézernyalábbal vizsgáltuk. A 10^{-6} M- 10^{-4} M koncentrációtartományban végzett mérések alapján a hordozó a 10^{-6} M-os koncentrációjú R6G propanolos oldat esetén is képes a R6G molekula Raman-vonalainak felerősítésére.

A piacon beszerezhető SERS-hordozókkal való további összehasonlítás érdekében 633 nm-es hullámhosszú lézernyalábbal 10^{-5} M koncentrációjú R6G oldattal végeztünk összehasonlító Raman-spektroszkópiai méréseket (5. ábra).



5. ábra: Az általunk létrehozott és a kereskedelmi forgalomban kapható SERS-hordozókkal 10^{-5} M koncentrációjú Rodamin 6G oldaton mért Raman-spektrumok összehasonlítása

A mérések során elektrokémiai úton ITO üveg felületre leválasztott Au/Ag nanorészecskék (B hordozó), Ag nanokockákat tartalmazó Si felület (C hordozó), illetve kémiai maratással készített Au oszlopokkal fedett Si (D hordozó) hordozók SERS-erősítést vizsgáltuk.

A mért Raman-spektrumok alapján a D hordozó már nem alkalmas a R6G 10^{-5} M koncentrációjú oldatának kimutatására. A C hordozó SERS-erősítése nagyságrendben megegyezik az általunk előállított hordozóéval, ugyanakkor az eltérő típusú, Ag plazmonikus nanorészecskék következtében a R6G molekuláira jellemző csúcsok különböző arányú intenzitásokkal figyelhetők meg. Az általunk előállított hordozóval való összehasonlítás szempontjából az egyik piacvezető cég által gyártott B hordozó erősítésének mértéke releváns számunkra. A hordozónk erősítése a mért 10^{-5} M koncentráció mellett nagyságrendben megegyezik a B hordozóéval, ugyanakkor a B hordozóval a R6G-re jellemző Raman-csúcsok intenzitása körülbelül duplája az általunk előállított hordozóhoz képest.

3.3 A SERS-hordozó ipari felhasználása

Felmerül a kérdés, hogy az ismertett Raman-spektroszkópiai mérések során miért nem számoltunk a szakirodalomban definíciókkal meghatározott erősítési tényezőket [5,6,8]. A választ a címben találjuk, miszerint a SERS-nek egy konkrét alkalmazását ismertettük. A hordozók ipari felhasználásánál fő kérdés, hogy (jó reprodukálhatóság mellett) ki tudja-e mutatni az adott koncentrációtartományban az alkalmazás számára releváns vizsgálandó molekulát. Amennyiben igen, abban az esetben a legtöbb ipari megrendelő akkreditálja a mérési módszerét az adott hordozóra és kitart mellette.

Az általunk készített hordozó, az összehasonlító Raman-spektroszkópiai vizsgálatok alapján megközelíti a kereskedelmi forgalomban lévő piacvezető Au alapú termékek SERS-erősítését. Az előállított hordozó ipari alkalmazását tekintve további előnyökkel rendelkezik. A hordozó készítése során a lézeres felületkezelés idő- és költséghatékony, továbbá a kialakított felületi struktúra jól reprodukálható. A hordozó felületén lévő aranyréteg kémiai tisztasága (a megfelelő strukturált felület mellett) a plazmonikus anyagtól függő maximális SERS-erősítést, továbbá a plazmonikus bevonat alatt található Ti adhéziós párnarétegnek köszönhetően a hordozó további reprodukálhatóságának növelését eredményezi.

3.4 A SERS-hordozó fejlesztési lehetőségei

A készített SERS-hordozó további fejlesztésének egyik lehetősége a lézeres felületkezeléssel különböző formájú és méreteloszlású morfológia létrehozása, továbbá az erre leválasztott plazmonikus aranybevonat rétegvastagságának optimalizálása. A plazmonikus bevonattal rendelkező nanoskálás szerkezetű hordozó karakterisztikus méreteinek változtatásával az erősítés spektrális tulajdonságai hangolhatók, így a különböző vizsgált Raman-aktív molekulák SERS-erősítése növelhető.

A fejlesztések másik iránya a hordozó újrahasznosításának megvalósítása. Az ipari környezetben alkalmazott

SERS-hordozók túlnyomó többsége egyszeres használatra készül, újbóli felhasználást követő megbízható mérési eredményt nem garantál a gyártó. Az ez irányban végzett fejlesztések célja a hordozóra kifejlesztett újrahasznosítási technikák kidolgozása, mellyel bizonyos anyagok megbízható vizsgálatát többszöri felhasználás esetén is biztosítani tudjuk.

4. Összefoglalás

Lézeres felületkezeléssel felületerősített Raman-spektroszkópiában használható SERS-hordozót állítottunk elő, majd megvizsgáltuk annak erősítési jellemzőit. A Raman-spektroszkópiai mérések eredményei alapján megállapítottuk, hogy az általunk készített SERS-hordozó erősítése, 10^{-5} M koncentrációjú Rodamin B és Rodamin 6G oldatok esetén megközelíti a kereskedelmi forgalomban lévő piacvezető termékek erősítését.

A hordozó SERS-erősítésének növelése, illetve spektrális tulajdonságainak módosítása érdekében a felületi struktúra módosítását, illetve az arra leválasztott plazmonikus bevonat vastagságának optimalizálását tervezzük. Továbbá, a készített hordozó, a SERS-piacon eddig megolthatatlannak számító újrafelhasználhatóságának kifejlesztését tűztük ki célul.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2020-NKA-18 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-4.1.1-TKP2020 program finanszírozásában valósult meg.

A szerzők köszönik továbbá az Innovációs és Technológiai Minisztériumnak a Nemzeti Kutatási

Fejlesztési és Innovációs Alapból az INBIOM TKP2021-EGA-04 program keretében nyújtott támogatását.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium KDP-2021 kódszámú Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [1] Steen W. M., Mazumder J.: Laser Material Processing (4th ed.). Springer, 2010, ISBN 978-1-84996-061-8
- [2] Kannatey-Asibu E.: Principles of laser materials processing. John Wiley & Sons. Inc., 2009 ISBN 978-0-470-17798-3
- [3] Diels J-C., Rudolph W.: Ultrashort Laser Pulse Phenomena (2nd ed.). Elsevier Inc., 2006, ISBN 10: 0-12-215493-2
- [4] Yang, D., et al.: Applications of Laser Ablation - Thin Film Deposition, Nanomaterial Synthesis and Surface Modification, IntechOpen. 2016, ISBN978-953-51-2812-0
- [5] Le Ru E. C., et al.: Principles of Surface-Enhanced Raman Spectroscopy: and related plasmonic effects. Elsevier, 2009. ISBN: 978-0-444-52779-0
- [6] Ding S.-Y., You E.-M., Tian Z.-Q., Moskovits M., Electromagnetic theories of surface-enhanced Raman spectroscopy. Chemical Society Reviews, vol. 46, 2017, pp. 4042. 10.1039/C7CS00238F
- [7] Hidayah, A.N.; Triyono, D.; Herbani, Y.; Saleh, R.: Liquid Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) Sensor-Based Au-Ag Colloidal Nanoparticles for Easy and Rapid Detection of Deltamethrin Pesticide in Brewed Tea. Crystals, 12., 2022, 24. <https://doi.org/10.3390/cryst12010024>
- [8] Novotny L., Hecht B.: Principles of Nano-Optics (2nd ed.). Cambridge University Press, 2012 ISBN 978-1-107-00546-4



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 **2022-től** elérhető.

A **nyomtatott kiadvány negyedévente** – teljesen megegyező tartalommal, mint az online letölthető számok – **előfizetéses formában** jelenik meg.

Amennyiben igényt tartana rá, kérem jelezze a MAROVISZ felé az alábbi email címen:

marovisz@marovisz.hu



Hidrogén keverék szerepe tranzitvezetékek biztonságának mérlegelésében

Role of the hydrogen blending of natural gas networks

Tóth László^a, Guy Pluvinae^b, Capelle Julien^c^aBay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos tanácsadó, laszlo.toth@bayzoltan.hu^bEcole Nationale d'Ingénieurs de Metz, Professor Emeritus, pluvinae.guy@orange.fr^cEcole Nationale d'Ingénieurs de Metz, kutató, julien.capelle@enim.univ-lorraine.fr

Kulcsszavak

csővezetékek,
hidrogén hozzáadás,
tervezés,
karbantartás,
felülvizsgálat

Keywords

pipelines,
hydrogen blending,
periodical control,
design,
maintenance

Absztrakt

A hidrogéngazdaság erőteljes beindítása és megszilárdítása érdekében jelentős támogatás és befektetés valósul(t) meg mind az Európai Unióban, mind pedig az USA-ban. Az Európa számára fontos projektek közül 2022 második felében indították az IPCEI Hy2Tech és IPCEI Hy2Use programokat 10,6 mrd EURO támogatással a hidrogéngazdaság infrastrukturális hátterének és ipari alkalmazásának megteremtésére. A projektekben 13 dedikált tagország intézményei vállaltak feladatokat. A volt „szocialista országok” közül Lengyelország és Szlovákia kapcsolódott be. Az USA 7 mrd USD kezdő támogatással kívánja fellendíteni a hidrogéngazdaság térhódítását. A legkülönbözőbb területeken felhasznált anyagok és a gáz, ill. folyadék halmazállapotú hidrogén vagy a hidrogéntartalmú földgáz kölcsönhatása számos olyan károsodást, valamint gondolkodási módot iniciál, amelyet eddig figyelmen kívül hagyta a szakmai közvélemény. E közlemény ezekbe igyekszik bepillantást adni.

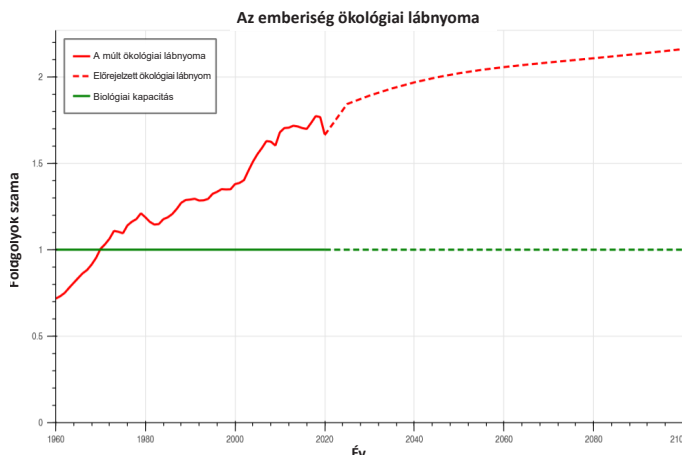
Abstract

In order to strongly launch and consolidate the hydrogen economy, significant subsidies and investments are being implemented in both the European Union and the USA. Among the projects important for Europe, the IPCEI Hy2Tech and IPCEI Hy2Use programs were launched in the second half of 2022 with 10.6 billion EURO of support to create the infrastructural background and industrial applications of the hydrogen economy. The institutions of 13 committed member countries undertook tasks in the projects. Among the former "socialist countries", Poland and Slovakia joined. The USA wants to boost the expansion of the hydrogen economy with an initial subsidy of 7 billion dollars. The interaction of materials used in a wide variety of fields with gas, liquid hydrogen or hydrogen-containing natural gas initiates several damages and ways of thinking that have so far been ignored by the professional public. The paper is going to provide insight into these problem areas.

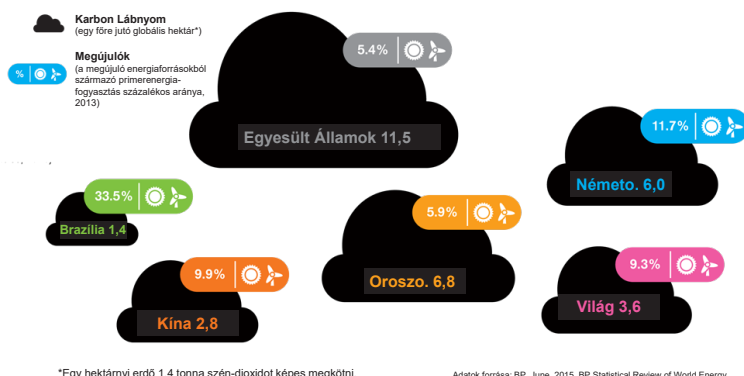
1. Bevezetés

A megújuló energiaforrások intenzív és gazdaságos kihasználását rendkívüli módon felgyorsították a következő körülmények:

- A Földünk biokapacitása és a növekvő létszámú népesség fogyasztása közötti egyre távoluló különbség, amelyet az 1. ábra szemléltet [1]. Látható, hogy az egyensúly valamikor az 1970-es években bomlott meg. Mintegy 60 év alatt egy újabb „földgolyónyival” növekedett az emberiség fogyasztása. A szaggatott vonallal jelzett, 2020-2040 periódusra vonatkozó prognózis a klímaváltozás enyhítése kapcsán született nemzetközi egyezmények várható következménye. Ezt követően az alapvető emberi mentalitás (generációban és NEM generációkban való gondolkodás) által vezérelt lassú növekedés várható.



1. ábra: A mindenkori népesség igényei és az ezt kielégítő földgolyó(k) száma [1]



*Egy hektáryi erdő 1,4 tonna szén-dioxidot képes megkötni.

Adatok forrása: BP, June, 2015, BP Statistical Review of World Energy

2. ábra: A CO₂ kibocsátás szerepe az ökológiai lábnyomban és a megújuló energiaforrás részaránya egyes országokban [2]

- A növekvő CO₂ kibocsátás az emberiség számára nehezen kezelhető, veszélyes környezetváltozást idézhet elő [2]. Ebben az USA szerepe meghatározó (2. ábra), miközben a megújuló energiák részaránya meglehetősen kicsi.
- A fosszilis energiaforrások közül az olaj és a földgáz kimerülése generációs léptékben belátható közelségbe került [3].
- Az orosz-ukrán háború felgyorsította a megújuló energiaforrások kiaknázását, alapvetően a hidrogénre koncentráva. Ennek egyik következménye, hogy csupán 2022 második felében
 - Európában meghirdetésre került az IPCEI Hy2Tech [4] (júliusban) és IPCEI Hy2Use [5] (szeptemberben) program összesen 10,6 mrd EURO támogatással a hidrogéngazdaság infrastrukturális hátterének és ipari alkalmazásának megteremtésére.
 - Az Egyesült Államokban ugyanezre a célra 7 mrd USD támogatást hirdetett meg ez év szeptemberében [6] a hidrogénhez kötődő infrastruktúra és ipari alkalmazás fejlesztésére.

- Eddig több mint 40 ország jelentette meg hidrogénhez kötődő stratégiáját [7], közöttük hazánk is.

Nem kétséges, hogy a témakör számos műszaki területet érint, így meglehetősen nehéz átfogó elemzést adni a hidrogénes rendszerek biztonságának megítéléséhez kötődő kérdésekben. Jelen közleményben csupán a mérnöki gondolkodás attribútumához kötődő

BIZTONSÁG – MEGBÍZHATÓSÁG – KOCKÁZAT

szemlélet [8] két területébe igyekszünk betekinteni abból a szempontból, hogy a hidrogén tartalmú földgáz a csővezeték anyagával kölcsönhatásba lépve LOKÁLIS károsodásokat okozhat, megváltoztatva a cső anyagának méretezés, karbantartás, felülvizsgálat szempontjából meghatározó LOKÁLIS TULAJDONSÁGAIT. A három kiragadott példa

- közül az egyik a tervezés módszertanához,
- a másik a felülvizsgálat során észlelt hibák elemzéséhez, veszélyességének mérlegeléséhez, megítéléséhez,
- a harmadik pedig periodikus felülvizsgálatok tervezéséhez kötődik.

2. Statisztikus szemlélet alapú tervezés.

A korábbi közleményben [9] kitértünk arra, hogy a csőanyag károsodása, méretezés szempontjából lényeges tulajdonságai nem egyenletesen oszlanak meg a csövek anyagának felületén és a csővezeték anyagában, hanem véletlenszerűen, így kézenfekvő a statisztikus szemlélet figyelembevétele mindjárt a legelején, azaz a tervezés, méretezés módszertánában. A csővezetékek tervezése során a maximálisan megengedhető nyomásra ($p_{\max}$ értékére) méretezünk. Egy adott vastagságú, átmérőjű és anyagminőségű csőnél a megengedhető maximális nyomás

$$p_{\max} = 2(R_{eH} t / D) f_0 f_{\text{heg}} f_T f_{\text{anyag}} \quad (1)$$

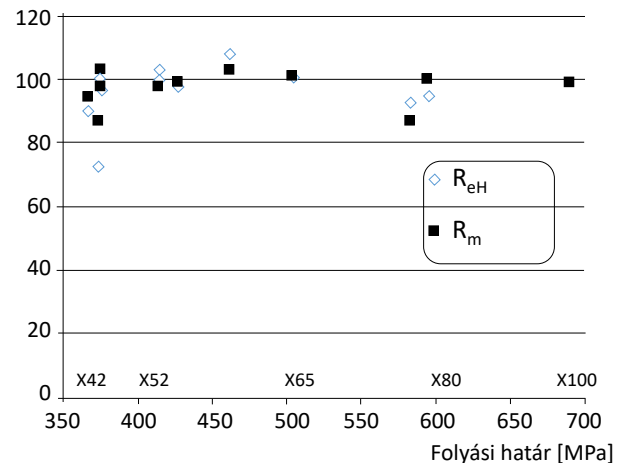
ahol:

- R_{eH} – a csőanyag kategória környezeti hőmérsékletre jellemző minimális folyási határa,
- t – a cső falvastagsága,
- D – a cső külső átmérője,
- f_0 – a tervezés környezetét figyelembe vevő tényező,
- f_{heg} – a hegesztésre vonatkozó tényező (jósági fok),
- f_T – az üzemeltetés hőmérsékletét figyelembe vevő tényező,
- f_{anyag} – az anyagtulajdonságra vonatkozó biztonsági tényező.

Az (1) összefüggésben szereplő mind a négy „f” tényező értéke általában kisebb 1-nél, azaz $f \leq 1$. A tervezési környezetet figyelembe vevő f_0 tervezési tényező nagyságát a népsűrűség határozza meg, ilyen pl.: a város, átmeneti vagy gyér lakosság. Franciaországban az $f_{0,\text{város}} = 0,4$, $f_{0,\text{átmenet}} = 0,6$ és $f_{0,\text{gyér lakosság}} = 0,73$ [9-11].

Ahhoz, hogy a csőanyagok hidrogénre jellemző érzékenységét össze lehessen hasonlítani, és egy általános képet kaphassunk, célszerű szilárdsági jellemzők

Hidrogén / Földgáz arány [-]



3. ábra: A földgázban keveredett hidrogéntartalom hatása a csőanyagok folyási határa és szakítószilárdság arányára különböző szilárdságú csöveknél

hidrogénezett és nem hidrogénezett állapotú folyási határainak és szakítószilárdságainak arányát venni, majd ezen értékeket a cső anyagminőségét jellemző szilárdsági kategória függvényében ábrázolni. Ezt szemlélteti a 3. ábra.

A 3. ábra alapján első közelítésben azt lehet mondani, hogy a hidrogén bekeverése a földgázba nem gyakorol jelentős hatást sem a csőanyag folyási határa (R_{eH}) sem pedig szakítószilárdságára (R_m). Ezen állítás ellenőrzése, megerősítése vagy korlátjainak meghatározása azonban egy javasolt kutatási tématerület. A 3. ábrából az is következik, hogy a f_0 tényező értéke azonos lehet mind a hidrogénes, mind pedig a hidrogént nem tartalmazó hálózat esetében! Az ASME B31.12- 2004 [12] az f_0 értékére négy tartományt definiál oly módon, hogy a tartomány határértékeit megtartja (szinte változatlanul), jobban definiálva a „gyér lakott területet”, azt kettéosztva. Így az f_0 értékei a következők: $f_{0,\text{város}} = 0,4$ (4 osztály, erősen urbanizált terület) $f_{0,\text{átmenet1}} = 0,5$, (3 osztály, város környéki terület), $f_{0,\text{átmenet2}} = 0,5$ (2 osztály, város környéki terület) (és $f_{0,\text{gyér lakosság}} = 0,72$ (1 osztály, nagyon kicsi népsűrűség).

Jogos kérdésként merül fel, hogy az f_0 értéke miért éppen annyi, mint akár az ASME vagy a francia előírásokban megfogalmazottak? Ennek megválaszolásához induljunk ki a kockázatalapú szemléletből, amelyet a következőképpen értelmezhetünk:

Kockázat =

Meghibásodás valószínűsége x meghibásodás következménye. (2)

Mind a meghibásodás valószínűségét, mind pedig annak következményét számos objektív (eleve adott környezet, geometriai, üzemi, környezeti) valamint szubjektív tényező befolyásolja. Ezek általában nem azonos súllyal vehetők számításba, így egymástól elkülöníthetők, szétválaszthatók. A kérdés tehát úgy tehető fel, hogy milyen nagyságú kockázata annak, hogy a vezetéktől egységnyi/ adott távolságra levő pontnak mekkora a kockázata (évente). Ez az egyes kockázati tényezők szorzata, amely a következő módon vehető figyelembe:

$$P_r(\text{kockázat}) = P_r(F) C_{rr} P_r(Q) P_r(I) P_r(EF) L C_{ev} P_r(\text{person}) \quad (3)$$

ahol:

- $P_r(F)$ – annak valószínűsége, hogy a cső tömörtelen lesz,
- C_{rr} – a tömörtelenség bekövetkezésének megakadályozására hozott intézkedések, lépések várható hatása,
- $P_r(Q)$ – annak a valószínűsége, hogy egy kritikus mennyiségénél nagyobb mennyiségű anyag kerül a csővezetékbe kiömlésre,
- $P_r(I)$ – a kiáramlott közeg meggyulladásának valószínűsége,
- $P_r(EF)$ – annak a valószínűsége, hogy halálos következménnyel járó hatások száma meghalad egy küszöbértéket (nyilvánvalóan a csővezetékben levő közeget veszi figyelembe),
- L – a vezeték hossza,
- C_{ev} – a csővezeték környezeti körülményei súlyozza,
- $P_r(\text{person})$ – egyetlen személy érintettségének valószínűsége.

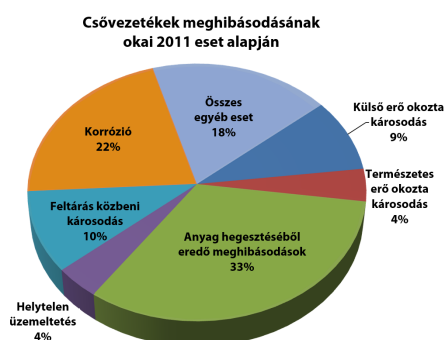
A fenti elvek alapján az f_0 értéke kiszámítható a különböző csőanyagok és geometriák figyelembevételével (f_0 , adott valószínűséggel) és összehasonlítható a korábban említett előírásokban használt f_0 , determinisztikus értékekkel. Erre nézve találhatók példák, további megfontolások [9, [11-13].

3. A hidrogén szerepe a felülvizsgálat során észlelt hibák elemzésében

A csővezetékek leggyakoribb meghibásodási oka az ún. „harmadik fél okozta meghibásodás”. A földgázvezetésekre vonatkozó statisztikát az 1. táblázat és a 4. ábra szemlélteti [14, 15].

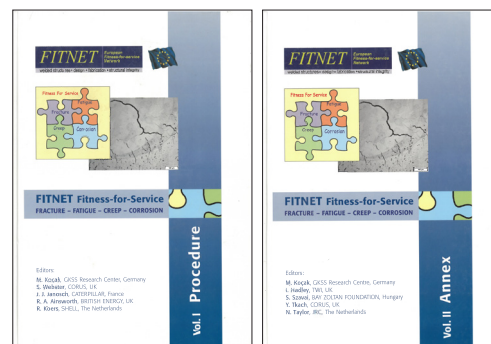
1. táblázat: Gázvezetékek meghibásodásának okai [14, 15]

Meghibásodási ok	Gyakorisága %-ban
Harmadik fél okozta meghibásodás	49,6
Tervezési hiba, anyaghiba	16,5
Korrózió	15,4
Talajmozgás	7,3
Csőcsonkok meghibásodása	4,7
Más, ismeretlen meghibásodások	6,7



4. ábra: A 2011 db meghibásodás okainak megoszlása [14, 15]

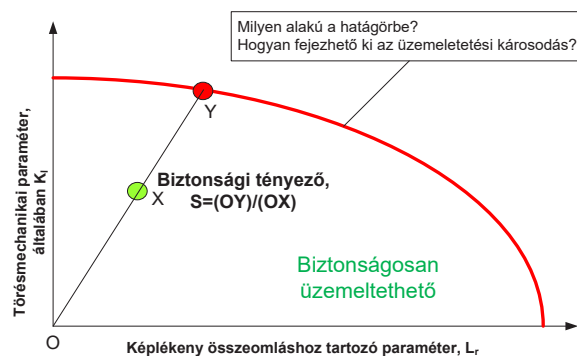
A csővezetékek felülvizsgálata során észlelt hibáknak a biztonság szintjére gyakorolt hatásbecslésére számos, fokozatosan egyszerűsödő elemzési módszereit dolgozták



5. ábra: A FITNET projekt keretében kidolgozott hibahatás becslési eljárások módszertana

ki a szakemberek nemzetközi együttműködés formájában. Ilyenek voltak, melyek léteznek napjainkban is, mint az R6 [16], SINTAP [17], FITNET [18] stb. Ezek lényege az INTERNET-es kereséseket követően viszonylag egyszerűen megérthetők. Napjainkban leginkább a FITNET módszert alkalmazzák. Ennek kidolgozásában a Bay Zolán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mérnöki Divíziójának (BAY-ENG) munkatársai is részt vettek egy EU által finanszírozott program keretében. Az elkészült 2 kötetes kiadvány címlapja az 5. ábrán látható.

A hibáknak a csővezeték biztonságára gyakorolt hatását általában „biztonsági diagram” típusú módszerekkel elemzik, ugyanis egy esetleges törés két határeset között következhet be. Az egyik szerint a hiba repedésnek tekinthető és a törést megelőzően semmilyen képlékeny alakváltozás nem játszódik le, azaz a vezetékben a terhelés hatására felhalmozódott energia teljes mértékben a repedésfelületek növekedésére fordítódik. A másik határeset pedig az, hogy a hiba ugyancsak repedésnek tekinthető, viszont a vezeték képlékenyen megfolyik mielőtt a repedés megindul. Ezt szemlélteti a 6. ábra. A vezetéken regisztrált hibaméretek és terhelések segítségével mind a repedéscsúcs törésmechanikai feszültségintenzitási tényező – K_I –, mind pedig a képlékeny összeomláshoz tartozó L_r értékek számíthatók. Ezek ismeretében, pl. az x pontot eredményező hiba esetén a biztonsági tényező nagysága értékelhető (lásd a 6. ábrán).

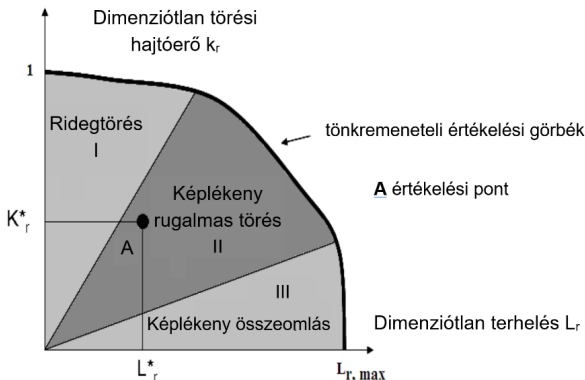


6. ábra: A hibák hatásának értékelése a két szélsőséges törési lehetőség figyelembevételével (Failure Assessment Diagram)

Az általánosíthatóságot lényegesen növeli az, ha mindkét tengelyen relatív értékeket alkalmazunk, azaz a függőleges tengelyen a $k_r = K_I / K_{Ic}$ és a vízszintes tengelyen

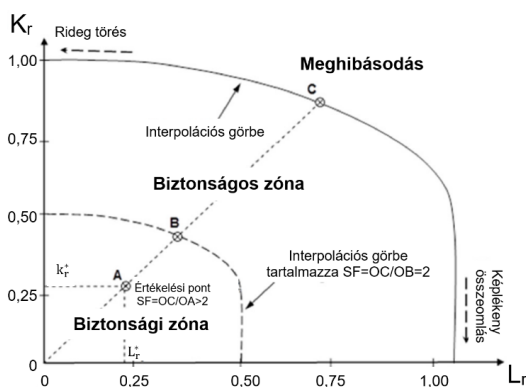
pedig a $S_r = \sigma / R_m$ vagy $S_r = \sigma / (R_{eH} + R_{eH})$ hányadost, ahol σ a terhelő feszültség. Az anyagra jellemző határgörbe leírásánál még a Poisson számot (ν), rugalmassági modulust (E) és alakítási keménység jellemzőit veszik figyelembe. Így alakul ki az irodalomban található számtalan kontúrral (lásd a 6. ábrán „interpolációs görbe”) rendelkező FAD halmaz, amelynek két közös sajátossága van. Az egyiket a 7. ábra szemlélteti, azaz jellemzően 3 tartományt definiál:

- a ridegtörést,
- a rugalmas-képlékeny törést (pl. az A- értékelési pontnak megfelelő feltételek esetén) és
- a képlékeny összeomlást.



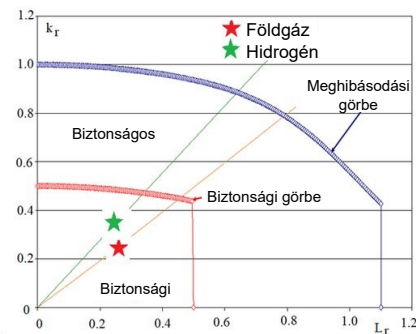
7. ábra: Az adott hibageometria és terelési körülmények között bekövetkező törés

A másik közös jellemzője a FAD eljárásnak, hogy definiál egy olyan zónát is, amelyen belülre eső paraméterekkel jellemzett hiba hatásával nem kell foglalkozni. Ezt „**biztonsági zónának**” (security zone) nevezzük. E zónán kívüli, de a határgörbét el nem érő területre eső hibák hatása a „**biztonságos zóna**” (safe zone). Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: A „biztonsági” és „biztonságos” zónákat megkülönböztető területek a FAD diagramon belül

A FAD diagramok csak megfelelő anyagtulajdonságok (repedés terjedéssel szembeni ellenállás, szilárdsági és képlékenységi anyagjellemzők) ismeretében hozhatók létre. Ezen tulajdonságok pedig eltérő módon változhatnak abban az esetben, ha hidrogént keverünk a földgázba. A hatás mértéke pedig függ nem csupán a hidrogén mennyiségétől, hanem a csőanyagok vegyi összetételétől, szilárdságától, szennyezőitől. Erre nézve megindultak már nemzetközi szinten is a vizsgálatok, de az korántsem mondható, hogy olyan adathalmaz állna rendelkezésre,



9. ábra: Az adott hibageometria és terelési körülmények között bekövetkező törés

amely az általánosítást, pláne szabványosítást lehetővé tenné mind a vizsgálati módszerek, mind pedig a kapott eredmények tekintetében. Egy ilyen kezdeti eredményt szemléltet a 9. ábra. Ezen jól látható, hogy a hidrogén hatása az adott méretű hiba veszélyességét növeli.

Azt azonban ki kell hangsúlyozni, hogy az elmúlt évtizedben számos, a nemzetközi szakmai területeken is jelentős előrelépés történt [19-27]. Az egyik ilyen – hazánkhoz földrajzilag legközelebbi – centrum Ukrajnában, Lvivben található Fiziko-mekhanicheskyy institut im. G. V. Karpenko Nan Ukrainy. Munkásságuk világviszonylatban is igazán jelentős.

4. Csőanyagok öregedési folyamatának monitorozási lehetőségei

Tekintettel arra, hogy a hidrogén bekeverése és meglevő földgázhálózatba juttatása történelmi léptékekkel mérve egy „újkeletű” megoldás, még nem alakult ki és nem erősödött meg (nem csontosodott meg) olyan vizsgálati eljárásrendszer, amely monitorozhatná a csővezeték méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságainak változását az üzemeltetés különböző periódusában. Ez természetesnek is tekinthető. Ennek alátámasztására történelmi példák sorolhatók akár az ipari forradalomtól indulva. Gondolhatunk a vasúti tengelyek és a kifáradás, a gőzkazánok és a kúszás, a Liberty hajók és a ridegtörés jelenségére, nukleáris berendezések és sugárkárosodás, valamint ezen kárestek csökkentésre kidolgozott szakmai előírások megjelenésére. Az azonban kétségtelen tény, hogy mind a földgáz, mind pedig a földgázba adagolt különböző mennyiségű hidrogén a cső anyagával valamilyen módon kölcsönhatásba lép és megváltoztatja annak – akár a méretezés, a biztonság szempontjából – meghatározó tulajdonságait is. Egy 30 éve üzemelő gázvezeték károsodási folyamatát vizsgálta részletesen egy ukrán-lengyel és olasz csoport [28]. A csőanyag X52 minőségű acél. A kapott eredmények egyértelműen azt támasztják alá, hogy nem létezik egyetlen olyan vizsgálati módszer, amely önmagában eldönthetné azt, hogy a csővezeték anyagának károsodása milyen mértékű. Ez csak komplex vizsgálati eljárások kombinációjával mérhető fel. Az olajvezetékek károsodásának monitorozása tekintetében is ugyanezre a következtetésre lehet jutni [29]. Ha figyelembe vesszük azt is, hogy „egy vizsgálat-sorozat” – nem VIZSGÁLATSOROZAT –, akkor nem ezek

eredményeire kell tekinteni, hanem inkább arra kell a fő hangsúlyt fektetni, hogy milyen módszerekkel lehet közelebb jutni a károsodások mértékének követésére.

Ebben mindenképpen meghatározó szerephez jutnak a periodikus roncsolásmentes vizsgálatok, amelyek egyre kisebb és kisebb anyagfolytonossági hiányok egyre kisebb méretét, egyre nagyobb reprodukálhatósággal képesek kimutatni.

Jogos követelmény az, hogy mi az a legkisebb hibaméret, amelyet már detektálni kell, amely már mérnöki szemmel is csökkenti a rendszer biztonságát? Erre alkalmasak a törésmechanikai elemzések. A legkonzervatívabb módszerek alkalmazásával e hibák számíthatók. Ennél kisebb méretű hibák detektálása nem csupán szükségtelen, hanem felesleges „pénzkidobás”. Ahhoz, hogy a törésmechanikai elemzés korrekt módon elvégezhető legyen szükség van anyag repedésterjedéssel szemben ellenállására az adott üzemi körülmények és terhelési feltételek (kvázistatikus, ismétlődő, kúszási stb.) között. Tekintettel arra, hogy a csővezetékek (tranzitvezetékek) falvastagsága általában 10 mm alatti, a vizsgálati eredmények értékelése kapcsán általában felmerül a mérethasítás (próbatest geometriai hatása a mért anyagtulajdonságban) kérdésköre is. Éppen a Liberty hajók ridegtörése kapcsán indult nemzetközi együttműködések vezettek ahhoz, hogy az anyag ridegtörési hajlamát a G. Charpy által 1901-ben Budapesten bemutatott vizsgálatának eredményeivel jellemezzék [30]. Ezért mindenképpen ugyanúgy nemzetközi egyetértést kell kialakítani a hidrogén hatásának értékelésére, mint ahogyan ez megtörtént pl. a nukleáris területeken is. Ez utóbbi iparágban alapvető igényként merült fel a próbatestek méretének csökkentése éppen a reaktortartály legveszélyesebb helyének környezetében elhelyezhető próbatestek mérete miatt. Ezért alakultak ki az ún. „Mini-Charpy” próbatestek (általában a szokásos 10x10 mm helyett az 5x10 mm méretűek), vagy az oldalt bemetszettek. Ezeken és a normál, 10x10 mm keresztmetszetű próbatesteken mért anyagjellemzők kapcsolatának feltárása újabb kutatások elindítását indította. Ezek eredményeinek összefoglalása is megtalálható a Charpy-vizsgálat centenáriuma 2001-ben szervezett konferencia kiadványában [31] és válogatott előadásait tartalmazó könyvben [32]. Azt azonban mindenképpen ki kell emelni, hogy a konferencia megrendezésének időpontjától számítva már újabb két évtized telt el, következésképpen a mikroelektronikai eszközök, a mérési, érzékelési és értékelési módszerek fejlődtek. Az eddigi tapasztalatok alapján azonban tényként kell kezelni, hogy a földgázba kevert hidrogén a csőanyagok repedésterjedéssel szembeni ellenállását csökkenti, azaz a legveszélyesebb anyagfolytonossági hiányok, a repedések az üzemeltetés során egyre jobban csökkentik a biztonságot. Ebből egyértelműen következik az, hogy egyrészt nemzetközi együttműködésben célszerű rögzíteni, hogy

- milyen típusú vizsgálatokkal és hogyan mérhető fel a csővezetékek károsodási folyamatainak jellemzői abban az esetben, ha a földgázba hidrogént is kevernek,

- milyen kialakítású próbatesteken, milyen anyagjellemzők és hogyan határozandók meg annak érdekében, hogy a legkülönbözőbb helyeken és csőanyagokon elvégzett mérések közös adathalmazt képezhessenek,
- miképpen választhatók le a vizsgálati eredmények közös adathalmazából a mérethasítások, azaz hogyan választható szét az anyagtulajdonság és geometriai hatás, milyen korrelációs kapcsolatok építhetők fel az egyes anyagtulajdonságok kapcsolatrendszerére.

A fenti szempontok megalapozott nemzetközi javaslatának kidolgozására hazai vizsgálatssorozatot célszerű indítani.

5. Összefoglalás

A tranzit gázvezetékekbe kevert hidrogén és a cső anyagának kölcsönhatása olyan kölcsönhatásokat is eredményezhet, amelyek kezelése az eddigiektől eltérő szemléletet igényelhet. Erre nézve három példa került bemutatásra.

1. A hidrogén lokális hatása, valamint gyúlékonysága és a vezetéknek egy esetleges meghibásodása során bekövetkező gyorsabb ürülése miatt a tervezés statisztikus szemléletének alkalmazása alkalmasabb gondolkodási mód a biztonság megítélésére.
2. A periodikus felmérések során észlelt anyagfolytonossági hiányok értékelésénél alkalmazott FAD diagramok az „interpolációs görbe” tartományában esetlegesen korrigálásra szorulnak, mert ebben a tartományban a lokálisan ható hidrogén megváltoztatja a kialakításnál figyelembe vett anyagjellemzőket, másrészt egyértelműen csökkenti az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállását.
3. A cső anyagának és a földgázba kevert hidrogén kölcsönhatásának következtében fellépő lokális károsodásoknak a csővezeték biztonságára gyakorolt befolyása rendkívül összetett folyamat. Ennek jellemzésére egységes, nemzetközileg elfogadott paraméter-rendszerre van szükség ugyanúgy, mint ezek vizsgálatára, beleértve a próbatest típusától, méreteitől, vizsgálati körülményeitől kezdve a kiértékelés módszertanáig annak érdekében, hogy a különböző helyeken mért jellemzők egységes adathalmazt alkothassanak. Erre nézve egyrészt célszerű a THyGA eredményeinek részletesebb elemzése, esetlegesen a projektbe való bekapcsolódás megfigyelőként, ill. a közlemény 4. pontjában kifejtett koncepcióval egy hazai alprojekt indítása.

Irodalomjegyzék

- [1] Global Footprint Network honlapja: Ecological Footprint: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [2] Global Footprint Network honlapja: Climate Change: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/climate-change/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [3] Worldometers honlapja: <https://www.worldometers.info/hu/> (Megtekintve: 2022.09.27.)

- [4] European Commission honlapja: State Aid: Commission approves up to €5.4 billion of public support by fifteen Member States for an Important Project of Common European Interest in the hydrogen technology value chain, Brussels, 15 July 2022: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en%5E/ip_22_4544 (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [5] European Commission honlapja: Statement by Executive Vice-President Vestager on the second Important Project of Common European Interest in the hydrogen value chain, Brussels, 21 September 2022: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5677 (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [6] Energy.gov honlapja: Biden-Harris Administration Announces Historic \$7 Billion Funding Opportunity to Jump-Start America's Clean Hydrogen Economy, September 22, 2022: <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-historic-7-billion-funding-opportunity-jump-start> (Megtekintve: 2022.09.30.)
- [7] CSIRO, HyResouce honlapja: International: <https://research.csiro.au/hyresource/policy/international/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [8] Tóth L. Biztonság-Megbízhatóság-Kockázat. Debrecen, 2021. p.104. <https://mecheng.unideb.hu/hu/node/218>
- [9] Tóth L., G. Pluvinage, J. Capelle: A hidrogén szerepe a földgázhálózatok tervezésében, üzemeltetésében és karbantartásában. Anyagvizsgálók Lapja. 2022/III. p. 10-15.
- [10] Abe, J. O.; Popoola, A. P. I.; Ajenifuja, E.; Popoola, O. M.: Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. Int. J. Hydrogen Energy 2019, 44, 15072–15086.
- [11] Kuk Mijim, J.; Pluvinage, G.; Capelle, J.; Azari, Z.; Benamara, M. Probabilistic design factors for pipes used for hydrogen transport. Int. J. Hydrogen Energy 2020, 45, 33860–33870.
- [12] ASME B31.12 standard: American Society of Mechanical Engineers. Hydrogen Piping and Pipelines; American Society of Mechanical Engineers: New York, NY, USA, 2015.
- [13] Melaina M.W., Antonia O., Penev M.: Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks. A Review of Key Issues. California Energy Commission. 2020. Oct.1.
- [14] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Húzott csövek biztonságának megítélése. Anyagvizsgálók Lapja. 2020/II-III. p.5-13.
- [15] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/source-data> (Megtekintés dátuma: 2015.05.)
- [16] R6Assesment: I. Milne; R. A. Ainsworth; A. R. Dowling; A. T. Stewart: Assessment of the integrity of structures containing defects, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 32, Issues 1–4, 1988, pp 3-104. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(88\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0308-0161(88)90071-3)
- [17] SINTAP: Structural Integrity Assessment Procedure for European Industry, http://www.eurofitnet.org/sintap_index.html (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [18] FITNET, Fitness-for-Service, Fracture-Fatigue-Creep-Corrosion, Vol. I Procedure, Vol. II Annex, <http://www.eurofitnet.org/index.html> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [19] S. Montassir, K. Yakoubi. H. Moustabchir, Elkhafi, Dipar Kumar Rajak, Catalin I. Pruncu: Analysis of crack Behaviour in Pipeline System Using FAD Diagram Based on Numerical Situation under XFEM. MDPI, App.Sci. 2020. 6129. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/6129> (Letöltve: 2022.10.02.)
- [20] Testing Hydrogen admixture for Gas Applications. THyGA-projekt honlapja: <https://thyga-project.eu/>
- [21] Alltfeld K., Pinchbeck D.: Admissible hydrogen concentrations in natural gas systems. Gas for Energy.2013/3. www.gas-for-energy.com
- [22] G. Pluvinage, J. Capelle: Risk Associated with the Use of Hydrogen as an Energy Carrier or Source, Journal of Energy and Power Technology. 2022. Vol. 4. Issue 3. doi:10.21926/jept.2203029 (Letöltve: 2022.10.02.)
- [23] G. Pluvinage, O. Bouledrou, M. Hadj Meliani, Rami Suleiman, Corrosion defect analysis using domain failure assessment diagram, International Journal Pressure Vessels and Pipeline. August 2018;165:126e34,
- [24] I. M. Dmyktrakh, R. L. Leshchak, A. M. Syrothyuk, R. A. Barna: Effect of hydrogen concentration on fatigue crack growth behaviour in pipeline steels. International Journal of Hydrogen Energy. 42 (2017) 6401-408.
- [25] I. M. Dmyktrakh, R. L. Leshchak, A. M. Syrothyuk: Effect of hydrogen concentration on strain behaviour of pipeline steel. International Journal of Hydrogen Energy. 40 (2015) 4011-4018.
- [26] I. M. Dmyktrakh, O. D. Smiyan, A. M. Syrothyuk, O. L. Bilyy: Relationship between fatigue crack growth behaviour and local hydrogen concentration near crack tip in pipeline steel. International Journal of Fatigue. 50. (2014) 26-32.
- [27] J. Capelle, I. Dmyktrakh, G. Pluvinage: Comparative assessment of electrochemical hydrogen absorption by pipeline steels with different strength. Corrosion Science. 52 (2010) 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.jipvp.2018.06.005>
- [28] H. Nykyforchin, O. Zvirko, M. Hredil, H. Krechkovska, O. Tsyrunyk, O. Student: Methodology of hydrogen embrittlement study of long-term operated natural gas distribution pipeline steels caused by hydrogen transport. Fratture ed Integrità Strutturale, 59 (2022) p.396-404. doi: 10.3221/IGF-ESIS.59.26
- [29] A. J. Krasowsky, A. Dolgiy, V. Torop: Eds. D. Francois, A. Pineau: Proc. of the the Charpy Centenary Conference, Poitiers, 2011. 38. 489-495.
- [30] L. Tóth, P. Rossmanith, T. A. Siewart: Historical Background and Development of the Charpy Test. Edit. D. Francois, A. Pineau. ESIS Publication 30. Elsevier. 2002.
- [31] Charpy Centenary Conference. Poitiers. 2-5 October, 2011. Eds. D. Francois, A. Pineau.
- [32] From Charpy to Present Impact Testing. Edit. D. Francois, A. Pineau. ESIS Publication 30. Elsevier. 2002.

Digitális megoldások alkalmazása



A Kiterjesztett Valóság (AR - Augmented Reality) a valós térbe építi bele a digitális tartalmakat. Ezzel egy olyan innovatív, meggyőző eszközt eredményez, melyet előszeretettel alkalmaznak oktatás-, tréning-, munkavégzés támogatása, ipari és orvosi környezetek virtualizációja céljából, de térhódítása a szórakoztatóipar, marketing és értékesítés területén is szembetűnő.

A cégek, melyek felfedezik a lehetőséget a kiterjesztett valóságban, versenyelőnyre tehetnek szert, hiszen mindenki nyit az újdonságok felé. Tehát érdemes ezt a lehetőséget kihasználni, mind a tervezés és az értékesítés során.

„A lap életre kel”

Hogyan használja?

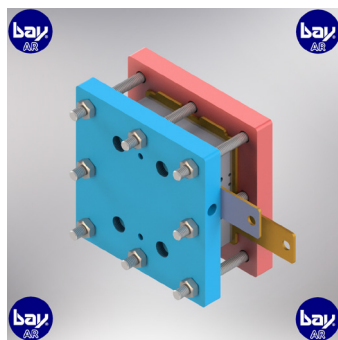
- Az okoskészülék kameráját egy markerre irányítjuk,
- A képernyőn a kép helyén megjelenik egy hozzá kapcsolódó (2D) 3D modell,
- Térben mozgatva a készüléket a modell (megtekinthető) körbejárható,
- Annotációkkal hívjuk fel a figyelmet a tárgy fontosabb részleteire,
- Az annotációkra kattintva a modell elfordul, a részlet jobban láthatóvá válik,
- Videó és hang is társítható a tárgyakhoz vagy egyes részleteikhez.



**KATTINTSON ÉS TÖLTSE
LE AZ ALKALMAZÁST!**



Hidrogéncella modell



**IRÁNYÍTSA A TELEFON
KIJELZŐJÉT A KÉPRE!**

AR előnyei

- hatásos, kiváltja a „woow” érzést
- izgalmas és trendi
- látványos és szórakoztató
- maradandóbb információt nyújt

Szemelvények a muraui H2-régió megvalósíthatósági tanulmányából

Excerpts from the feasibility study on the Murau H2 region

Major Zoltán

Johannes Kepler Universität Linz, egyetemi tanár, zoltan.major@jku.at

Kulcsszavak

közösségi finanszírozású zöld hidrogén energetikai projekt, hidrogén alapú regionális vasúti közlekedés, hidrogén hajtású vasúti szerelvények, hidrogén tárolás és betankolás

Keywords

crowdfunded green hydrogen energy project, hydrogen based regional railway, hydrogen powered trains, hydrogen storage and refueling

Absztrakt

Az éghajlatváltozás gazdasági, ökológiai, társadalmi és egészségügyi következményei, valamint a szennyező anyagok által okozott környezetszennyezés komoly veszélyt jelent életminőségünkre. A hidrogéngazdaság az energiarendszerünk teljes szén-dioxid-mentesítésével egy fenntartható megoldást kínál a jelenlegi, túlnyomórészt fosszilis tüzelőanyagok zöld villamosárammal és zöld hidrogénnel történő teljes helyettesítésével. Külföldi példák alapján az önszerveződő helyi közösségek, az állami intézmények és a magántőke szabályozott együttműködésével létrehozott társulások hatékony megoldást kínálnak efféle projektek lebonyolítására.

A regionális vasutak üzemanyagcellás hajtásra való átalakítása támogatja ezt az energetikai áttállást és megnöveli a hozzáadott értéket, valamint tovább erősíti a helyi kompetenciákat a zöldenergia kutatás-fejlesztés területén. A szükséges vasúti műszaki megoldások már jelenleg is rendelkezésre állnak, több nagy technológia konszern tervez és gyárt jelenleg hibrid vagy teljesen hidrogénhajtású vonatrendszereket. Ezek adaptálása a helyi viszonyokhoz, a hidrogén tárolása és betankolása is megoldható műszaki és szervezési problémát jelent, különösen a helyi zöld hidrogén termelés esetében.

Abstract

The economic, ecological, social and health consequences of climate change, as well as environmental pollution caused by pollutants, pose a serious threat to our quality of life. By completely decarbonizing our energy system, the hydrogen economy offers a sustainable solution by fully replacing the current predominantly fossil fuels with green electricity and green hydrogen. Based on foreign examples, associations created with a regulated cooperation of self-organizing local communities, state institutions and private capital offer an effective solution for the implementation of such projects.

The conversion of regional railways to fuel cell drive supports this energetic transition and increases the added value and further strengthens local competences in the field of green energy research and development. The necessary railway technical solutions are already available, several large technology concerns are currently designing and manufacturing hybrid or fully hydrogen-powered train systems. Adapting them to local conditions, storing and refueling hydrogen is a solvable technical and organizational problem, especially in the case of local green hydrogen production.

1. Bevezetés

A recept nagyon egyszerű; vegyünk olyan hagyományosan összetartó helyi közösségeket, ahol a kölcsönösen előnyös gazdasági társulásoknak hagyománya van, adjunk hozzá innovációs és kutatás-fejlesztési tapasztalatot és tudást, hozzunk létre egy átlátható, nyílt gazdasági társulást, amit a magántőke, az állam és a helyi közösség együttesen finanszíroz, és legyen elkötelezettségünk környezetünk megóvására, fenntartható fejlesztésére. Ezek talán egy sikeres zöld hidrogén projekt legfontosabb előfeltételei.

2. Kölcsönös előnyökön alapuló projektek

Ilyen, Ausztriában (Stájerországban) megvalósított zöld hidrogén energetikai projekteket mutatok be a cikkben röviden különös figyelemmel

1. a megtermelt hidrogén hasznosítására a helyi vasúti közlekedésben és
2. a különböző kormányzati, önkormányzati, ipari és kutatási intézmények együttműködésére efféle előremutató energetikai és infrastrukturális projekteken.

A régi miskolci microCAD-es jelmondatunk érvényét – *“we believe that the genius of the future lies not in the technology alone, but in the ability to manage it”* – tökéletesen bizonyítják ezek a közösségi projektek.

Földrajzi helyzete és természeti adottságai miatt Murau különösen alkalmas egy önellátó hidrogén régió megteremtésének kipróbálására, amit a helyi önkormányzat a stájer kormány támogatásával egy megvalósíthatósági projekt keretében az elmúlt 2 évben meg is tett. Murau Ausztriában Stájerország dél-nyugati részén a Mura folyó

partján a gurktali és az Alacsony-Tauern hegyek között egy festői szépségű völgyben fekszik. Miután a fafeldolgozás (fűrészüzemek) mellett nem rendelkezik számottevő iparral, így természeti környezete szintén érintetlenül áll a turizmus rendelkezésére.

Murau környéke bőségesen kínál megújuló energiaforrásokat: nap, víz, szél és fa (bio) áll a zöld energiatermeléshez rendelkezésre. A helyi vállalkozások mellett más régiókból származó cégek is felismerték már az itteni lehetőségeket és szeretnének itt zöld energiaprojekteket megvalósítani. A technológia-bevándorlás és a közvetlen gazdasági haszon mellett, egy további fontos szempont, hogy a helyi polgárok közvetlenül is részesüljenek ezekből a projektekből. Az új muraui GreenPower koncepció és működési szabályzat lehetővé teszi, hogy az együttműködő helyi lakosság – magánszemélyek vagy vállalkozások – is részesednek a nyereségből. Engedjenek meg ehhez egy személyes példát is. A feleségem linzi barátnőjének, akinek egy kisebb farmja is van Murau közelében, teljesen magától értetődő volt, hogy a megjelenést követően azonnal vett néhányat a magánszemélyeknek kibocsátott 500 Euro névértékű részjegyekből (a kisvállalkozások 1000 Euro jegyet tudnak venni). És még sokan mások – magánszemélyek és kisvállalkozások – gondolkodtak hasonlóan. A zöld környezet iránti elkötelezettség nemcsak az osztrák zöld párt választási eredményén látszik Bécs belvárosában, hanem egy politikailag különben hagyományosan meglehetősen konzervatív közösség sok tagja a zsebébe is nyúl és saját munkájával is támogatja ezeket a közös erőfeszítéseket.

A muraui projektben a Hycenta Kutatóintézet vezetésével [1] műszakilag és gazdaságilag megvizsgálták annak

lehetőségét, hogy ezt a megújuló többlet energiát hogyan lehet hidrogén formájában tárolni, valamint mind a helyi közlekedési mind pedig az energiaellátás rendelkezésére bocsátani a régióban. Ezekon a konkrét példákön keresztül egy átfogó rendszert dolgoztak ki a szükséges alkatrészek tervezésétől, a beépítési koncepciók, valamint műszaki, és az infrastrukturális rendszerek gazdasági és ökológiai értékeléséig.

A muravölgyi vasutat 1894-ben helyezték üzembe és ettől kezdve biztosítja mind a teher mind a személyforgalmat a régióban. A jelenleg dízel üzemanyaggal üzemeltetett muravölgyi vasutat a közeljövőben károsanyag-kibocsátás-mentessé szeretnék tenni. Ennek keretében megvizsgálták a hidrogén alkalmazásának műszaki és gazdasági feltételeit a következő fontosabb területeken:

- A vonatszerelvény vontatási és légkondicionálási energiaigényének meghatározása különböző üzemeltetési körülmények esetén.
- Az ehhez szükséges hidrogénszükséglet kiszámítása.
- H₂ alapú vasúti szerelvény műszaki koncepciója (pl. a hajtásrendszer pozicionálása, az üzemanyagcella, a konverter és a hűtőrendszer, valamint a H₂ tartály megvalósítási tanulmánya).
- A H₂ infrastruktúra költségeinek összehasonlítása a felsővezetékkel üzemeltetett e-vonatokkal.

Az energiaszükségletet a maximális napi futásteljesítményre 750 km/vonat értékkel számították. A 3 részes, 52 m hosszúságú és 114 tonna súlyú vonatkészlethez a teljes számított energiaigény (fűtéssel és hűtéssel együtt) 5911 kWh/nap vonatonként, ami kb. 177 kg hidrogén egyenértéknek felel meg.

3. Lehetséges műszaki megoldások

A továbbiakban nézzük meg, hogy milyen műszaki megoldások állnak ehhez jelenleg rendelkezésre.

A klímabarát vasúti közlekedésre való áttérés területén az egyik legintenzívebb konkrét fejlesztést és együttműködést a Deutsche Bahn (DB) és a Siemens Mobility valósítják meg [2].

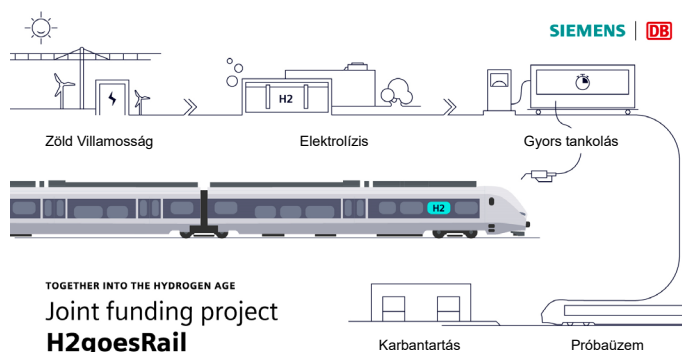
A két partner a Siemens Mobility krefeldi gyárában mutatta be ez év áprilisában a Siemens új teljes hidrogén rendszerének az elemeit: az újonnan kifejlesztett Mireo Plus H-t – a következő generációs hidrogénüzemű vonatot – és az ehhez újonnan tervezett mobil hidrogéntároló pótkocsit. A vonat és annak új infrastruktúrája a dízel motorvonatokat hivatott kiváltani az elővárosi és regionális közlekedésben, és nullára csökkenteni a vasúti CO₂-kibocsátást.

Az 1. ábrán zöld hidrogénnel meghajtott vasúti rendszer elvi vázlata látható [3, 4].

Az 2. ábrán látható további hidrogénvonat koncepciótervek az akkumulátorok és a hidrogén tartályok elhelyezését mutatja az üzemanyagcellás hajtásláncban. A hidrogén tartályok az első és hátsó motorkocsikban a vezetőfülke mögött lesznek elhelyezve.

A H2goesRail projekthez készült Mireo Plus H (Siemens) kétkocsis vonatként akár 800

kilométeres működési hatótávolságú is lehet, és olyan erős, mint az elektromos motorvonatú társa, az 1,7 MW vontatási teljesítménye akár 1,1 m/s² gyorsulást is lehetővé tesz, a végsebessége pedig 160 km/óra. A három részes változat hatótávolsága pedig akár 1000 kilométer is lehet.

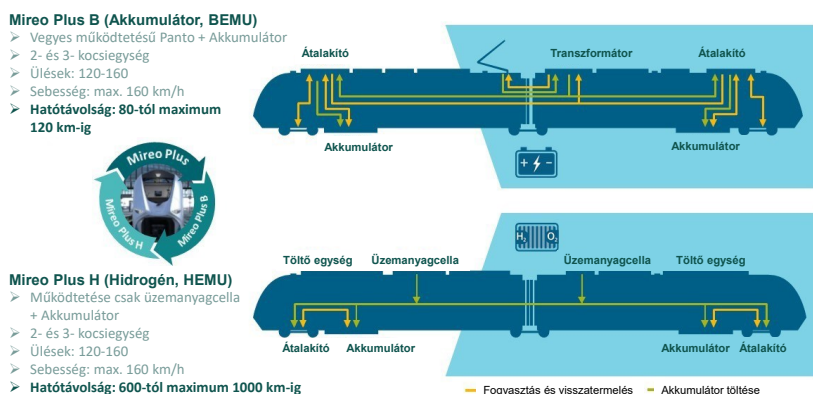


1. ábra: Zöld hidrogénnel meghajtott vasúti rendszer elvi vázlata [3]

4. További helyközi vonatkozás (SPNV) számára rendelkezésre álló rendszerek

További hidrogén meghajtású vagy hybrid vonatok kerültek kifejlesztésre és álltak próbaüzembe különböző vasútvonalakon. A Német Repülési és Űrhajózási Hivatal (DLR) egyik tanulmányában a szerző (H. Dittus, 2020 [5]) összefoglalta a németországi állapotokat és a rendelkezésre álló vasúti megoldásokat. Négy vasúti berendezéseket gyártó cég (Alstom, Bombardier, Siemens, Stadler) gyárt kísérleti vagy már akár sorozatgyártásra is alkalmas hidrogén vonat modelleket. Ezek próbaüzeme is több helyen folyt, mind Németországban és Hollandiában, mind pedig Ausztriában. Míg az előbbieket döntő többségben sík terepen, viszonylag egyszerű földrajzi körülmények között üzemelnek, az ausztriai próbaüzemnél nagy figyelmet szenteltek a nagy szintkülönbségű, hegyi üzemeltetés lehetőségeinek is. Az alsó-ausztriai teszt során az osztrák vasút (ÖBB) a Wiener Neustadt-Wien (Aspang) és a Wiener Neustadt-Puchberg vonalakon próbálta ki a Coradia iLint (Alstom) szerelvényeket [6].

A Zillertali Vasút pedig a Stadler cég keskeny nyomtávú hidrogén vonatát üzemeltette sikerrel magashegyi körülmények között [7].



2. ábra: További hidrogénvonat koncepciótervek [8]

A Siemens a murai Mireo Plus üzeme mellett az ÖBB-vel Bécsben egy Desiro MainLine CityJet eco hybrid vonatrendszer is tesztelt. Látható, hogy műszaki megoldásokban nincs, vagy nem lenne hiány, és ezek csak német példák. Hasonló próbaüzemelésről vagy részleges üzembeállításról vannak információk Olaszországból, Spanyolországból és Franciaországból is [9].

5. Energiatárolás és a vasúti szerelvények/vonatok hidrogén ellátása, tankolás

A Wiener-Neustadt-i tesztüzem során egy hidrogéntároló és üzemanyagtöltő állomást is építettek. A személyszállítás mellett így lehetőség volt a teljes hidrogén vasúti infrastruktúra részletes vizsgálatára is, a hidrogén ellátás feltételeinek és szervizelési körülményeinek tanulmányozására. A projektet Ausztriában a kormány Klíma és Energia Alapja és az állami energiaellátó vállalat (Verbund) is támogatta. A DLR már említett tanulmányában a vonatok műszaki leírása mellett nagy figyelmet fordítottak a németországi hidrogéntankolási lehetőségekre is. Az első tesztet többnyire követte egy vasúti hidrogén üzemanyagtöltő állomás megépítése is. Különösen alkalmasak erre a nagy vegyipari cégek környezetében lévő vasúti rendszerek (pl. Höchst, Frankfurt am Main). A vasúti közlekedés jellegéből adódóan hosszabb időtartamot és nagyobb üzemelési biztonságot garantál mind műszakilag, mind pedig gazdaságilag. Ezek a töltőállomások multifunkcionálisan használhatók buszok és teherautók hidrogén tankolására is. Ezáltal egy olyan zöld hidrogénes összefüggő infrastruktúra teremthető meg, ahol a különböző szereplők (vasúti és közúti teher- és személyszállítás) ugyanazokat a forrásokat használhatják.

6. A hidrogén vasúti szállítása

A Német Vasutak (DB-Energie) részlege mellett Németországban mások is intenzíven dolgoznak a H_2 vasúti szállítására és a megújuló H_2 biztosítására vonatkozó gazdasági koncepciókon. A DB-Energie egy 2020-ban megjelent tanulmányban foglalta össze ezeket a tevékenységeket [10].

A megnövekedett kereslet az alternatív vasúti hajtások iránt, valamint szén-dioxid-kibocsátás csökkentését célzó új szállítási pályázatok és szerződések számos nyitott kérdést vetnek fel, amelyeket rövid időn belül meg kell válaszolni egy átfogó és fenntartható, zöld energiát használó vasúti koncepció keretén belül. Az első legfontosabb kérdés, hogy milyen műszaki megoldású vonatok felelnek meg a követelményeknek, valamint, hogy ezen megoldások minőségi szállítási szolgáltatásokat tudnak nyújtani. A hajtástechnológia kiválasztása közvetlenül jelentősen függ a forgalmi útvonaltól és a pályán meglévő infrastruktúrától, közvetve azonban ez egy átfogó közlekedés- és gazdaságpolitikai kérdés is. A helyes megoldás továbbá nagyban elősegítheti az adott ország általános műszaki innovációját is és megnövelheti gazdasági

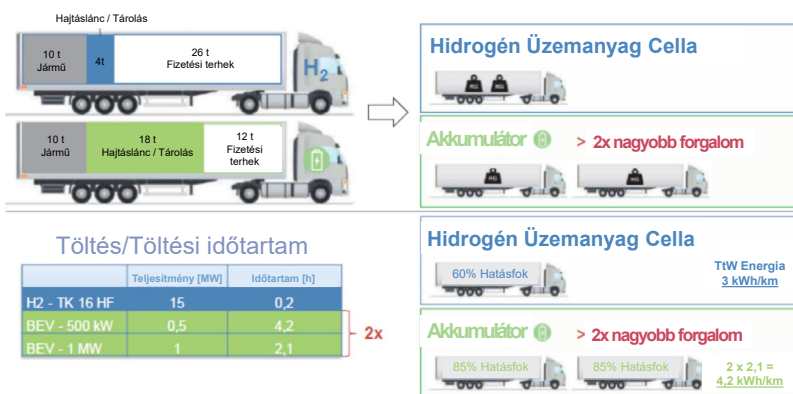
vonzerejét a nemzetközi befektetők számára. A Hesseni Tartományi Vasutak (Hessische Landesbahn GmbH) Taunus hálózatán a tanulmány szerint 27 db Coradia iLint 54 típusú üzemanyagcellás szerelvény 2022 végétől kezd meg működését [11]. A hidrogénnel való betankolás a Frankfurt am Main közelében található Höchstben működő ipari parkban történik. Miután ez egy nagy vegyipari centrum, a vasúti közlekedésben felhasznált hidrogén ott klór-alkáli elektrolízis melléktermékeként kerül előállításra, ami egy igen kedvező kapcsolt megoldás. De nem mindig sikerül megtalálni egy ilyen optimális helyet, ahol minden koncentráltan áll rendelkezésre és a tankolás, valamint a felhasználás olyan közel kerüljön egymáshoz, mint ebben az esetben. Ezért a szállítási útvonalakat is tervezni kell.

Az egész hálózat hatékonysága még tovább fokozható, illetve a „szén lábnyom” csökkenthető, ha a hidrogén üzemű vonatok szállítják a hidrogén üzemanyagot a felhasználás helyére. Ez biztosan egy még inkább környezetbarát megoldás lenne összehasonlítva a közúti szállítással. Ehhez nyilván mind egy kiépített infrastruktúra, mind pedig egy szervezett és optimált elosztó hálózat szükséges, aminek a költségeit vagy az államnak vagy pedig a magánvállalatoknak valahogy elő kell teremteni. Az ebben a projektben tervezett 27 db H_2 vonat beszerzése és üzembeállítása mindenképpen egy olyan komoly, több mint 500 millió eurós beruházás, ami ezt a projektet nemzetközi szinten is láthatóvá teszi. Ennek megfelelően az üzemeltetési pályázat is egy nemzetközi tender keretében kerül kiírásra [11].

7. Teherszállítás

Ellentétben a regionális személyszállítással, a teherszállításban várhatóan marad a vezetékes villamos rendszer, illetve a Diesel hajtású vonatok dominanciája. Az előrejelzés szerint ezen a területen sem a költségek nagysága, sem pedig a költségek struktúrája, sem a rendelkezésre álló erőforrások nem teszik lehetővé az átállást.

A murai példánál maradva, a 3. ábrán egy grafikus összefoglalás szemlélteti a hidrogén előnyeit a közúti teherszállításban. A tanulmány azt feltételezi, hogy a jövő járműparkjában a különböző hajtástechnológiák vegyesen szerepelnek majd. A kis futásteljesítményű, könnyű járművek a tisztán akkumulátoros energiaellátású



3. ábra: A hidrogén előnyei a közúti teherszállításban [1]

szállítójárművek lesznek. A nagyobb futásteljesítményű, nehéz járművekhez a rövid tankolási idők szükségessége miatt pedig hidrogén üzemanyaggal működő üzemanyagcellás járművek használata lehet előnyös. Különösen a nehéz teher- és vonatforgalomban hidrogén üzemanyaggal nagyobb szállítási terhelések érhetők el [12].

Mivel több olyan cég is található Murau körzetében, különösen a logisztikai és hulladékkezelési területeken, amelyek többnyire nagy terhelhetőségű járművekből állnak, ezeket célszerű lehet hidrogén meghajtására átváltani. Ennek a lehetőségnek a kihasználását mutatja, hogy a muraui vasúti infrastruktúra mellett egy benzinkút is kiépült az egyik közeli városban (Unzmarkt), amely napi 180 kg hidrogén kapacitással, a tervek szerint három személyautót, három kamiont és két buszt tud folyamatosan naponta kiszolgálni.

8. Önkormányzati Projektek: Murau és Schladming (Stájerország, Ausztria)

A "Stájerország nyomja a hidrogénpedált" nevű projekt [13] a másik példa a zöld hidrogén közösségi finanszírozására. Ez a projekt is a zöld energiával előállított (például fotovoltikus rendszerekből származó) villamos energia hidrogén formájában történő tárolásával foglalkozik. A Johann energiasejt (amelyet a projektpartner az EEG Energy Elements GmbH (8143 Dobl-Zwaring, Ausztria) fejlesztett ki) az elektromosságot hidrogénné alakítja, nyomás alá helyezi és hidrogéntartályokban tárolja. Amikor elektromos áramra van szükség, a hidrogént üzemanyagcella vagy egy kapcsolt lokális hő- és villamos erőmű (német fordítás Blockheizkraftwerke, rövidítve BHKW vagy CHP) alakítja vissza elektromos energiává. A kapcsolt hő- és villamos erőművek, olyan kis erőművek, amelyek lakóterületeket vagy egyéni házakat látnak el egyidejűleg hővel és villamos energiával. Működésük nagyon egyszerű: amikor tüzelőanyag elégetésével villamos energiát állítanak elő, elsősorban hőt termelnek. Ez közvetlenül használható háztartásokban. Ha ezeket a CHP-eket kapcsolt üzemmódban használják, kiemelkedő hatékonysággal biztosítanak egyidejűleg hőt és villamos energiát is. A Schladming Innovations- und Entwicklungs GmbH (SIE) projektszponzoraként működik Stájerország egész területén. A SIE GmbH feladata felhasználási esettanulmányok kidolgozása, ezek koordinálása és a különböző partnerekkel történő megvalósítása. A projekteket 2016-ban kezdték el, és 2019 óta működnek a Johann különböző rendszerei [14]. Közbevetőleg megjegyzem a névválasztás nem véletlen. A Johann név Stájerországban évszázadok óta az innováció, a korszellem és a gazdasági fejlődés szinonimája. Johann Habsburg nagyherceg volt az a politikai személyiség, aki a 19. század elejétől szisztematikusan támogatta a Stájer nehézipar kialakulását és fejlődését [15]. Az ő nevét viseli a Johanneum Research is, ami a stájer kormány nemzetközileg elismert kutatóintéze [16].

A Muraui járásban a régió áramigénye már az év nagy részében teljes egészében kielégíthető a régióból származó megújuló energiákkal. Ahhoz, hogy a

régiót energia-önellátó és fenntartható módon bővíteni és működtetni lehessen, jelenleg 4 GWh villamos energiát kellene szezonálisan tárolni. Az elektrolízishez szükséges villamos áram teljes egészében zöld forrásokból rendelkezésre áll, így nagy mennyiségben termelhető zöld hidrogén. A felesleges villamosenergia-tartalékok tárolására a zöld hidrogén a leghatékonyabb tárolóeszköz. Ez hidrogén gáz formájában, például föld alatti természetes tárolókban vagy tároló tartályokban tárolható. Igény szerint, mint ez Murauban a téli hónapokban várható, üzemanyagcellákon keresztül vagy belső égésű motorok segítségével a tárolt hidrogénből villamos energiát lehet előállítani és újra elérhetővé tenni. Egy 800 kW teljesítményű helyhez kötött üzemanyagcellás rendszer lehetővé tenné, hogy a téli hónapokban 240 tonna hidrogént a szükséges villamos energiává alakítsák át. Ennek akkori költségeit (2021) 1,6 és 2,4 millió euró közé becsülték a tanulmány szerzői. A továbbiakban a zöld hidrogén összekapcsolhatja az energiaipart a szállítási ágazatokkal és más termelő ipari létesítményekkel. Ezáltal a zöld hidrogénnel a közlekedést és szállítást egy részét dekarbonizálhatjuk, a helyi emissziót nagyban csökkenthetjük.

Végezetül, e tanulmány szerzői is megemlítik, hogy az alábbi konkrét eredmények mellett a projekt általában is hozzájárulhat a Stájer gazdaság fejlődéséhez, újabb piacok eléréséhez és modernebb technológiák elterjedéséhez és a technológiai vezető szerep megtartásához.

9. Összefoglalás

A továbbiakban nagy dilemma, hogy milyen legyen, lehet a globális (pl. távfűtés, földgáz és villamos energia hálózat) és lokális energiaellátási rendszerek (nap, szél vagy vízenergiából nyert zöld energia) optimális aránya az ún. energiamixben. A technológiai és gazdasági szempontok mellett ez egy fontos társadalmi kérdés is, ami előtérbe helyezheti az önszerveződő helyi közösségek szerepét. Az energiatárolásra, valamint környezetkímélő közlekedési és szállítási rendszerek megtervezésére és üzemeltetésére kínál megoldást a hidrogén.

Ennek megvalósítása azonban nemcsak politikai szándék kérdése, és ezek a megoldások nem fognak egy ujjcsettintésre azonnal rendelkezésre állni. A cikkben bemutatott stájerországi projektek elgondolkodtató példákat mutatnak mind a közösségi szervezésre és finanszírozásra, mind pedig kutatóhelyek és innovatív magánvállalkozások bevonására. Ezek a helyi zöld hidrogén projektek megfelelő infrastruktúra és szabályozás mellett összekapcsolhatók például környezetbarát helyközi vasúti személyszállítási megoldások telepítésével. A sok helyen meglévő helyi vasútvonalak, mint pl. a Muravölgye, tálcán kínálják ezt a megoldást. De miért ne lehetne ez pl. a Kőszeg-Szombathely közötti vagy egy határon átnyúló helyközi vasútvonal is a jövőben?

A rendelkezésre álló vasútműszaki megoldások jelentik véleményem szerint a kisebb problémát. Több nagy technológia konszern tervez és gyárt jelenleg – már csak presztízből is – hibrid vagy teljesen hidrogénhajtású vonatrendszereket. Ezek adaptálása a helyi viszonyokhoz

is egy megoldható műszaki probléma. A hidrogén betankolás szervezési és technikai megoldása is szintén problémamentes, különösen a helyi zöld hidrogén termelés esetében. Miután a betankolási idő ezekben az esetekben nem kritikus, kisebb nyomású kutak és lassabb betöltési megoldások is alkalmazhatók. Ez nemcsak a költségeket csökkenti, hanem az egész folyamat biztonságát is növeli. Ha a hidrogén előállítási, és tárolási kapacitásokat sikerül összekötni meglévő nagyipari infrastruktúrával is (vegyipar), akkor akár elegendő zöld hidrogén állhat rendelkezésre nagyobb rendszerek üzemeltetésére is. A megtermelt zöld hidrogén, hidrogén meghajtású vonatokkal eljuttatható a tankolási hálózat további pontjaira is. Ezek a pontok nemcsak a vasúti igényeket, hanem pl. a közúti teherszállítás igényeit is kiszolgálhatják. A kulcskérdés a hálózatok tervezése és a bennük folyó anyag és energiatranszportok aktuális igények szerinti optimalizálása.

Köszönetnyilvánítás

Ez (valamint az előző lapszámban bemutatott [17]) tanulmány a Debreceni Egyetem TKP2020-NKA-04 számú projektjében a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati programfinanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] HyCentA Research GmbH (Außeruniversitäre Forschungsgesellschaft an der TU Graz), Machbarkeitsstudie H2- Region Murau, HyNr, 2020/ H2Region_Murau
- [2] Deutsche Bahn honlapja: <https://gruen.deutschebahn.com/de/massnahmen/wasserstoff/h2goesrail> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [3] Siemens honlapja: <https://press.siemens.com/global/en/feature/deutsche-bahn-and-siemens-enter-hydrogen-age> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [4] Siemens Mobility GmbH, Ein starker Zug wird noch einmal stärker, Siemens.com/mireo, 2019
- [5] Holger Dittus, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Fahrzeugkonzepte | Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart, Wasserstoff in Lok und Triebzug – eine Lösung mit Zukunft?, Vortrag 01.10.2020 Holger.Dittus@dlr.de | www.DLR.de/FK
- [6] FuelCellsWorks honlapja: ÖBB Tests the New Hydrogen Train During its First Ever Passenger Service: <https://fuelcellsworld.com/news/obb-tests-the-new-hydrogen-train-during-its-first-ever-passenger-service/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [7] Molinari Rail honlapja: Green Hydrogen Train (Zillertalbahn, Austria): <https://www.molinari-rail.com/projects/zillertalbahn-hydrogen-train/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [8] Rolling Stock honlapja: Siemens Mobility introduced the first Mireo Plus H hydrogen train: <https://rollingstockworld.com/passenger-cars/siemens-mobility-introduced-the-first-mireo-plus-h-hydrogen-train/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [9] Yan Sun, M. Anwar, N. M. S. Hassan, Maksym Spiryagin and Colin Cole, A review of hydrogen technologies and engineering solutions for railway vehicle design and operations, Railway Engineering Science volume 29, pages 212–232 (2021) <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-021-00257-8>
- [10] Next Mobility honlapja: Wie der Wasserstoff-Transport per Schiene Standard werden soll: <https://www.next-mobility.de/wie-der-wasserstoff-transport-per-schiene-standard-werden-soll-a-954824/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [11] Regionalverkehr honlapja: https://www.regionalverkehr.de/pages/rv_meld_190628.htm (megtekintve: 2022.10.10.)
- [12] Murau honlap: Machbarkeitsstudie H2-Region Murau: <https://www.energieregionmurau.at/machbarkeitsstudie-h2-region-murau/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [13] Verbund honlapja: Green Hydrogen Blue Danube: <https://www.verbund.com/en-at/about-verbund/news-press/press-releases/2020/11/17/greenhydrogenbluedanube> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [14] EEG honlap: <https://www.elements-energy.at/#modules> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [15] Wikipedia: Johann von Österreich: https://de.wikipedia.org/wiki/Johann_von_%C3%96sterreich (megtekintve: 2022.10.10.)
- [16] Joanneum Research honlapja: <https://www.joanneum.at/en/> (megtekintve: 2022.10.10.)
- [17] Major Zoltán: Példák Ausztriából zöld hidrogén előállítására napenergiával – “a szomszéd hidrogénje/üzemanyagotlító kútja mindig zöldőbb”, Anyagvizsgálók Lapja, 2022/II. lapszám, pp. 25-31.: https://avilap.hu/view_article.jsp?article=1277

Kitekintés Japánra

A look at Japan

CONNECTING
GREEN HYDROGEN
JAPAN 2022Connecting Green Hydrogen Japan 2022
第二回 日本国際水素会議THE MOST ATTRACTIVE AND INFLUENTIAL
HYDROGEN EVENT IN JAPAN

APPLY TO SPEAK

REGISTER AS A DELEGATE

500+

In-person Attendees

60+

World-class Speakers

30+

Sponsors & Exhibitors

20+

Countries & Regions

2

Days of Networking

Japán egyik legfontosabb és leglátogatottabb zöld hidrogén konferenciáját – a „**Connecting Green Hydrogen Japan 2022**” konferenciát – **2022 október 11-12.** között rendezik meg Yokohamában. Az idei konferencia legfontosabb tartalmi elemei a következők:

- A konferencia a Japan Wind Energy 2022 és a Solar Energy Future Japan 2022 konferenciákkal közösen kerül megrendezésre.
- A konferencián külön szekcióban kerülnek megvitatásra a japán hidrogénpolitika és -stratégia kapcsán a hidrogén mobilitás és üzemanyagcellák alkalmazásának a legfontosabb problémái.
- A hidrogén alapú társadalom irányába való elmozdulás legfontosabb stratégiai feladatai, a hidrogén globális ellátási láncainak, valamint a fejlett hidrogén technológiák további elterjesztésének a kérdései.
- Új partneri és üzleti kapcsolatok megalapozása és további együttműködési lehetőségek megteremtése a hazai és nemzetközi energia és gáztermelőkkel, a nagy energiafelhasználókkal, az infrastruktúra tulajdonosokkal és fejlesztőkkel, valamint a kormányzattal, a befektetőkkel és a potenciális vásárlókkal.

A konferencián várhatóan több mint 20 országból több mint 500 szakember vesz részt, akik kb. 60 Japán és külföldi ipari szakember és kutató előadásait hallgathatják meg a különböző szekciókban. A konferencia mellett egy szakmai kiállítás keretében kb. 40 ipari kiállító a hidrogén technológiákhoz kapcsolódó termékei is megtekinthetők lesznek, valamint lehetőség lesz a gyártókkal közvetlen kapcsolatok kialakítására is.

A konferencia programja az alábbi linken érhető el:

<https://www.japan.gh2events.com/full-program>

Ezen a másik oldalon pedig további információkat szerezhetnek az érdeklődők a hidrogén technológiák új fejlesztéseiről.

<https://www.japan.gh2events.com/>

Külön is szeretnénk az olvasók figyelmébe ajánlani az „Insights Hub” nevű részt, ahol a témához szorosan kapcsolódó aktuális szakmai anyagok (white papers) tölthetők le:

<https://www.japan.gh2events.com/cghj-whitepaper>

A szervezők aktivitását jelzi, hogy a konferencia egy olyan nagy és aktív hálózat része, ahol a szakemberek kiválasztott témákról intenzív vitákat folytatnak. Az egyik ilyen vitafórumon a hidrogénnek az áruszállításban betöltött szerepéről és lehetőségeiről cseréltek eszmét japán és külföldi szakemberek (Hydrogen Driving Japan's Sustainable Transportation – Towards a Hydrogen Society).

<https://www.japan.gh2events.com/impact-hydrogen-in-sustainable-transport>

Major Zoltán (Ausztria)

Hidrogén platform a Cseh Köztársaságban

Hydrogen platform in the Czech Republic

A Cseh Hidrogénteknológiai Platform (Česká vodíková technologická platforma – HYTEP) 2007-ben jött létre a Cseh Ipari és Gazdasági Minisztérium kezdeményezésére. Céljuk a hidrogénteknológiák és hidrogéngazdálkodás fejlesztése Csehországban. A platform keretein belül jelenleg összesen 74 vállalat, kutatóintézet és egyetem működik együtt. A szervezet aktívan közreműködik tagjaik kutatásainak koordinálásában, segítséget nyújt az eredmények publikálásában illetve ipari megvalósításában. Aktívan részt vesznek az alkalmazott kutatásban. A Cseh Technológiai Ügynökség (Technologická Agentura České Republiky – TAČR) támogatásával, az Atomkutató Intézzel (Ústav jaderného výzkumu – ÚJV), a Cseh Vegyészeti Technológiai Egyetemmel (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze – VŠCHT) és a Vasútkutató Intézzel (Výzkumný ústav železniční – VÚŽ) karöltve elindították a csehországi



regionális vasutak hidrogénüzemre való átállításának megvalósíthatósági projektjét. Tevékenységük kiterjed a tanácsadásra is, úgy technológiai, mind jogalkotási szempontból. Rendszeresen részt vettek a Cseh Ipari és Gazdasági Minisztérium hidrogénteknológiáknak szentelt megbeszélésein, ahol aktívan kivették részüket a 2021 júliusában közzé tett Cseh Köztársaság hidrogénstratégiájának formálásában. A minisztériumnak segítenek az Európai Unió a hidrogéngazdálkodást érintő javaslatainak elbírálásában és kommentált kivonatokat készítenek a nemzetközi szervezetek (Irena, IEA) dokumentumaiból. Évente megszervezik a Hydrogen Days elnevezésű tudományos konferenciát, ami Európa egyik legnagyobb ilyen jellegű rendezvénye. Természetesen tevékenységük szerves része a tudományos ismeretterjesztés is, aminek keretén belül oktatóvideókat készítenek és lakossági fórumokat szerveznek.

További információkra a platform tevékenységéről a <https://www.hytep.cz/en/> oldalon találhatóak.

Kristián Máthis



Európai Szerkezetintegritási Társaság (ESIS) – II. rész: Az ESIS új elnöke: Aleksandar SEDMAK, Professor Emeritus

European Structural Integrity Society (ESIS) - Part I:
New ESIS President: Aleksandar SEDMAK, Professor Emeritus

Az Európai Szerkezetintegritási Társaságot az 1970-es évek végén alapította egy lelkes szakmai közösség. Az alapítás körülményeit „homály és bizonytalanság fedi”. Az egyik változat az ESIS honlapján olvasható¹.

A társaság eddigi elnökei:

- H. Van Elst (1977?-1988)
- H. Larsson (1988-1992)
- I. Milne (1992-1996) (Anglia)
- D. Francois (1996-2000) (Franciaország)
- K. Miller (2000-2002) (Anglia)
- A. Carpinteri (2002-2006) (Olaszország)
- E. E. Gdoutos (2006-2010) (Görögország)
- L. Banks-Sills (2010-2018) (Izrael)
- F. Iacoviello (2018-2022) (Olaszország)
- A. Sedmak (2022-...) (Szerbia)

Az ESIS periodikus konferenciája során az ECF23 Portugáliában, Madeira szigetén található városban, Funchal-ban került megrendezésre 2022. június 27.-július 1. között. A beküldött előadások rövid összefoglalói szabadon letölthetők².

Az ECF23 egyben elnökváltás színtere is lett, mert a korábbi – szerepét kiválóan ellátó – Prof. Francesco Iacoviello mandátuma lejárt. Az elnöki pozícióra Aleksandar Sedmak került megválasztásra.



Aleksandar Sedmak

Pályafutása címszavakban:

- 1955-ben született Belgrádban,
- 1973-ban érettségizett matematikai orientáltságú gimnáziumban,
- 1978-ban szerez diplomát a Belgrádi Egyetem Gépészmérnöki Karán vízenenergia specializálódással,
- 1982-ben MSc fokozatot szerez ugyanezen karon,
- 1988-ban DSc. fokozatot nyer el a Belgrádi Egyetem Matematikai Karán,
- 2021-től Professor Emeritus a Belgrádi Egyetemen,
- Szerbia Mérnöki Tudományok Akadémiájának rendes tagja,
- 2016 - Brassói Egyetem tiszteletbeli professzora,
- 2017 - Magyar Mérnökakadémia külső tagja.

Munkahelyi beosztásai:

- 1979-ben tanársegédi kinevezést kap a Belgrádi Egyetem Gépészmérnöki Karán,
- 1990-től adjunktus ugyanitt,
- 1995-től docens, majd
- 2001-től egyetemi tanár,
- 1999-2002 között a Drexel Egyetem vendégoktatója,
- 2003-2006 között a Tudomány és Technológia Fejlesztésért felelős miniszterhelyettes,
- 2006-2009 között a Belgrádi Egyetem nemzetközi kapcsolatokért felelős rektorhelyettese,
- 2006-2021 között a Gépészmérnöki Kar Innovációs Centrumának igazgatója.

Oktatási tevékenysége:

- előadott tantárgyai: anyagismeret, hegesztés, numerikus módszerek, törésmechanika, szerkezetintegritás,
- alapítója a „Hegesztés és hegesztett szerkezetek” BSc, MSc és PhD szakirányoknak,
- témavezető több mint 60 disszertáció elkészítésében (többségében idegen nyelven, többnyire libiai hallgatóknál),
- multidiszciplináris doktori iskolák tagja Belgrádban, Temesváron, Skopjében,
- Számos tankönyv szerzője vagy társszerzője (hegesztés, törésmechanika, numerikus módszerek).

Publikációs és szakmai közéleti és ipari tevékenység:

- 147 cikk szerzője Word of Science (WoS) által jegyzett folyóiratokban,
- hivatkozásainak száma 2357, h indexe 22,
- 300 fölötti az egyéb közleményeinek száma (előadások, konferenciák stb.),
- 12 nemzetközi projekt résztvevője/koordinátora (EUREKA, H2020, FP7, COSME, ITERREG..),
- több mint 10 hazai K+F projekt koordinátora,
- a Szerb Szerkezetintegritási és Élettartam Társaság (DIVK) elnöke,
- a DIVK folyóiratának felelős kiadója és főszerkesztője (Scopus, eSCI lap),
- az ECF22 főszervezője volt Belgrádban 2018-ban,
- az 1999-es bombázások során megsérült Pancevoi Finomító rekonstrukciójában való részvétel,
- Európai Hegesztő Diploma (EWF diploma).

Nemzetközi kapcsolatrendszere:

- TEMPUS-HUTON projekt vezetője,
- EUREKA és bilaterális projektek Szlovéniával,

¹ ESIS honlapja: ESIS history: <https://www.structuralintegrity.eu/site/people/esis-history> (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)

² ECF23 book of abstracts: https://www.ecf23.eu/abstracts/ECF23_Book_of_Abstracts.pdf (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)

Horvátországgal, Cseh Köztársasággal, Szlovákiával, Romániával,

- Meghívott előadó számos egyetemen pl. Duke Egyetem, Drexel Egyetem, Miskolci Egyetem, Brassói Egyetem, Tripoli, Libia, Bay-LOGI (Miskolc),
- ESIS alelnöke 2014-2022 között.

Az ESIS jövőjére vonatkozó gondolatok:

- Elsődleges cél a két előző elnök, Leslie Banks Sills (2010-2018) és Francesco Iacoviello (2018-2022) szervező munkájával létrehozott korszerű működtetés magas színvonalának megőrzése, esetleges emelése,
- Másodlagos cél egyes részterületek további erősítése különös tekintettel:
 - a fiatal szakemberek támogatásának további elősegítése, a megfelelő források előteremtésével,
 - a publikációs tevékenység fokozása,
 - a Nemzeti Bizottságokkal való szorosabb és szervezettebb együttműködés kialakítása,
 - a TC-k (szakmai csoportok) szerepének erősítése
 - a szakmai nemzetközi szervezetekkel (ASTM, Kína, Japán) való szorosabb és aktívabb együttműködés kialakítása,
 - a soron következő ECF24 és ECF25 sikeres megszervezése Zágrábban, majd Athénben.
- Kis változtatásokkal az ESIS jelenlegi vezető testületének (ExCo) erősítése. A változások a következőket foglalja magába:
 - **Pedro Moreira** bevonása Bamber Blackman helyére, aki egyetemi megbízása miatt nem tudja vállalni eddig betöltött feladatát,
 - **V.P. Fillipo Berto** bevonása a vezetésbe,
 - **Stavros Kourkoulis**, az ECF 25 főszervezőjének bevonása az ESIS vezető testületébe,
 - a vezetés munkáját erősíti „háziasszonyi precizitással” két hölgy is, **Leslie Banks Sills** és **Jianying He**.

Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy mind az ESIS Magyar Nemzeti Bizottsága (MNB), mind a hazai szakemberek, mind pedig a magam nevében gratuláljak Aleksandar Sedmaknak új, igazán felelősségteljes szerepére történt megválasztásához. A „felelősségteljes szerep” kihangsúlyozását – most már, mint egyén, mint szubjektum, mint individuum – azért tartom fontosnak, mert az új

elnök, az első, aki Közép-Kelet Európát (is) képviselheti. Szándékosan a feltételes módot használtam! Ehhez pedig sok sikert, energiát kívánok az új elnöknek.

Mint az MNB második elnöke (alapító elnök Czoboly Ernő³) már próbálkoztam azzal, hogy a Közép-Európa, mondhatnám azt is, hogy a Kárpát-medence szakmai súlyára több figyelmet szenteljünk az ESIS keretében. Ne feledjük, hogy akkor még csak a szűkített Európai Gazdasági Közösség létezett. Ebből adódóan régióink szakembereinek rendszeres részvétele az együttműködésben többnyire csak a megnyílt pályázati lehetőségek kereteiben volt. E törekvésben messze egyetértettünk Alexandar édesapjával, a legendás híró Stojan Sedmakkal. E közös gondolatsor testet öltött az „**Eight International Fracture Mechanics Summer School - IFMASS 8**” (Belgrád, 2003. június 23-27.) legkülönbözőbb hivatalos dokumentumaiban is. A résztvevők regisztrálási körlevélében ez olvasható:

"On the meetings, held during 14th European Conference on Fracture (ECF 14) in September 2002 in Krakow, with the participation of Prof. L. Toth (Hungary), the chairman of ESIS Commission TC13: Education and Training, Prof. E. Gdoutos (Greece), Prof. D. Angelova (Bulgaria) and Prof. S. Sedmak (Serbia) it has been decided to organize IFMASS 8 for South-Eastern European countries."

Talán nem is meglepő, hogy az új elnökünk tartotta az első előadást

J. Jarić, A. Sedmak: Physical and mathematical aspects of fracture mechanics

címmel.

Ugyanezen körlevélben olvasható mondatok:

"Joint organization of IFMASS of South-Eastern Europe countries, under the auspice of (European Structural Integrity Society - ESIS - could be considered as the first step in founding the regional Forum for Structural Integrity of South - Eastern European countries."

napjainkra már jelentőségüket veszítették, noha a rendezvény keretében tett városnézés kapcsán még láthattuk az 1999. március 24-én indult NATO bombázások nyomait a fővárosban, Belgrádban. Azóta eltelt közel 20 év eseményei meggyőzően igazolták a régióink szakmai szerepét, szakembereinek felkészültségét még annak dacára is, hogy időközben egy újabb „politikai vulkán tört ki”.

Tóth László

³ Tóth László: Egy kitüntetés margójára, Czoboly Ernő, Magyar Érdemrend Tisztikeresztje, polgári tagozata 2022. Anyagvizsgálók Lapja, 2022/III. lapszám, 61-66. old.

Megjelent az

MSZ EN ISO 9712:2022

– az új tanúsítási szabványunk –
magyar nyelvű változata.

Forrás: Magyar Szabványügyi Testület hírlevél

Beszámoló az ECF23 Konferenciáról – I. rész

Report from the ECF23 Conference - Part I

1. Bevezetés

Az ECF23-at – azaz a „23rd European Conference on Fracture” konferenciát – 2022. június 27. és július 1. között rendezték meg Funchalban, Madeira fővárosában. A szervezők az esemény jelmondatául a „Fracture Mechanics and Structural Integrity” kifejezést választották. A mottó arra hívja fel a figyelmet, hogy a szilárd anyagból létrejött vagy készített struktúrák szerkezeti integritása és a törésmechanika szét nem választható – azaz összefonódott – fogalmak. Mivel előadóként vettem részt a konferencián, így személyes benyomásaimat is összegezve, örömmel teszek eleget Dr. Trampus Péter professzor – az ESIS Magyarország elnöke – azon felkérésének, hogy osszam meg tapasztalataimat az érdeklődő magyarországi szakmai közönséggel. Az eseményen több mint 500 előadás hangzott el, ezért arról összefoglaló áttekintést írni meglehetősen reménytelen feladatnak tűnt. Ezért – a szervezők által követett felosztást alapul véve, de azt némiképp átstrukturálva – tárgykörök szerint csoportosítottam az előadásokat, majd az egyes témákon végighaladva próbáltam dióhéjban összefoglalni az egyes témakörökben elhangzottak lényegét. Néhány témakörben az elhangzottak ismertetése mellé olyan kiegészítő megjegyzéseket fűztem, amelyek remélhetőleg az adott tématerületet kevésbé követő olvasók számára is megkönnyítik az eligazodást.

Összefoglalónkat terjedelmi okokból két részre osztottuk. Ebben a részben röviden bemutatjuk a konferencia helyszínét, vázlatosan áttekintjük az ECF konferenciák történetét, és ismertetjük az eseményen elhangzott plenáris előadásokat. A második részben a szekciók munkáját mutatjuk majd be.

2. A konferencia helyszíne

Amint már említettük, az ECF23-nak Funchal, Madeira fővárosa adott otthont. Madeira a Madeira-szigetecsoporthoz tartozó legnagyobb szigete az Atlanti-óceánban: az északi szélesség 32-33°, illetve a nyugati hosszúság 16-17° között, az Afrikai lemezen fekszik, Afrika északnyugati partjától – Marokkó magasságában – ≈ 520 km-re nyugatra,



1. ábra: Madeira pozíciója az Atlanti-óceánban az európai és az afrikai kontinenshez képest [2]

Lisszabontól ≈ 1000 km-re délnyugatra [1], pozícióját az 1. ábrán mutatjuk be [2] (piros színnel kiemeltük). Madeira szigetét 1418-19-ben Tengerész Henrik portugál herceg vezetésével fedezték fel a Portugál királyság hajósai, majd az 1420-as évek elején tették Portugália birtokává; a sziget azóta – kisebb megszakításokkal – Portugáliához tartozik. Ma Madeira – a szomszédos Porto Santo szigettel együtt – Portugália autonóm régiója. Autonóm státuszát 1976. április 30-án nyerte el [1]. Magyar szempontból Madeira szigete különleges jelentőséggel bír [3]: 1922. április 1. napján a ma Funchalhoz tartozó Montében, a Quinta do Monte-villában halt meg tüdőgyulladásban IV. (Boldog) Károly, az utolsó magyar király. Róla írta ifj. Bertényi Iván: „ha uralkodóként és különösen magyar királyként nem tudta is nemes elgondolásait véghezvinni, és nem volt képes megmenteni népeit a háború szörnyű következményeitől, emberi jósága valóban példaértékű lehet számunkra is” [3]. Koporsója ugyanott, Montében, a Miasszonyunk templomának egyik oldalkápolnájában található (2. ábra).



2. ábra: IV. Károly király koporsója Montében, a Miasszonyunk templomban

3. Az ECF konferenciák történetéről

A konferenciát az ESIS – European Society for Structural Integrity – és annak portugál tagszervezete, az SPFIE – Portuguese Structural Integrity Society – szervezte. Az ECF konferenciák sorozata 1976-ban Franciaországban, Compiègne-ben kezdődött meg, az ECF1-gyel, amit akkor még „European Colloquium on Fracture” címmel hirdettek meg [4]. A konferenciákat azóta – normális körülmények közepette – kétéves rendszerességgel hirdetik és tartják meg. Az ECF3-mal kezdődően a konferenciák vezérfonalát egy-egy mottó is jellemzi. Az 1988. szeptemberében tartott ECF7-nek Budapest adott otthont; jelmondata „Failure Analysis – Theory and Practice” volt. A sorozatot 1990-ig az ESIS jogelődje, az EGF (European Group on Fracture) égisze alatt szervezték [4]. Az eddigi ECF konferenciák helyszíneit, időpontjait és azok mottóit ([5] alapján) a következő táblázatba foglaltuk össze:

- ECF1 Franciaország, Compiègne, 1976.
1st European Colloquium on Fracture
- ECF2 Németország, Darmstadt, 1978. október 9-11.
2nd European Conference on Fracture
- ECF3 Anglia, London, 1980. szeptember 8-10.
Fracture and Fatigue
- ECF4 Ausztria, Leoben, 1982. szeptember 22-24.
Fracture and the Role of Microstructure
- ECF5 Portugália, Lisszabon, 1984. szeptember 17-21.
Life Assessment of Dynamically Loaded Materials and Structures
- ECF6 Hollandia, Amsterdam, 1986. június 15-20.
Fracture Control of Engineering Structures
- ECF7 Magyarország, Budapest, 1988. szeptember 19-23.
Failure Analysis – Theory and Practice
- ECF8 Olaszország, Torinó, 1990. október 1-5.
Behaviour and Design of Materials and Structures
- ECF9 Bulgária, Várna, 1992. szeptember 21-25.
Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials
- ECF10 Németország, Berlin, 1994. szeptember 20-23.
Structural Integrity: Experiments, Models and Applications
- ECF11 Franciaország, Poitiers, Futuroscope, 1996. szeptember 3-6.
Mechanisms and Mechanics of Damage and Failure of Engineering Materials and Structures
- ECF12 Anglia, Sheffield, 1998. szeptember 14-18.
Fracture from Defects
- ECF13 Spanyolország, San Sebastian, 2000. szeptember 6-9.
Fracture Mechanics: Applications and Challenges
- ECF14 Lengyelország, Krakkó, 2002. szeptember 8-13.
Fracture Mechanics Beyond 2000
- ECF15 Svédország, Stockholm, 2004. augusztus 11-13.
Advanced Fracture Mechanics for Life and Safety Assessments
- ECF16 Görögország, Alexandropolisz, 2006. július 3-7.
Failure Analysis of Nano and Engineering Materials and Structures
- ECF17 Csehország, Brno, 2008. szeptember 2-5.,
Multilevel Approach to Fracture of Materials, Components and Structures
- ECF18 Németország, Drezda, 2010. augusztus 29 – szeptember 3.
Fracture of Materials and Structures from Micro to Macro Scale
- ECF19 Oroszország, Kazany, 2012. augusztus 26-31.
Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety
- ECF20 Norvégia, Trondheim, 2014. június 30 – július 4.
Fracture at all scales
- ECF21 Olaszország, Catania, 2016. június 20-24.
Fracture and Safety
- ECF22 Szerbia, Belgrád, 2018. augusztus 26-31.
Loading and Environment Effects on Structural Integrity
- ECF23 Portugália, Funchal, 2022. június 27 – július 1.
Fracture Mechanics and Structural Integrity

Az ECF23 kivételesen 4 évvel következett az ECF22 után; ennek oka a 2020 elején kitört Covid járvány volt. Az akkor bevezetett járványügyi korlátozások miatt az eredetileg 2020. június 29. és július 3. közötti idő-intervallumra meghirdetett konferenciát az idei évre halasztották.

4. A konferencia programja

A tudományos program 5 napon át, 8:45-től kezdve általában 18:00-ig tartott. A délelőtti program a meghívott előadók plenáris előadásaival kezdődött. A plenáris blokkot az elfogadott előadások prezentációi követték, egyszerre 6 párhuzamos blokkban. Összesen 12 meghívott plenáris előadás, továbbá a 20 tematikus szekcióban mintegy 500 előadás hangzott el, valamint 62 poszter előadást ismertettek a posztereknek dedikált blokkban.

A plenáris előadások

A plenáris előadások a következő témákba csoportosultak:

1. Polimer kompozitok;
2. Additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok;
3. Ridegtörés;
4. Fáradásos öregedés;
5. Biomechanikai kérdések;
6. Hidrogén okozta elridegedés;
7. Feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései.

A plenáris előadásokat – dióhéjban – alább tekintjük át. Megjegyezzük, hogy az ismertetést egy-két helyen némileg kiegészítettük, remélve, hogy az adott témában kevésbé jártas olvasó számára könnyebben áttekinthetővé teszünk néhány olyan részletet, amelyre az előadók csak utaltak, ám részletesen ki nem fejtettek.

Polimer kompozitok

A polimer kompozitok témakörében előzetesen meghirdetett előadások közül csak **P. Camanho** **“Prediction of fracture of polymer composite materials across different length scales”** címen meghirdetett prezentációja [6] hangzott el, mert a többit a meghívott előadók Covid-fertőzöttsége miatt törölték. Az előadás a repülőgép-iparban használatos polimer kompozit anyagok, valamint az ezekből épített kompozit szerkezetek károsodási mechanizmusainak és végső tönkremenetelének előrejelzésére alkalmas szoftver kidolgozása érdekében folyó – többszálú modellezési filozófián alapuló – kutatási-fejlesztési munkákról számolt be. A szerkezeti elemek károsodásának és végső tönkremenetelének kellő pontosságú előrejelzése kulcsfontosságú a belőlük alkotott szerkezetek, rendszerek műszakilag megengedhető – biztonságos – üzemidejének meghatározása szempontjából, ezért a fejlesztés célja kellő prediktív erővel bíró, megbízható szimulációs eszközök fejlesztése. Az eddigi kutatás-fejlesztési munkák tapasztalatai azt mutatják, hogy a teljes részletességre törekvő többszálú, valamint a makro- és a mikroskálák közötti hosszskálára koncentrált mezo + mikroskálás modellek segítségével végzett számítások olyan magas erőforrás-igénnyel és számítási költségekkel járnak, amit az iparban nem fogadnak el. Ezért olyan modellek fejlesztésébe kezdtek, amelyek egyfelől mezoskálás modellek, ám a mikroskálán zajló folyamatokról csak a szükséges információkat veszik át. A mikroskálás folyamatokat külön mikromechanikai modelleken követik; a magasabb skálaszint által igényelt

információt gépi tanulás segítségével transzformálják át, úgy, ahogy azt a szimulációs eszközben felhasznált elmélet igényei megkövetelik. Az előadás jó példát mutatott arra, miként lehet elméletvezérelt gépi tanulási módszereket felhasználni ipari gyakorlatban is használatos numerikus eszközök fejlesztése során.

Additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok

Az utóbbi egy-két évtizedben az additív gyártási módszerek számottevő részt „hasítottak ki maguknak” a technológiák területéből. A konferencián két plenáris előadás foglalkozott additív gyártási technológiákkal kapcsolatos kutatások ismertetésével és azok eredményeinek bemutatásával:

- a. **A. Fatemi: “Fatigue and Fracture of Additively Manufactured Metallic Materials and Components” [7];**
- b. **J. He: “Probing nanoscale mechanical properties of additively manufactured metallic alloys” [8].**

Mindkét előadás igen informatív volt. Mondanivalójuk lényegét a következőképpen foglalhatjuk össze. Az additív gyártási módszerek számos előnnyel bírnak a hagyományos, utólagos megmunkálási eljárásokat is magukba foglaló technológiákkal szemben, mint pl. a kisebb anyagvesztés, a kevesebb gyártási lépésből felépíthető gyártástechnológia és az abból adódó magasabb termelékenység lehetősége, valamint a geometriai formák kialakításának nagyobb szabadsága. Ezért azokat egyre szélesebb körben alkalmazzák nagy teljesítményű alkatrészek előállítására az orvostudomány és a repülőgépgyártás számára, és jelentőségük növekszik az energetikai-, az építő- és az autóiparban is. Az additív módszereket jellemző réteges gyártási eljárás – még kis méretű alkatrészek, szerkezeti elemek gyártása során is – olyan komplex termomechanikai terheléstörténetet indukál az anyagban – kezdetben ismétlődő felolvasztást és gyors megszilárdulást követő erőteljes hűtést, majd a továbbiakban, szilárd állapotban elszenvedett ciklikus termomechanikai fárasztó-igénybevétel szekvenciát foglalva magába –, melynek akkumulált hatása a komponens további célokra megengedhető felhasználási idejét erősen befolyásolja. A technológia erősen inhomogén mikroszerkezetet eredményez, amelyet anizotrópia, a nagy gradiensekkel jellemezhető alakváltozási és maradófeszültség mezők, továbbá a mechanikai tulajdonságok inhomogén eloszlásai jellemeznek (az inhomogenitásba beleértve az olyan sajátosságokat is, mint a szerkezeti anyag porozitása). Ezért az így készített darabok erősen nemlineáris reológiai viselkedést mutatnak, szemben a hagyományos gyártási eljárásokkal készített megfelelőikkel, amelyek műszaki szempontból történő jellemzésére a klasszikus szilárdságtanban használt anyagmodellek eddig többnyire megfelelőek voltak. Az additív gyártással készített alkatrészek, komponensek hosszú időtávú viselkedésének megbízható előrejelzésére olyan elméleti modellekre van szükség, amelyek pontosabban képesek figyelembe venni az anyag inhomogenitásainak hatását a károsodási

folyamatokra, ezen felül az élettartam-számításokhoz kidolgozott modelleket az elemzések pontossági követelményeit kielégítő mérésekből származó anyagjellemző paraméterekkel kell ellátni, illetve a számításokat körültekintően kell validálni.

Közbevetőleg jegyezzük meg, hogy az inhomogén anyagok viselkedésének pontos leírására alkalmas elmélet ma még nem létezik; az manapság is intenzív kutatások tárgya. Az anyagi inhomogenitásokat vizsgáló első – kontinuummechanikán alapuló – dolgozatot Eshelby publikálta 1951-ben [9], és a kérdéskörrel egészen élete végéig behatón foglalkozott (ld. pl. [10] és [11]). Az Eshelby gondolatmenetén alapuló tárgyalásmódot azóta többen is (pl. G. Maugin [12], P. Steinmann [13]) továbbfejlesztették; ezt az irányzatot nevezik a szakirodalomban a Konfigurációs Erők – vagy más néven az Anyagi Erők – elméletének. A Konfigurációs Erők elmélete korántsem tekinthető lezártnak, azonban annyiban mindenképpen fejlettebb a tisztán mechanikai alapú elméleteknél, hogy a termodinamikailag konzisztens – azaz a termodinamika második főtételének megfelelő – leírás ebben a modellben alapvető követelmény. Ezért az elmélet ígéretes keretrendszernek tűnik olyan törésmechanikai modellek számára is, amelyek várhatóan disszipatív és inhomogén mikroszerkezettel rendelkező anyagok esetén is működőképesek lesznek. Az anyag inhomogén mivoltát termodinamikai értelemben konzisztensen tárgyaló modellek kidolgozása olyan, mélyebb elméleti kérdések átgondolását és tisztázását is igényli, mint a homogenizáció és az állapotok időben történő fejlődésének (amit röviden időfejlődésnek is nevezünk) egymáshoz való viszonya. A Konfigurációs Erők elmélete és egyéb termodinamikai megfontolások segítségével kimutatták, hogy az inhomogén anyag-eloszlásokkal jellemezhető struktúrák – mint pl. egy próbatest vagy alkatrész – állapota (beleértve a vizsgált rendszer térbeli mozgását, alakváltozási, feszültségi állapotát, az anyagi alkotók egymáshoz viszonyított mozgását, a mikrostruktúráját, a hőmérsékletet és az entrópiát) az idő előrehaladtával egészen más 'trajektóriák' mentén fejlődik az állapotterben, mint a homogén anyagú struktúrák. Az állítás oka matematikai: egy inhomogén eloszlásokkal rendelkező, véges térfogatú struktúra állapota időbeli fejlődésének vizsgálata során a térfogati átlagolás és az időbeli integrálás művelete nem cserélhető fel [14], azaz nem mindegy, hogy először képzik az állapotot jellemző fizikai mennyiségek térfogati átlagát, majd azokat alapul véve határozzák meg, hogy a rendszer adott időintervallumon milyen állapotba fejlődik, vagy először határozzák meg a fizikai mennyiségek időfejlődését az adott időintervallumon, majd utána képeznek térfogati átlagokat. Amennyiben az eredeti inhomogén és a kezdetben homogenizált rendszer végállapotaiban meghatározott fizikai mennyiségeket lokálisan vetik össze, akkor a különbségek több helyen még jelentősebbek lehetnek, mint a megfelelő átlagolt értékek közötti különbségek.

Bár az előadásokban ismertetett kutatásokat jól érzékelhetően nem az említett elméleti keretrendszerre alapozták, az előadók kiemelték, hogy az additív technológiával

gyártott alkatrészek – tapasztalatok szerint – erősen inhomogén mikroszerkezete és anyagtulajdonságai miatt a roncsolásos anyagvizsgálatokat úgy tervezik meg és hajtják végre, hogy azokból a szerkezeti anyag – adott hosszskálán érvényes – átlagos viselkedésén/tulajdonságain túlmenően az anyag különböző helyeken megfigyelhető lokális viselkedésére és tulajdonságaira vonatkozóan is megfelelő mennyiségű és minőségű információt lehessen kinyerni. Ezt elérendő, a hagyományos mechanikai anyagvizsgálati módszereket – mint pl. a makroszkopikus szakító- vagy a nyomóvizsgálatok – kiegészítik a lokális mechanikai tulajdonságok vizsgálatára alkalmazható módszerekkel, mint pl. a nanoindentációs eljárás. Ugyancsak az erősen inhomogén anyagszerkezet miatt ezeken az anyagokon a fárasztóvizsgálatokat úgy végzik, hogy azok a várható valós terheléstörténetet a lehető legjobban szimulálják. A komplex, változó amplitúdójú terhelési szekvenciák hatására kialakuló élettartam ugyanis szignifikánsan eltér attól, amit a műszaki életben elterjedt – a klasszikus fárasztókísérletek eredményeire és a lineárisan halmozódó károsodások elméletére – épített számítások jósolnak.

Ridegtörés

A ridegtörés klasszikusnak tekinthető témájával a következő két prezentáció foglalkozott:

- a. **C. Ruggieri: "Revisiting Cleavage Fracture Modeling in Steels: From the Griffith Assumption to the Beremin Model, and Beyond" [15];**
- b. **D. Leguillon: "Finite Fracture Mechanics to predict the initiation of new cracks in brittle materials" [16].**

C. Ruggieri [15] a ridegtörés elméletének immár évszázados fejlődési ívét tekintette át. A ridegtörés jelentőségére a mérnök-társadalom a XIX. század vége felé kezdett ráébredni, amikor a katasztrofális ipari balesetek gyakorisága számottevően emelkedni kezdett. Inglis 1913-ban vizsgálta meg részletesen a síklemezekben elhelyezkedő ellipszis alakú kivágások, valamint éles élek körüli feszültségállapotot [17]; ebből a tanulmányból származik a feszültségkoncentrációs tényező fogalma. Inglis gondolatmenetét felhasználva és azt energetikai megfontolásokkal kiegészítve alkotta meg 1920-ban Griffith az azóta róla elnevezett repedés-stabilitási kritériumot [18]. A Griffith-féle elmélet lineárisan rugalmas, üvegszerűen rideg anyagokra érvényes. A modell 1930-as és 1950-es évek közötti legkiemelkedőbb továbbfejlesztőjének Orován Egon és George Irwin tekinthető, akik a Griffith-féle kritériumot – a repedés éle körüli helyi plasztikus alakváltozás okozta disszipációt is figyelembe véve – úgy módosították, hogy az alkalmassá vált a képlékeny alakváltozásra hajlamos fémek anyagokban található repedések körüli viszonyok tárgyalására is (ld. [19] és [20]). Az 1950-es évek második felében Irwin kapcsolta össze a repedés éle körüli feszültségmező leírására koncentráló elméleti mechanikai leírást az energetikai megfontolásokkal, bevezetve a feszültségintenzitási tényezőt [21], amely matematikailag a repedésél körüli feszültségmező szinguláris sorfejtése

első tagjának együttthatója (ld. pl. [22] és [23]); fizikailag a repedés élén fellépő termodinamikai hajtóerőt reprezentálja. Ez a törésmechanikai modell a lineárisan rugalmas törésmechanika – Griffith-Irwin-Orován elméletnek is nevezik [24] –, amelyet azóta széles körben alkalmaznak szén- és gyengén ötvözött acélokból készült – elsősorban nagyméretű – berendezések szerkezetintegritási elemzése során. A Griffith-Irwin-Orován elmélet azonban nem képes leírni a kényszerek törési viselkedésre gyakorolt hatását, és nem veszi figyelembe a ridegtörés erős függését a mikroszerkezettől. Ezek a problémák vezettek a mikromechanikai alapú, ún. „local approach” módszerek megjelenéséhez, melyek közül a Beremin csoport úttörő publikációjából [25] kifejlődő, a leggyengébb láncszem filozófiájára alapozott modellek tekinthetők a legsikeresebbeknek.

Az előadás a rideg/hasadásos törés kulcsfontosságú aspektusait tekintette át: az alapokat, a törési forma hőmérséklet-függését, a kísérleti hátteret, valamint a jelenség leírását célzó elméleti alapú modellezési irányzatokat, ideértve a különböző mikro- és mezoskálás közelítéseket és a valószínűségi alapú modelleket is. Bár manapság soha nem látott teljesítményű informatikai erőforrások állnak a számítások rendelkezésére, be kell látni, hogy a ridegtörés alapjainak jelenlegi megértési szintje és az erre épülő módszertan teljesítőképessége ugyancsak korlátozott. Eddig még nem sikerült olyan elméleti leírást és arra épülő modellrendszert kidolgozni, amelyik képes lenne a modell részletezettségétől – bizonyos határok között – többé-kevésbé függetlenül, kellő megbízhatósággal prediktív eredményeket szolgáltatni.

A kutatások mai állása szerint – a repedések viselkedésének pontosabb leírása érdekében – az összes releváns mechanikai, metallurgiai és termodinamikai mikrojellemzőt/paramétert be kell építeni a kutatások céljára kidolgozott modellekbe (ezzel kiemelve egy alaposabb, alapkutatásokban használható modell kidolgozásának igényét); ugyanakkor a mérnöki alkalmazásoknak olyan, minél egyszerűbb, de mégis hatékony modellekre van szükségük, amelyekkel a bonyolult helyzetekben, összetett szerkezetekben fellépő elemzések szerényebb erőforrás-igényekkel hajthatók végre, a számítások eredményei viszont teljesítik az elvárt pontossági és megbízhatósági követelményeket. Ennek következtében a kutatások során és a mérnöki alkalmazásokban használt modellek, különösen pedig azok implementációi, eltérnek egymástól.

D. Leguillon előadásában [16] egy kifejezetten mérnöki szemléletű modellt ismertetett, amelyet a véges törésmechanika általa kidolgozott változatának nevez. Az elmélet a klasszikus Griffith-féle törésmechanika alapjait kielégítő, rugalmas-rideg anyagmodell estén érvényes. Leguillon célkitűzése a klasszikus Griffith-féle törésmechanika olyan kiegészítése volt, hogy az az új repedések keletkezését képes legyen előre jelezni. C. Ruggieri előadásában [15] is elhangzott, hogy a makroszkopikus közelítés a komplex mikroszerkezetet és a mikromechanizmusokat részletesen követő modellezési stratégiákkal szemben azzal az előnnyel bír, hogy a makroszkopikus modellek kevés

anyagparamétert igényelnek, és a rájuk épített szimulációk lényegesen takarékosabban bánnak az erőforrásokkal, mint például a kohéziós zónamodelleken vagy a különféle fázismező-elméleteken (ezeket a modelleket a szekciók munkáját bemutató részben majd kissé bővebben ismertetjük) alapuló számítások. A műszaki életben az egyszerű, olcsón és gyorsan végrehajtható elemzéseket mindig is kedvelték, tudomásul véve, hogy pontosságuk és érvényességük sokkal korlátozottabb, mint a részletgazdagabb, lényegesen több információn alapuló, komplex modellekre alapozott számításoké, amelyek sokkal több erőforrást igényelnek. Az előadó egy úgynevezett kettős kritériumon alapuló modellt ismertetett, amely: (1) az anyag szívósságán; és (2) a szakítószilárdságon alapszik. A kritérium szerint egy már meglévő repedés terjedése akkor indul meg, amikor a feszültségintenzitási tényező eléri a törési szívósság kritikus értékét; egy folytonos környezetben repedés keletkezése ott várható, ahol a következő kettős feltétel teljesül: (a) a feltételezett repedés élén ható húzófeszültség nagyobb, mint az anyag szakítószilárdsága, (b) a potenciálisan l hosszúságúra megnövekvő repedés megjelenése során felszabaduló energia elég nagy. A feltételből következően a repedés keletkezése instabil folyamat: a repedés ugrásszerűen jelenik meg, és a tágabb környezeti feltételektől függően vagy instabilan tovább növekszik, vagy stabilizálódik és megáll. Az elméletet mára szoftverbe is implementálták.

Fáradásos öregedés

A fáradásos öregedés problémakörét a következő négy előadás érintette:

- a. **A. Bosch, M. Vormwald:** *“Dependence of fatigue life on the sequence of individual load cycles of different amplitudes and mean values explained by fracture mechanics”* [26];
- b. **M. Kuna:** *“Simulation of anisotropic thermomechanical fatigue crack growth in nickel base alloys”* [27];
- c. **Y. Hong:** *“Revisiting characteristic region description for crack initiation in very-high-cycle fatigue”* [28];
- d. **F. Berto:** *“Creating a new generation of functional multi-material fatigue resistant solid-state joints”* [29].

A. Bosch és M. Vormwald előadása [26] a fáradásos igénybevételek során fellépő ún. szekvenciahatással foglalkozott. A műszaki gyakorlatban általánosan elterjedt Palmgren-Miner szabály [30,31] – repedések fáradásos terjedése esetén a Paris-Erdogan szabály [32] – nem veszi figyelembe az egyes terhelési ciklusok sorrendjét, márpedig a műszaki alkotások az időben erősen változó terhelések sorozatait/szekvenciáit szenvedik el, amelyek különböző amplitúdókkal, átlagértékekkel és hőmérsékletekkel jellemezhetők. A terhelések időbeli eloszlása – amelyet terheléstörténetnek nevezünk –, illetve a terhelések szekvenciái egy berendezés vagy rendszer élettartamát befolyásolják. Azokat a fáradásos elemzéseket, amelyek figyelembe veszik a terhelési ciklusok szekvenciáit, szekvenciakövető fáradásos számításoknak nevezik. Szekvenciahatásnak azt a különbséget nevezik, amely a szekvenciakövető és az egyszerű Palmgren-Miner vagy

Paris-Erdogan szabályon alapuló élettartam-számítások eredményei között fennáll. Egy komponens változó amplitúdójú terhelések hatására kialakuló fáradásos élettartamát a különböző komplex terhelési szekvenciák határozzák meg. A komponens üzeme során a különböző szekvenciák felerősíthetik vagy éppenséggel ki is kioltják egymást. Az előadás foglalkozott azzal a kérdéssel is, hogy a túlterhelések miként hatnak egy komponens várható élettartamára, amennyiben abban rövid, illetve hosszú repedések találhatók. A törésmechanikai elemzések szerint egy rövid repedéseket tartalmazó komponens fáradásos élettartamát egy túlterhelés csökkenti, míg egy hosszú repedést tartalmazó alkatrész fáradásos élettartama egy túlterhelés hatására többnyire megnövekszik. Az előadás alapját képező kutatás során a freiburgi Fraunhofer IWM-mel együttműködve kiterjedt kísérleti adatbázist készítettek különböző szekvenciák hatásainak számszerűsítésére, és a kidolgozott modellek validálására. A vizsgálati programban ausztenites 1.4550-es rozsdamentes acélból, valamint annak varratából (X6CrNiNiNb18-10 / AISI 347) készített sima és bemetszett próbatesteket használtak. A fárasztás során többféle terhelési sorozatot alkalmaztak (állandó amplitúdójú alap, kétlépcsős, nyolclépcsős és üzemi terhelési sorozat). A bemutatott eredmények érdekesek, ám az előadás rámutatott arra a tényre is, hogy az ipari környezetben működő komponensek időfüggő, komplex terheléstörténeten alapuló élettartam-számításai módszertanának további fejlesztése manapság is időszerrű feladat.

M. Kuna előadása [27] a nikkelbázisú ALLVAC R718Plus szuperötvözet termomechanikai fáradásának leírására és annak mérnöki alkalmazásokban történő felhasználásra alkalmas elméleti modell fejlesztése, validálása és valós műszaki probléma megoldásában történő alkalmazása érdekében végzett kutató-fejlesztő munkát ismertette. Az ALLVAC R718Plus szuperötvözet a komplex termomechanikai terheléseknek kiválóan ellenáll, ezért igen jó szerkezeti anyagnak tekinthető olyan szerkezetekben, ahol a hibátűrő konstrukció ma már alapkövetelmény, mint pl. a repülőgép hajtómű-turbinák tengelyei és lapátjai. Az ALLVAC R718Plus anizotróp szerkezeti anyag, melynek anizotrópiáját lemezkeszerű kiválások okozzák. Termomechanikai fáradása során a benne található repedés növekedésének mértéke és iránya az üzem közbeni terhelési ciklusoktól – ideértve a hőmérsékletet is – és az anyag lokális orientációjától egyaránt függ. A szerkezeti anyag anizotrópiája a repedés növekedését kiváltképp magas hőmérsékleten befolyásolja. Ugyancsak az anizotrópia következtében a repedés élének fejlődési/terjedési irányai a maximális főfeszültség irányától különböznek, és sokkal komplexebbé válnak, mint az egy izotrópnak tekinthető közegben várható lenne. Annak érdekében, hogy egy még tervezés alatt álló alkatrész specifikációban megkívánt élettartamát garantálni lehessen, a tervezői biztonsági számítások során az említett speciális tulajdonságokat figyelembe kell venni. Az előadó egy olyan repedésterjedési kritériumot ismertetett, amely az említett szerkezeti anyag speciális anizotróp tulajdonságai mellett az elvárt

ponctossággal, megbízhatóan írja le a repedés terjedését. A kutatások eredményeként kidolgozott modelleket numerikus szoftverbe implementálták. Az előadó beszámolt a modell validálásának menetéről, továbbá megmutatta annak egy tipikus turbina-alkatrész tervezése során történt alkalmazását is.

Y. Hong prezentációja [28] a rendkívül nagy ciklusú fáradással (very-high-cycle fatigue) foglalkozott. A rendkívül nagy ciklusú fáradás jelensége mindenekelőtt arra hívja fel a figyelmet, hogy a valóságban nem létezik olyan szerkezeti anyag, amely végtelen számú terhelési ciklust lenne képes elviselni, még ha klasszikus kísérletek eredményei alapján egyesek ilyen várakozásokkal élnének is. Az újabb kutatások szerint egy fémes szerkezeti anyagban a repedés akkor is megindul, ha a klasszikus fárasztóvizsgálatok eredményeit leíró elméleti modellek alapján nem ezt várják. Az előadó és az általa irányított kutatócsoport eddigi kutatásai is nagyban hozzájárultak annak bizonyításához, hogy a jelenség létezik, bár az oka a mai napig nem tisztázott. Minden valószínűség szerint arra vezethető vissza, hogy a szerkezeti anyag inhomogén, és a „gyengébb” zónákban akkor is megindulhat egy repedés, ha egy homogenizált modell alapján nem számítanak rá. A jelenség leírását célzó elméleti modell kidolgozása során az előadó és munkatársai bevezették az úgynevezett karakterisztikus régió, és az annak kialakulásához vezető „nagy számú ciklikus nyomóterhelés” fogalmát. Az előadás érdekes volt, ám részletesebb ismertetése meghaladná a jelen beszámolóban rendelkezésre álló kereteket, mert még érzékelhetően kiforratlan, ám intenzív kutatások alatt álló terület.

F. Berto előadása [29] multifunkcionális technológiák fejlesztésének kérdéseivel foglalkozott. A multifunkcionális alkatrészekbe vékony rétegekben elektromos, mechanikai, fluid és optikai eszközöket integrálnak. A rétegeket megfelelő technológiával épített kötések tartják össze. Nyilvánvaló, hogy egy komponens megbízhatósága nagymértékben függ a benne alkalmazott kötések stabilitásától. Ezért a kötésekkel szemben alapvető elvárás, hogy hosszú időn át álljanak ellen a fárasztó terhelések okozta öregedésnek. Az előadó különböző szilárdtesthegesztési technikákat ismertetett, bemutatva a terület néhány újabb és érdekes fejlesztési irányát, melyek célja az említett, nagy fáradásállóságú kötések létrehozása. Bemutatta, miként tudtak a makroszkopikus, alacsony hőmérsékletű fémkötések technológiai fejlesztései során elért eredmények alapján egy teljes mértékben ellenőrzött mikroméretű kötési eljárást létrehozni. Az előadó vezette fejlesztések távolabbi célja az alacsony hőmérsékletű kötési technológia nanoskálára történő átvitele.

Biomechanikai kérdések

V.V. Silberschmidt *“Mechanical behaviour of biomedical materials”* című előadása [33] a gyógyászatban felhasznált szerkezeti anyagok biomechanikai problémáiból adott ízelítőt. A biomechanika az orvosbiológiai alkalmazásokhoz kapcsolódó mechanikai problémák elemzésének tudománya, melynek fejlődését nagyrészt a személyre szabott

orvoslás igényei inspirálják. A biológiai szövetek mechanikájáról, tulajdonságairól, valamint az orvosbiológiai eszközökkel való kölcsönhatásokról azonban – a témakör elmúlt évtizedekben tapasztalható rohamos fejlődése ellenére – csak korlátozott ismeretekkel rendelkezünk. Az előadás a kollagén és az orvosi eszközökben használt biopolimerek kölcsönhatásait, továbbá a kölcsönhatásoknak a biopolimerek öregedésére gyakorolt hatását ismertette.

Hidrogén okozta elridegedés

Z. Zhang *“Void-based predictive framework for hydrogen embrittlement”* című előadása [34] a szerző és munkatársai szerkezeti anyagok hidrogén okozta elridegedés modellezése terén végzett kutatásait ismertette. A hidrogén indukálta öregedés kutatása az utóbbi években intenzíven fejlődik, mert a hidrogén-alapú technológia fejlesztése erre igényt támaszt. A hidrogén indukálta öregedés során egy szerkezeti anyag törése transzgranulárisból kvázi-hasadásos és intergranuláris típusúba vált át; a törési típus átmenetét okozó belső mechanizmusokat még nem értjük. Hiányzik egy olyan prediktív erejű elmélet, amely az átmenet folyamatát kellő mélységben képes lenne megragadni. Z. Zhang előadását a mechanizmus atomisztikus vizsgálatainak eredményeire alapozta, melyek szerint a szerkezeti anyagban a folyamat során a repedések kialakulásához vezető dekohéziót megelőzően nanoszintű üregképződési folyamat játszódik le, és ez a folyamat a dekohézió körülményeit alapvetően határozza meg. A nanoszintű szimulációk eredményei alapján – amelyeket olyan kísérleti bizonyítékokkal támasztanak alá, hogy az üregek mindig megtalálhatók a hidrogén indukálta törésfelületeken – az öregedési mechanizmus okozta képlékeny-rideg átmenet modellezésére egy void-alapú modellel fejlesztenek. A modell a Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) féle elméletből [35-38] indul ki – amely a képlékeny tönkremenetelt az üregek nukleációjával, növekedésével és összenövésével írja le –, azonban azt kiterjesztették a dekohézió okozta tönkremenetelre is. Hidrogén hiányában az üregek összenövésével vezérelt képlékeny tönkremeneteli mechanizmus érvényesül. A hidrogénkoncentráció növekedésével az üregek összenövése okozta tönkremenetel valószínűségét fokozatosan felváltja a dekohézióé, amelyet a hidrogéntartalom által befolyásolt dekohéziós tönkremeneteli kritérium vezérel. Az előadó várakozásai szerint a javasolt modell – a hidrogéndiffúzió leírásával párosítva – képes leírni a megfelelő öregedési folyamatot. A modellel először a laboratóriumi kísérletek értelmezésének támogatására használják, és remélik, hogy a laboratóriumi eredmények átvihetők lesznek a megfelelő mérnöki komponensek szerkezetintegritási vizsgálataira.

Feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései

G.A. Ferro előadása [39], amely a *“Structural Integrity of prestressed bridges”* címet viselte, a nagyméretű, feszített vasbetonszerkezetű hidak szerkezeti integritásának néhány alapvető kérdéséről szólt. 2014 és 2018 között Olaszországban öt nagyobb, feszített vasbetonszerkezetű közúti/autópálya híd omlott össze: 2014-ben a Petrulla

viadukt, 2016-ban az Annone autópálya-felüljáró, 2017-ben az Ancona felüljáró és a Fossano viadukt, 2018-ban a Polcevera viadukt – vagy más néven Morandi híd –. Az említett eseteken túlmenően, a világban az utóbbi évtizedekben másutt is több nagyobb méretű vasbetonhíd omlott össze. Bár az említett katasztrófák konkrét körülményei nagymértékben különböztek, azok hátterében ugyanaz a mélyebb ok – emberi mulasztások sorozata – húzódott meg, amit az előadó úgy fogalmazott meg, hogy „az üzemeltetők és a felülvizsgálók ismeretei a meglévő szerkezetek tényleges szerkezeti állapotáról erősen hiányosak voltak”. Ismerethiányon olyan problémákat kellett érteni, mint például a megfelelő konstrukciós biztonsági tartalék, valamint a megépített állapotot pontosan rögzítő dokumentáció hiánya – általánosan fogalmazva a minőségbiztosítás elégtelensége –, továbbá a terhelési adatok gyűjtésében és a szerkezeti anyagok öregedési folyamatai nyomon követésében történt mulasztások. Ez utóbbi az előírt felülvizsgálatok elhanyagolását vagy rossz minőségű végrehajtását jelenti. Mivel Olaszország úthálózatán nagy számban található olyan vasbeton hidak, amelyek életkorra 40-50 év körül járhat, azok biztonságos élettartamának vizsgálatait megbízható alapokra kell helyezni. Az előadó az ezirányú vizsgálatokba engedett betekintést, és a prezentáció zárásaként egy, a hídszerkezetekre kidolgozás alatt álló szerkezetintegritási koncepciót körvonalazott. Megjegyezzük, hogy az elképzelés hasonlít az általunk az Energiatudományi Kutatóközpontban – elsősorban atomerőművi nagyberendezések szerkezetintegritási vizsgálatára – fejlesztett módszertanra.

5. Az ESIS Council meeting

A konferencia második napján rendezték meg az ESIS Council meetinget. Mivel Dr. Trampus Péter, az ESIS Magyarország elnöke az ESIS Council meetingen személyesen nem tudott megjelenni, felkérésére azon a szerző képviselte Magyarországot. Az értekezleten a 2018-ban Belgrádban megválasztott – Francesco Iacoviello vezette – elnökség mandátuma lejárt, ezért a napirendi pontok között az új vezetőség megválasztása is szerepelt. A leköszönő elnök beszámolt az elmúlt négy év munkájáról, amelyet 2020-tól kezdődően a Covid járvány, az utolsó fél évben pedig az orosz-ukrán konfliktus tett különösen nehézé. A beszámolók után választottuk meg az ESIS elnökét a következő négyéves ciklusra. Az új elnök Alexander Sedmak, a Belgrádi Egyetem professzora, alelnökei: Filippo Berto és Liviu Marsavina, az ESIS titkára Pedro Moreira, aki nem mellesleg az ECF23 szervezőbizottságának társelnöke volt. A választást követően Željko Božić bemutatta a 2024-ben Zágrábban megrendezendő ECF24 szervezési munkáinak helyzetét. Az ECF25 (2026) megrendezésére Athén (Athéni Egyetem) és Sevilla (Sevillai Egyetem) pályázott. A két helyszín közül a jelenlévők többsége szavazással Athént választotta.

6. Összefoglalás

Az ECF23 konferenciát az ESIS – normális körülmények

között – minden második évben megszervezett konferenciáinak sorozatában kivételesen nem a 2018-ban tartott ECF22-t követő második, hanem – a 2020 elején kitört Covid-járvány miatt – az ECF22 utáni negyedik évben tartották, Madeira fővárosában, Funchalban. Jelmondata „*Fracture Mechanics and Structural Integrity*” volt. A konferencia programja 12 meghívott plenáris, továbbá a 20 tematikus szekcióban mintegy 500 előadást tartalmazott. A plenáris előadásokat hét, manapság szakmai szempontból jelentősnek tekintett témakörből válogatták: (1) polimer kompozitok; (2) additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok; (3) ridegtörés; (4) fáradásos öregedés; (5) biomechanikai kérdések; (6) hidrogén okozta elridegedés; (7) feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései. Az előadók az egyes témakörök nemzetközileg nagy reputációval rendelkező kutatói voltak. A prezentációkat magas szakmai színvonal és az előadók közérthetőségre törekvő előadásmódja jellemezte. A szekciókban végzett munkát írásunk második részében mutatjuk be.

Fekete Tamás

Irodalomjegyzék

- [1] Madeira: <https://en.wikipedia.org/wiki/Madeira> (hozzáférés: 2022.09.02.)
- [2] Google térkép: <https://www.google.com/maps> (hozzáférés: 2022.09.02.)
- [3] ifj. Bertényi Iván, IV. (Boldog) Károly, Korunk, 27 8 54–63. (2016)
- [4] François, D., From the European Group on Fracture to the European Structural Integrity Society. Mater Sci 32 531–536 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF02539062>
- [5] ECF23 honlapja: <https://www.ecf23.eu/ecf-history/> (hozzáférés: 2022. 09. 10.)
- [6] Camanho, P., 2022. Prediction of fracture of polymer composite materials across different length scales, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [7] Fatemi, A., 2022. Fatigue and Fracture of Additively Manufactured Metallic Materials and Components, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [8] He, J., 2022. Probing nanoscale mechanical properties of additively manufactured metallic alloys, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [9] Eshelby, J.D., 1951. The Force on an Elastic Singularity, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A 244 87–112. <https://doi.org/10.1098/rsta.1951.0016>
- [10] Eshelby, J.D., 1970. Energy Relations and the Energy-Momentum Tensor in Continuum Mechanics, In: Kanninen, M. F., Adler, W. F., Rosenfield, A. R., Jaffee, R. I., (Eds), Inelastic behavior of Solids, McGraw-Hill, New York, pp. 77-115.
- [11] Eshelby, J.D., 1975. The elastic energy-momentum tensor, Journal of Elasticity, 5 321-335. <https://doi.org/10.1007/BF00126994>
- [12] Maugin, G. A., 2010. Configurational Forces. Thermomechanics, Physics, Mathematics and Numerics. CRC Series: Modern Mechanics and Mathematics. CRC Press Taylor&Francis Group Boca Raton, London, New York
- [13] Steinmann, P., 2022. Spatial and Material Forces in Nonlinear Continuum Mechanics. A Dissipation-Consistent Approach. In: Solid Mechanics and Its Applications 272. Springer Nature, Cham.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-89070-4>

- [14] Wiegand, A., Buchert, T., 2010. Multiscale approach to inhomogeneous cosmologies, Talk presented at the workshop New Directions in Modern Cosmology, Leiden, The Netherlands, 27.9.-1.10.2010. arXiv:1103.1531v1 (Bár a publikáció kozmológiai témájú, az abban felhasznált megfontolások értelemszerűen átemelhetők az általunk ismertetett elméletbe is.)
- [15] Ruggieri, C., 2022. Revisiting Cleavage Fracture Modeling in Steels: From the Griffith Assumption to the Beremin Model, and Beyond, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [16] Leguillon, D., 2022. Finite Fracture Mechanics to predict the initiation of new cracks in brittle materials, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [17] Inglis, C.E., 1913. Stresses in a Plate Due to the Presence of Cracks and Sharp Corners, Transactions of the Institute of Naval Architects 55 219–230.
- [18] Griffith, A.A., 1921. The phenomena of rupture and flow in solids, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A. 221 163-198.
- [19] Orowan, E., 1949. Fracture and Strength of Solids, Reports on Progress in Physics, 12 185-232.
- [20] Irwin, G.R., 1948. Fracture Dynamics, in: Fracturing of metals: a seminar on the fracturing of metals held during the twenty-ninth National metal congress and exposition, Chicago, October 18 to 24, 1947, ASM International, Cleveland. pp. 147-166.
- [21] Irwin, G.R., 1957. Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing plate, Journal of Applied Mechanics, 24 361-364.
- [22] Primas, H., 1998. Emergence in exact natural sciences, Acta Polytechnica Scandinavica 91 83-98.
- [23] Primas, H., 2017. Knowledge and Time, Edited by Harald Atmanspacher. Springer Nature, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47370-3>
- [24] Chen, X. H., Mai, Y.W., 2013. Fracture Mechanics of Electromagnetic Materials. Nonlinear Field Theory and Applications. Imperial College Press, London.
- [25] Beremin, F.M., 1983. A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel, Metallurgical and Materials Transactions A, 14 2277-2287. <https://doi.org/10.1007/BF02663302>
- [26] Bosch, A., Vormwald, M., 2022. Dependence of fatigue life on the sequence of individual load cycles of different amplitudes and mean values explained by fracture mechanics, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [27] Kuna, M., 2022. Simulation of anisotropic thermomechanical fatigue crack growth in nickel base alloys, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [28] Hong, Y., 2022. Revisiting characteristic region description for crack initiation in very-high-cycle fatigue, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [29] Berto, F., 2022. Creating a new generation of functional multi-material fatigue resistant solid-state joints, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [30] Palmgren, A.G., 1924, Die Lebensdauer von Kugellagern. VDI Zeitschrift, 68 14 339–341.
- [31] Miner, M.A., 1945. Cumulative Damage in Fatigue. Journal of Applied Mechanics, Transactions of the ASME, 67 159–164.
- [32] Paris, P.C., Erdogan, F., 1963. A critical analysis of crack propagation laws, Journal of Basic Engineering, 85 4 528–533. <https://doi.org/10.1115/1.3656900>
- [33] Silberschmidt, V.V., 2022. Mechanical behaviour of biomedical materials, presentation, ECF23 Conference, Funchal.
- [34] Zhang, Z., 2022. Void-based predictive framework for hydrogen embrittlement, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [35] Gurson, A.L., 1977. Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth. Part I – Yield Criteria and Flow Rules for Porous, Ductile Materials, Journal of Engineering Materials and Technology 99 2-15.
- [36] Tvergaard, V., 1981. Influence of Voids on Shear Band Instabilities under Plane Strain Conditions, International Journal of Fracture 17 4 389-407.
- [37] Tvergaard, V., Needleman, A., 1984. Analysis of the Cup-Cone Fracture in a Round Tensile Bar, Acta Metallurgica et Materialia 32 1 157-169.
- [38] Tvergaard, V., Needleman, A., 2006. Three Dimensional Microstructural Effects on Plane Strain Ductile Crack Growth, International Journal of Solids and Structures 43 6165-6179.
- [39] Ferro, G.A., 2022. Structural Integrity of prestressed bridges, presentation, ECF23 Conference, Funchal



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA
PUBLIKÁLJON NÁLUNK!

**Írjon szakmai vagy általános
témájú cikket**

az

Anyagvizsgálók Lapjába!

Részletekért látogassa meg honlapunkat,
vagy írjon az alábbi email címek valamelyikére:

info@anyagvizsgaloklapja.hu
avilap.szerk@gmail.com

www.avilap.hu



MAROVISZ 25+ TERVEINK

MAROVISZ 25+ Our plans

Az emberi létezés 25+ éve olyan új kihívásokkal, erőfeszítésekkel és eredményekkel gazdagítják életünket, amelyek elősegítik az egyén stabil beágyazódását az őt joggal megillető szakmai és társadalmi létbe.

Hasonló törvényszerűségek érvényesülnek a szakmai szervezeteknél is. Szövetségünk, a MAROVISZ a 2022. év végén ünnepli megalakulásának 25-ik évfordulóját. A Szövetség mára néhány ambiciózus magánszemély kezdeményezéséből elismert, stabil szakmai, erkölcsi és pénzügyi alapokon nyugvó közösséggé fejlődött. A 25 év alatt folyamatosan az volt a Szövetséget irányítók (vezetőség, elnökség és további aktívák) célja, hogy a tagdíj fejében szolgálja tagjait, igyekezzen megfelelni azoknak az igényeknek, legyenek azok akár szakmai érdekvédelemmel vagy műszaki kérdésekkel kapcsolatosak, amelyeket a tagok támasztanak. Lépésről lépésre haladtunk előre, de saját megítélésünk szerint sem értük el azt a célt, hogy a szervezetünk mindennapi „zsongó piaci” kapcsolatot láttasson, amelyben folyamatosan, dinamikusan érvényesül az „adok-kapok” kapcsolatrendszer.

A 25 éves jubileum jó alkalom lehet arra, hogy számba vegyük azokat a lehetőségeket, amelyek kiaknázása, vagy csak megerősítése olyan többletet ad tagságunknak, amit várnak a vezetéstől, továbbá vonzó lehet azoknak, akik nem MAROVISZ tagok, de a Szövetségben lenne a helyük.

Nézzük meg, melyek azok a területek, ahol tudunk és akarunk többet nyújtani. Talán első helyre tehető a tagsági viszony és a tagdíj. Felül kívánjuk vizsgálni a tagdíj rendszerünket és meg kívánjuk különböztetni az újabban szépkorúnak titulált tagokat. Elképzelésünkben a 70 év jelenti azt a kort, ami felett egyéni tagjainktól csak jelképes tagdíjat fogunk kérni. Továbbá felújítjuk a kezdetben élő tiszteletbeli tagságot. Ugyancsak tovább kívánjuk fejleszteni a mára elismert kitüntetéssé érett MAROVISZ Díj intézményét. Tervezzük, hogy a plakett mellé a díjazott személynek más tárgyi, esetleg pénzjutalmat is fogunk adni.

Ismert, hogy a Szövetség a kiadója az Anyagvizsgálók Lapjának. Ez a folyóirat napjainkra a jelenkor színvonalán jelenik meg és a kezdeti fényében ragyog. Néhány év elektronikus verzió után az idén visszatértünk az elektronikkal párhuzamos nyomtatott verzió kiadásához is, amit mindenki, beleértve mértékadó személyiségeket is, örömmel üdvözölt és igen magasra értékelte úgy a lap tartalmát, mint külalakját. Köszönet önzetlen munkájukért mindazoknak, akik ezzel is segítik Szövetségünket! Miután a kiadás fejlesztése együtt járt korábbi teljes évfolyamok digitalizálásával, ami lehetővé teszi a megújult honlapon történő teljes körű keresést, valamint a tartalmak tematikus keresését és újra szerkesztését, ezért tervezzük a lap tartalmának kettéválasztását. Lesz a tartalomnak olyan része, amihez mindenki, aki rákattint a lapra, hozzáfér és lesz olyan rész, ami csak a MAROVISZ tagjainak nyílik majd meg. Ugyancsak a MAROVISZ tagok juthatnak majd hozzá a lap honlapja teljes tartalmához, a tematikus kigyűjtésekhez és hasonló anyagokhoz. Véleményünk szerint ez az előny csábító lehet a nem MAROVISZ tagoknak és ezért növelheti tagjaink számát. Másképpen fogalmazva: a szakmai szervezet nem csupán kap, hanem kézzelfogható előnyöket is nyújt tagjainak. Hogy milyenek lehetnek ezek az előnyök? A Szövetség és tagság „piaci adok-kapok” szemléletének megerősödésével biztosan ki fog alakulni! Egy biztos, mindkét oldalról aktívnak kell lenni! A kétévenként megrendezésre kerülő seregszemlénken igyekszünk megtartani tagjaink kedvezményes részvételét, de gondolkodunk az ifjú korosztály egyre szélesebb körű bevonásának lehetőségein, valamint szakmai, előadói készségeinek ösztönzésén. Ne feledjük: „Nem csupán a tudásra van szükség, azt el is kell tudni adni!”

Az említetteket csupán gondolatébresztőnek és nem teljesnek tartjuk, de mindenképpen jelezni szeretnénk, hogy a MAROVISZ működését és tagságát olyan híddal szeretnénk összekötni, amelyen a tagság és maga a szervezet egyszerre és mindkét irányba közlekedik. Mindkettő ad és kap valamit! Kérjük Tisztelt Olvasóinkat, tagjainkat, hogy ötleteikkel segítsék felépíteni azt a hidat, amelyen minél többen szeretnének sétálni és ez által egyre szebb kilátásban lehet részünk!

Trampus Péter
a MAROVISZ elnöke



Tóth László
felelős szerkesztő



Támogatás az Ukrán Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség „Műszaki Diagnosztika és Roncsolásmentes Vizsgálat” folyóiratának

Support for the Ukrainian Society for Non-Destructive Testing
Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing journal

Június végén levélben kereste meg a MAROVISZ-t Dr. Oleksander Zelnichenko, a kijevi Paton Hegesztési Intézet publikációs osztályának vezetője. Ez az intézmény az Ukrán Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség „Műszaki Diagnosztika és Roncsolásmentes Vizsgálat” folyóiratának kiadója. A megkeresés oka az volt, hogy támogatást kérjen a lap kiadásához. Az orosz-ukrán háború ugyanis súlyosan érinti a folyóirat kiadását, katasztrofálisan csökken az előfizetések és a hirdetések száma, ami veszélyezteti/ellehetetleníti a lapkiadás folyamatosságát. Dr. Zelnichenko segítséget kért az 1989 óta folyamatosan megjelenő, ukrán nyelvű és angol rövid összefoglalókkal kiegészített, igen színvonalas folyóirat megjelentetésének a biztosításához.

A MAROVISZ elnöksége egyhangúlag támogatta 400 EUR segítség nyújtását. Az összeg fejében egész oldalas hirdetést jelentettek meg a 2022. évi 2. szám hátoldalán. Az egyhangú állásfoglalás magyarázata az volt, hogy az ukrán szövetség, amely szakmai-tudományos alapokon szerveződik, hasonló célokért dolgozik, mint a magyar, továbbá mindkét szövetség ugyanannak az Európai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetségnek (EFNDT) a tagja, amely szintén elhatárolódik a politikai színezetű megnyilvánulásoktól. Emlékeztetünk itt az Anyagvizsgálók Lapja felelős szerkesztője és kiadója korábbi közös nyilatkozatára.

Trampus Péter
a MAROVISZ elnöke

The Hungarian Journal of Materials Testing has been renewed!

Under the leadership of Prof. Dr. László Tóth,
the journal with a quarter of a century of history is renewed.

About the Journal

A quarterly publication of the Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (MAROVISZ).
The journal was founded by György Szappanos in 1991. Before the death of the legendary editor-in-chief, Dr. Kornél Lehofer, MAROVISZ has taken over the journal from the founder.

The aim of the journal

To inform professionals working in the fields of materials testing, instrumental analysis, quality assurance and reliability assessment in various industries.
It connects, through its publications and the editorial office, method and system developers, manufacturers and distributors, developers and users.

Themes of the journal

The Hungarian Journal of Materials Testing publishes peer-reviewed and technical articles, and presents new testing, inspection and modelling methods.
In addition, it provides an introduction to new apparatus, instruments, testing machines, technical diagnostics, computer applications, advanced materials and relevant standards.

Subscriptions are now available,
again in print!
We also look forward to receiving your professional articles,
also in English!

Further information in our website:
www.anyagvizsgaloklapja.hu

Published by MAROVISZ

www.marovisz.hu
1191 Budapest, Lilla str. 206. B/Ill.
+36 1 / 278 0632
marovisz@marovisz.hu

Editor-in-chief: Prof. Dr. László Tóth

avlap.szerk@gmail.com (manuscript submission)
info@anyagvizsgaloklapja.hu
+36 30 / 932 2690

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökei

Presidents of the Hungarian Association for Material Testing

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 hosszasan vajúdást 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 emblematikus 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 -	Biró Gyöngyvér, Dr. habil

A 14 nevet felsorakoztató névsorból lapunk korábbi számaiban már kilenc szakember életének mozzanataival találkozhattak a Tisztelt Olvasók. Most a „vasbeton-építész” egyik kimagasló úttörőjének, Zielinski Szilárd (1860 – 1924) életébe, annak eredményeibe tekinthetünk be. A MAE elnöki feladatát Gállik István Dömötör előtt, 1917 - 1924 között töltötte be, és ő volt Magyarországon avatott első „dr. tech.” cím birtokosa a Magyar Mérnöki Kamara alapító elnöke (1924. március 8.).

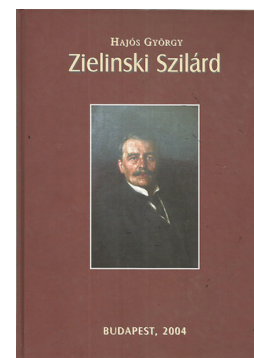
Zielinski Szilárd (1917-1924)

A névre pillantva, azt olvasva azonnal a „lengyel nemzetiségű” gondolat juthat eszünkbe. Aki csak a szakmára gondol, abban a „vasbeton atyja” kifejezés ötlök fel. Mindektőnek igaza van. Édesapja lengyel nemes menekült, aki Debrecenben telepedett le, magyar leányt vett feleségül. Fiuk – a család harmadik gyermekeként – 1860. május 1-jén született Mátészalkán, aki Dabasi Halász Irmával kötött házasságot 1894. december



Zielinski Szilárd¹
(1860. május 1., Mátészalka – 1924. április 28., Budapest²)

1-jén. Életének pillanatai, szakmai munkássága és annak eredményei, társadalmi közéleti tevékenysége kellően dokumentáltak ahhoz, hogy személyiségéről viszonylag gyorsan hű képet kaphasson az érdeklődő^{3,4}. Egyik, talán legteljesebb kép a Hajós György által összeállított, 2004-ben, a (Magyar) Mérnöki Kamara alapításának 80. évfordulójára megjelent 152 oldal terjedelmű könyv⁴ olvasása alapján rajzolható meg.



Hajós Alfréd könyvének borítója⁵

¹ Közkincs: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39291804> (letöltve: 2022.07.20.)

² A WIKIPÉDIA, a Magyar Életrajzi Lexikon április 24-et, Hajós György könyve április 29-ét közöl, a gyászjelentésen és a korabeli megemlékezések április 28-át tartalmazzák.

³ Készítette: Ismeretlen - http://www.sinevilaga.hu/150_eve_szulettett_dr_zielinski_szilard_a_hazai_vasbetonepites_atyja.php

⁴ Hajós György: Zielinski Szilárd, Budapest, 2004

⁵ Hajós György: Zielinski Szilárd könyvének borítója: https://bookline.hu/product/home.action?_v=Hajos_Gyorgy_Zielinski_Szilard&type=20&id=506210 (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)

A könyv olvasása kapcsán kialakuló benyomás és a korabeli szakemberek által publikált gondolati képek teljes átfedése alakul ki bennünk, akár a nekrológot (1924)⁵, akár egy emlékezést (1928)⁶, avagy a síremlék leleplezését olvassuk (1932)⁷ A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye különböző számaiban. Életének grádicsa kissé leegyszerűsítve a következő:

- 1860. május 1., születésének dátuma, Mátészalka, Constantin keresztnévvel bejegyezve. Édesapja: Stanislaus Zielinski, édesanyja Böhm Terézia.
- 1878. június 27-28., érettségi, Budapest II. kerületi Állami Reáltanoda (a gimnázium első osztályát a gyöngyösi Nagygimnáziumban végezte).
- 1878-1884 M. kir. József nádor Műegyetem hallgatója. Itt szerez „kitűnő” minősítéses oklevelet 1884. április 30-án. Közben az 1882/83 és 1883/84-es tanévekben – mai szóhasználattal – „demonstrátor” a Kisfaludi Liphay Sándor vezette tanszéken (vasútépítéstani). Az 1884/85-ös tanévben már okleveles mérnökként látja el ezt a feladatot.
- 1885/86-os és 1886/87-es tanévekben „nagy állami ösztöndíjjal” kétéves tanulmányúton vesz részt Franciország, Anglia és Németország vasútvonalainak, nagyobb hídjainak, nevezetesebb alkotásainak részletesebb műszaki hátterének megismerésére. Párizsban hosszabb időt tölt az Eiffel-cég szerkesztési irodájában.
- 1887-ben visszatérve elfogadja Kisfaludi Liphay Sándor (1886-89 és 1898-1900 között rektor) professzor által javasolt tanársegédi állást. 1891. június 1-ig meghívott előadója az út-vasút építéstan enciklopédiájának.
- 1889-ben megalapítja mérnökirodáját. Ennek szakmai tevékenysége a következő számadatokkal érzékeltethető:
 - 37 vasútvonal (1400 km hosszban) nyomjelzési tervezési munkáinak elkészítése. Ezen belül 7 vasútvonal kivitelezési munkáinak elvégzése.
 - 63 vashíd terveinek elkészítése, amelyből 17 db kivitelezését is irányíthatja.
- 1896-ban, a millenium évében, Ferenc József (Ő császári és apostoli királyi Felsége) császár a koronás arany érdemkeresztrel ismeri el tevékenységét.
- 1896-ban a mérnökgyűlése előterjeszti a megalkotandó Magyar Mérnöki Kamara első tervezetét.
- 1897-ben a M. kir. József nádor Egyetem magántanára, miközben a Magán Mérnökök Országos Szövetségének megalapításában jelentős szerepet vállal.
- 1901-ben újabb legfelsőbb elismerését a szerb király Szent Száva-rend jelvénye követi.
- 1901-ben hazánkban elsőként szerzi meg a dr. tech. fokozatot.

- 1902-ben az egyik párizsi tanulmányútja kapcsán megismerkedik François Hennebique (1842-1921) újonnan szabadalmaztatott vasbeton építési rendszerével és „gőzerővel” tervezi és építi a hazai víztornyok sorozatát.
- 1903-ban a M. kir. József nádor Műegyetem meghívott előadója a vasvázás betonépítés tárgykörben.
- 1906. május 1-től az Országos Középítési tanács tagja.
- 1906. május 5-től a M. kir. József nádor Műegyetem út-vasút-építéstani tanszék nyilvános rendes tanára.
- 1907. szeptember 7-én a M. kir. földművelésügyi miniszter kinevezi az országos vízügyi tanács tagjává. Szeptember 17-én a fővárosi közmunkák tanácsának tagjává választják.
- 1908-ban Lipcse város aranyéremmel tüntette ki. Ugyanilyen kitüntetésben részesült London városától is.
- 1911-ben a Magyar Mérnökök Országos Szövetsége tiszteletbeli tagja és örökös díszelnöke lett.
- 1916-ban a Kisfaludy-Társaság a Széchenyi-lánchíd rekonstrukciója kapcsán végzett munkáját Greguss-jutalommal ismeri el.
- 1917. évi Országos Mérnök-Gyűlésen – ahol Miksa-főherceg (az uralkodó öccse) elnökölt – előterjeszti a Magyar Mérnöki Kamara működtetésére, a mérnöki rendtartásra vonatkozó törvényjavaslatot.
- 1917-ben Ő felsége mérnök-alezredesnek nevezi ki.
- 1920 tavaszán a Magyar Mérnök- és Építészegylet elnökévé választják. Ugyanebben az évben az Országos Középítési Tanács elnöke lett.
- 1921-ben a Közmunkák Tanácsának elnöke. Ugyanezen évben a Magyar Történelmi Társulat tiszteletbeli tagja a Széchenyi-könyvtár megalapítása kapcsán végzett munkájának elismeréseként.
- 1922-ben a nemzetgyűlés elé kerül a mérnökrendtartásra vonatkozó törvényjavaslat.
- 1923-ban a dunai nagy kikötőépítő-kirendeltség (csepei szabadkikötő) kormánybiztosaként tárgyal a francia érdekcsoporttal.



Zielinski Zsolt mellszobra⁸

⁵ Sármezey Endre: Zielinski Zsolt (1860-1924), A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye, 58. évf., 1924, 71. oldal

⁷ Maurer Gyula: Zielinski Zsolt (1860-1924) emlékezete, A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye, 63. évfolyam, 1928, 129. oldal

⁸ Zielinski Zsolt-mellszobor, fotót készítette: Kozma János, Köztérkép: https://www.kozterkep.hu/354/Zielinski_Zsolt_mellszobor_Szeged_2007.html#veto=1656 (Letöltés dátuma: 2022.09.14.)

- 1923. március 24-én kihirdetésre kerül a mérnök-rendtartásra vonatkozó törvény cikk és a Budapesti Mérnöki Kamara megalakulásának lehetősége.
- 1923. április 8-án Magyar Mérnök- és Építész-Egylet tiszteletbeli tagjává választja.
- 1924. március 8-12. között a Budapesti Mérnöki Kamara alakuló ülése Zielinski Szilárdot elnökévé választja.
- A megfeszített munka és a sokrétű tevékenység már korábban is egészségügyi problémákat okozott számára és 1924. április 28-án a végzet 64 éves korában elszóltotta az élők sorából.
- 1924. május 3. Tiszteletbeli utolsó útjára kísérik a „keresepesi út melletti temetőbe” (Fiumei Úti Sírkert, Fiumei úti temető, Kerepesi temető...).
- 1932. október 16. A Wälder Gyula által tervezett síremlékének leleplezése⁹, amelyen helyet kap a Bory Jenő mintázta hatalmas méretű bronzarckép is. A méltatást Forster Gyula államtitkár, a síremlékbizottság elnöke tartotta.



Zielinski Szilárd síremléke a Fiumei úti temetőben¹⁰

Tervezte: Wälder György

Dombormű: Bory Jenő, építészmérnök-szobrászművész

Ha csupán szavak, mondatrészek halmazával kellene jellemezni Zielinski Szilárdot, a szakembert, az egyetemi tanárt, akkor biztosan megtalálhatók lennének a következők: kiváló képességű, kitartó, következetes a végletekig, megalkuvást nem ismerő, kiváló előadó, hallgatóival lojális, az újat „zsigerből” felismerő, vasakaratú, tudós professzor, aki hisz a közösség erejében.

Munkásságának eredményei, szakmai írásként jegyzéke Hajós György könyvében megtalálhatók. Jelen emlékdézőben csupán a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közleményében közölt cikkei és méltatások szerepelnek az irodalomjegyzékben.

Tóth László

Magyar Mérnök- és Építész-Egylet közleményeiben közölt cikkei és méltatások¹¹: (Év/Évf/Füzet, Oldal, Cím)

- [1] 1886/20/7, 401-417., München város csatornázása.
- [2] 1888/22/1, 12.jan., A párizsi 300 m magasságú torony erőtanisimertetése I.
- [3] 1888/22/2, 49-60., A párizsi 300 m magasságú torony erőtanisimertetése II.
- [4] 1888/22/3, 97-109., A párizsi 300 m magasságú torony erőtanisimertetése III.
- [5] 1888/22/5, 206-222., A vágánykapcsolások számító módja I.
- [6] 1888/22/6, 251-271., A vágánykapcsolások számító módja II.
- [7] 1890/24/3, 171-186., Ajánlat az alsó Dunán Ó-Moldva és Turnu-Severin közt levő hajózási akadályok elhárításának módszerére.
- [8] 1901/35/9, 473-507., Budapest forgalmi viszonyainak rendezése I.
- [9] 1901/35/10, 537-565., Budapest forgalmi viszonyainak rendezése II.
- [10] 1902/36/11, 490-494., Megjegyzések Schustler Józsefnek "A hazai portland- és románcementek szaporasága" című közleményére.
- [11] 1902/36/12, 530-534., Megjegyzéseim Schustler József válaszára.
- [12] 1902/36/12, 529-530., Schustler József: Válasz Zielinski Szilárdnak ... megjegyzéseire.
- [13] 1913/47/13, 213-219., A mérnöki kamara-törvény Ausztriában (Marton Viktor előadása és Zielinski Szilárd hozzászólása).
- [14] 1917/51/16, 153-155., A mérnökök és építészek rendtartása Ausztriában és nálunk.
- [15] 1917/51/27, 248-252., Országos Mérnökgyűlés Budapesten 1917. június 29-én a kir. József Műegyetem aulájában (Kürschák József, Miksa főherceg, Kájlínger Mihály, Glasner Antal, Zielinski Szilárd beszéde).
- [16] 1919/53/11, 81-81., br. Beocsini Ohrenstein Henrik
- [17] 1920/54/1, 05.jan., Tisztújító rendkívüli közgyűlésünk 1919. december 19-én (Jász Dezső alelnök, Zielinski Szilárd új elnök beszéde).
- [18] 1920/54/34-37, 131-134., Zielinski Szilárd közgyűlési megnyitó beszéde 1920. június 5-én.
- [19] 1921/55/15, 91-94., A Fővárosi Közmunkák Tanácsa által a budapesti Építésügyi Szabályzattal szemben megállapított könnyítések.
- [20] 1922/56/18, 143-144., Lósy-Schmidt Ede: A Magyar Történelmi Társulat Zielinski Szilárdnak.
- [21] 1922/56/19, 151-153., Zielinski Szilárd elnök közgyűlési megnyitó beszéde március 19-én.
- [22] 1923/57/19-20, 73-78., Közgyűlési beszédek március 20-án (Zielinski Szilárd, Hermann Miksa, Buday Béla, Viczián Ede, Edvi Illés Aladár beszédei, felszólalásai).
- [23] 1924/58/14-16, 53-58., A Budapesti Mérnöki Kamara megalakulása (Zielinski Szilárd, Chatel Vilmos, Buday Béla beszéde).
- [24] 1924/58/17-20, 69-70., A BMK közleményei: Zielinski Szilárd
- [25] 1924/58/21-22, 71-74., Sármezey Endre: Zielinski Szilárd (1860-1924).
- [26] 1928/62/21-22, 129-132., Maurer Gyula: Zielinski Szilárd (1853-1924) emlékezete.
- [27] 1932/66/47-48, 277-278., Zielinski Szilárd síremlékének leleplezése.

⁹ Zielinski Szilárd síremlékének leleplezése, A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye, 66. évf., 1932, 277. oldal

¹⁰ Zielinski Szilárd síremlékének fotója, készítette: Csuha István, Köztérkép: <https://www.kozterkep.hu/7059/zielinski-szilard-siremlake#vetito=59272> (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)

¹¹ Forrás: Arcanum adatbázis: <https://adt.arcanum.com/hu/search/results/?list=eyJmaWw0ZXJzljogeyJDT0wiOiBblk1hZ3lhck1lcm5vayJdfSwgInF1ZXJ5JlogInpp-ZWxpbnNraSBZemlsXHUwMGUxcmQifQ> (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)

Emlékezzünk! – Egy évtizede hunyt el Prohászka János

Let us remember! - A decade since the death of János Prohászka

Páczelt István gondolatai

Személyesen először 1987-ben találkoztam Prohászka Jánossal, az MTA Műszaki Osztályának ülésén. Neve természetesen már korábban is ismert volt előttem, mivel több miskolci kollégámnak volt aspiránsvezetője, akik segítségével, vezetésével védtek meg sikeresen kandidátusi disszertációjukat. A miskolciakkal való szorosabb kapcsolata már a 70-es években kialakult. Valamennyi aspiránsa szeretete, tisztelte. Dicsérték problémaérzékenységét a témák kijelölésében, tudományos igényességét, ugyanakkor segítőkészségét a legjobb megoldások megkeresésében. Nagyra becsülték azért a felelősségvállalásért, amellyel fiatal kollégái szakmai-tudományos munkásságát egyengette, és azért a tanító-tanítvány közötti, szinte atyai-baráti kapcsolatért, amely a legtöbbjükhöz fűzte Őt.

Magam sokszor megtapasztalhattam bölcsességét, széleskörű tudását, a problémák lényegre törő megoldását célzó gondolkodását a Gépész-Kohász Szakcsoport általa vezetett ülésein, majd később osztályelnöki feladatainak körülmekintő ellátásában is.

Széleskörű érdeklődésére jellemző, hogy például a szaknyelv helyes használata is foglalkoztatta. A Magyar Tudomány 1999. októberi számában a Tudomány-technológia-technika: hagyományos és (leg)újabb értelmezésnek tematikájáról értekezett. Gondolatait ekképp zárta: „A fentiekkel arra szerettem volna rámutatni, hogy az idegen szavaknak nemcsak túlzott elterjedésével, hanem következtelen, tisztázatlan használatával is gondjaink vannak. Ajánlatos lenne ezekben a kérdésekben a szakembereknek egyetértésre jutniuk, mert e pontatlanságok további nehézségeket okozhatnak.”

Gyakorta megfordult Miskolcon. Néhány alkalommal Műszaki Osztályunk kihelyezett ülésére is eljött.



2005. április 28. MTA-Miskolci Akadémiai Bizottság székháza, Műszaki Osztály ülése

Feledhetetlen emlékem, hogy az akadémiai rendes tagságról szóló oklevelet Tőle vehettem át „A numerikus mechanika szerepe a mérnöki gyakorlatban” címmel megtartott székfoglaló előadásom után 1996. február 26-án Miskolcon.

Nagy figyelemmel követte volt tanítványainak életét, így örömmel vett részt Dr. Tóth Lászlónak a BAY-LOGI akkori igazgatójának 60 éves születésnapi köszöntésére rendezett konferencián.



BAY-LOGI, 2006: Jobbról-balra: Prohászka János, Biró Gyöngyvér, Páczelt István, Tóth László

A 80. születésnapja alkalmából tiszteletére rendezett „Anyagszerkezeti modellek és a kontinuummechanika” c. szemináriumon – 2000. április 26-án az MTA-Miskolci Bizottsága székházában – tanítványai mellett jómagam is köszönhettem „Numerikus módszerek a kontinuummechanikában” címmel megtartott előadásommal.

Magyarpolányban élt az ott bekövetkezett haláláig, csendesen, „visszavonultan”, de alkotókészségét, a szakma iránti érdeklődését életének utolsó percéig megtartva. Még 80 éven felül is kutatott. Noha egészen más tudományterületeken dolgoztunk néhányszor megkért kutatásaival kapcsolatos cikkek, könyvek beszerzésére, elküldésére. Kérését örömmel teljesítettem. Nagysikerű könyvének (Bevezetés az anyagtudományba I., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002) újabb kiadásában is gondolkodott. Az átdolgozáshoz kérésére, néhány – a legújabb kiadású angol nyelvű szakirodalomból tanszéünkön fellelhető – könyvet küldtem részére. Sajnos munkáját hirtelen halála miatt már nem tudta befejezni. Remélhetőleg ifjú utódai ezt megteszik.

Dr. Tóth László barátommal, professzortársammal 2012. április 27-én köszöntöttük 82-dik születésnapja alkalmából. Remek hangulatban találtuk, büszkén mutogatta magyarpolányi „birodalmát”, a gyönyörű házat, kertet, a lakását, beszélt kutatásairól. Felejthetetlenül szép nap volt. A mellékelt képek erről tanúskodnak.



A 82. születésnap Magyarpolányban

Köszönöm a sorsnak, hogy személyesen is ismerhettem Prohászka Jánost, a nagy tudású kollégát, a kiváló tudóst, a kedves, szerény embert, aki immáron éppen egy évtizede nem lehet közöttünk. Mondataiba, mozdulataiba fagyott emléke máig is tisztán él emlékezetemben.

Toth László gondolatai

Gondolataim rendezéséhez leültem a számítógép elé és azonnal a Prohászka János partecédulája jelent meg előttem. Erre rápillantva gondolataim halmaza tödult fejembe.

„Ne tételezzünk fel több okot a természeti dolgokban, mint amennyi igaz és elégséges a jelenségek megmagyarázására.”
(Newton)

Családja, a Magyar Tudományos Akadémia, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Miskolci Egyetem és a 803. Nagybologasszony Cserkészcsapat mély fájdalommal tudatja, hogy

Dr. Prohászka János,

az MTA rendes tagja, a BME egykori professzora
Rockwell, Állami és Széchenyi-díjas akadémikus, gépészmérnök, egyetemi tanár,
az anyagtudományok kutatója

2012. október 22-én, életének 93. évében hirtelen elhunyt.

Halálával pótolhatatlan veszteség érte a magyar tudós- és mérnöktársadalmat.
A kitűnő tudós emlékét szívünkben örökre megőrizzük!

Búcsúzik tőle fia, unokái, dédunokái, rokonai, barátai, munkatársai és tanítványai.

Temetése 2012. november 10-én, szombaton 14 óra 15 perctől a Farkasréti temetőben

(1124 Budapest, Németvölgyi út 99.) lesz.
Lelki üdvéért engesztelő szentmisét tartunk 2012. november 10-én 18 óra 30 perckor a nagytétényi Nagybologasszony templomban (Budapest XXII. kerület, Nagytétényi út 286.).

Távírat cím: Prohászka János, 1101 Budapest, Pongrácz út 15. E-mail: csalad@prohaszka.hu

„S a tündősi néma borulásokban megismogajja a fát az álmodat, az erdők és
mezők, az életet a temetőket a virágos kalap, meleg kezű, bús magyar ócs.”
(Fekete István)

Prohászka János gyászjelentése

Agyamon átfutott az első találkozásunk tanszéki szobájában, ahol ott ült akkori tanszékvezető professzorom is, Romvári Pál, aki kérte János Bácsit (sokunk életébe ezzel a névvel – is – beégette magát), legyen aspiránsvezetőm, mert olyan dolgokba „kaparta be magát ez a fiú, amihez te sokkal jobban értesz”. E történet valamikor az 1970-es évek második felének kezdetén volt. Folytathatnám, ahogyan felbandukoltam két bőröndnyi irodalommal az Erzsébet hídon át a Naphegy utcára 1978 nyarán „A törési folyamatok anyagszerkezeti vonatkozásai” címmel készülő kandidátusi disszertáció és várható téziseim első változatának átbeszélésére, megvitatására. Az a néhány nagyon kemény nap (4-5) volt életem azon periódusa, amikor átértezhettem, hogy egymástól korban, tudásban, beosztásban nagyon távol álló emberek gondolköre miképpen közeledik fokozatosan egymáshoz és alkothat a közös egység mellett emberi közelséget is.

Beszélgetéseink mindig reggel korán kezdődtek, délben pedig – amúgy rövidnadrágosan – a tanszéki aláírások elintézésére került sor, délután pedig az 1978-as futball VB meccseinek nézése jelentette a „megfeszített munka” oázisát. Beszélgetéseinket a „munka” kifejezéssel jellemeztem, mert valóban az volt. Minden felhasznált irodalmat (emlékeim szerint 148 darabot – 2 bőrönd) magammal kellett vinnem, bármikor is hivatkoztam valamire, azt meg kellett nézni, és kölcsönösen be kellett illeszteni szűkebb-bővebb, de már közös szakmai ismerethalmazunkba. Sokszor „nem volt egyszerű” a közös halmaz kijelölése, de mindig szakmai alapokon, érveken át jutottunk eddig a pontig. És ez a folyamat, a közös cél elérésének mikéntje lett az alapja annak az emberi kapcsolatnak, amelyet mindketten követtünk. János Bácsi tehette ezt mintegy 35 éven át, jómagam pedig teszem ezt napjainkban is. Szakmai, emberi kapcsolatunkat elindító és megalapozó disszertáció 1980-ban került beadásra, ahol Prohászka János neve mellett „az MTA levelező tagja” minősítés szerepelt. A sok közös élményből egyet kiragadva.



Herkulesfürdői emlékek 2004-ből a Sissi-fotelban átélve



Prohászka János kötődése a miskolci szakemberekhez jóval meghaladta az átlagos szintet. A 80. születésnapját az MTA MAB Székházában ünnepeltük [1]. Mindhárom aspiránsa a Romvári Pál professzor vezette tanszék munkatársa volt. Egyike Tisza Miklós (1949-2021), másika pedig Nagy Gyula (1950-2020). Sajnos már mindketten az emberi lét azon térfelén vannak, amelyre egy évtizede Prohászka János is lépett.

Prohászka János születésének centenáriuma fia, ifj. Prohászka János létrehozta édesapjának tiszteletére a „Dr. Prohászka János Alapítvány”-t. Megtisztelő számomra, hogy kuratóriumában a családot képviselve elnökként vehetek részt. Terveink között szerepel Prohászka János életművének feldolgozása, nyilvánossá tétele mind a szakmai, mind pedig közéleti tevékenységét illetően. Ehhez egyrészt a hagyaték, másrészt az irodalomjegyzékben szereplő ismeretekre lehet támaszkodni [2-7].



A tanszéken
(Dobránszky János
szívésségéből)

Páczelt István és Toth László

Irodalomjegyzék

- [1] Toth L.: Prohászka János akadémikus 80 éves. Anyagszerkezet-tani modellek és a kontinuummechanika. Prohászka János akadémikus 80. Születésnapja alkalmából. II. Országos szeminárium. Miskolc, április 26-27.
- [2] Toth L.: A fémek tudós professzora. Prohászka János akadémikus 90 éves. Technika. 2010/3. p.13-14.
- [3] Toth L.: Prohászka János 90 éves. Gép 2010/1-2. Szám. Melléklet.
- [4] Toth L.: Prohászka János, akadémikus (1920-2012). Anyagvizsgálók Lapja, 2012/4. p.80-82.
- [5] Dobránszky J.: Búcsúunk Prohászka Jánostól (1920-2012). Hegesztéstechnika 2012/4.
- [6] Dobránszky J., Szabó P.J., Toth L., Verő B.: Emlékezés Prohászka János, az MTA elhunyt tagja felett. Magyar Tudomány 2020/9 p. 1249-1256.
- [7] Toth L.: Prohászka János születésének centenáriuma. Anyagvizsgálók Lapja. 2020/1. p.44-57.

100 éve született Németh Emil (1922-1981)

Emil Németh (1922-1981) was born 100 years ago

Édesapám, Németh Emil 1922. november 28-án született a Sopron-megyei Ivánban iparos családból, szülei negyedik gyermekeként. Az akkori szokásoknak megfelelően, őt is, mint legkisebb gyermeket, taníttatták. Elemi iskoláit a faluban végezte, de tíz évesen egy szívbetege következtében évvessztes lett. Így már túlkorosnak számítva jelentkezett a soproni Széchenyi István Állami Gimnáziumba, reál tagozatra.

Bejáró volt, hiszen abban az időben jó vasúti közlekedés volt Sopron felé. Sajnos, ez már megszűnt, de az egykori vasútállomás maradványait még láthattuk, mikor unokánknak bemutattuk ezt a vidéket. Sopron számára sokat jelentett, hiszen ide kötötte a fiatalsága, nemcsak a gimnázium, hanem az egyetemi tanulmányok is. Az érettségi után a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Kohómérnöki Karára nyert felvételt, ahol 1948-ban szerezte meg az oklevelét. A kötelező szakmai gyakorlat során a timföldgyártási üzem is szóba került, mint leendő munkahely, de mégis a diósgyőri vaskohászat „győzött”, pedig ezért el kellett költözni a szeretett Dunántúlról... Szüleim 1948. karácsonyán kötöttek házasságot és nagy elhatározással az ország másik végébe költöztek. Édesanyám is bejáró diák volt, a Soproni Tanítóképzőben a közeli Petőházáról; ő a Diósgyőr-vasgyár egyik általános iskolájában kapott munkát. Úgy emlékszem, nagyon nehezen szokták meg a miskolci életet, a közlekedés pedig nagyon nehézkes volt, de a nagyobb baj a szigorú határsáv életbe léptetése volt.

Iskolai éveitől kezdve Édesapám szeretett festegetni, elsősorban akvarell technikával, de néha olajjal is, elsősorban tájképeket. Sopronról több képet is készített, amit a család szeretettel őriz. Ez a vonzalom később is megmaradt, de már kevesebb idő jutott rá. Érdeklődve figyelt minket, engem és öcsémet, van-e hajlamunk a rajzoláshoz, festéshez. Csalatkozni kellett, de a dedunokai generációban valami megmozdult, egyik lány unokánk szépen és örömmel festeget...



Németh Emil festménye: A soproni Kecse-templom

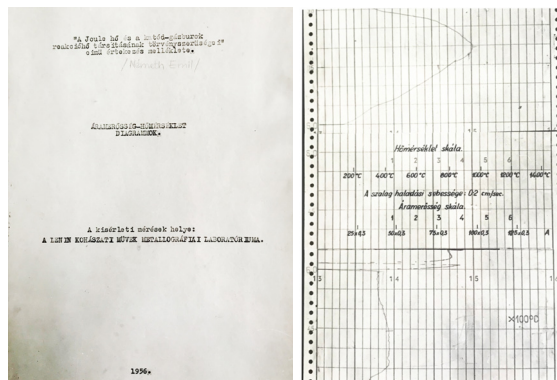


Németh Emil
(1922-1981)

1948-tól a diósgyőri nagykovácsműhelyben volt kezdő mérnök, ahol sikeresen oldotta meg a vasúti kerékbronsok elektromos fűtésű harangkemencében történő hőkezelését. Itt rövidesen a gyáregység vezetőjének nevezték ki. Nagyon szerette a villamosságtant, ill. mindent, ami ezzel összefüggött.

1952-ben került áthelyezéssel a gyár Metallográfiai Osztályára. Itt elsősorban kutatással, kísérletezéssel foglalkozott, pl. az acélok olvadt sókban történő gyors hevítését tanulmányozta. Négy év munka után kandidátusi értekezést nyújtott be az elektrolitos hevítés törvényszerűségeinek feltárása témában.

(Pontos cím: „A Joule-hő és a katód gázburok reakcióhő társításának törvényszerűségei”). Az 1956-os forradalom kitörése előtt megkezdődött az eljárás, kijelölték a bírálókat, az értekezés megvédésére azonban nem került sor, mivel bírálója a forradalom idején külföldre ment. Ő pedig később már nem kezdeményezte a védést...



Németh Emil disszertációjának kísérleti részének a címlapja és egy oldala: Hőfok-áramerősség diagram

1957-től a Metallográfiai Osztály vezetője lett, az Osztály munkáját egészen haláláig irányította. Az utolsó években egyben a főmetallurgus helyettese is volt. Vezetői tevékenységére jellemző volt, hogy az anyagvizsgálatot, mint eszközt tekintette valamilyen termelési, innovációs cél érdekében. Irányítása alatt számos mérő- és vizsgálóberendezéssel gyarapodott az anyagvizsgálat pl. dilatometer, automatikus Jominy-vizsgáló készülék. A hazai ipari gyakorlatban elsőként szerzett be és alkalmazott transzmissziós elektronmikroszkópot anyagszerkezeti vizsgálatokra. Kifejlesztette és a gyakorlatban megvalósította az acélok mágneses repedésvizsgálatát, valamint a termékek ultrahanggal történő ellenőrzését. Igazi műszakiként, állandóan kereste, kutatta az anyagok, acélok tulajdonságait. Példának említhető a börtartalmú acélok vizsgálata, biztonságos gyártásának kidolgozása, e téren is jelentős gyártmányfejlesztési munkát végzett.

Napi munkáján kívül sok időt fordított a szakirodalom tanulmányozására. Igyekezett a tudományos

eredményeket minél gyorsabban az ipar számára hasznossá tenni. Erről tanúskodik szakmai cikkeinek nagy száma. Ezzel kapcsolatban a családi emlékezet megőrizte azt az esetet, hogy amikor az óvó néni megkérdezte az óvodában a csoportomat, hogy mi édesapánk foglalkozása, egy négy éves büszkeségével vágtam rá: „Írás, olvasás”...

A felelősségteljes és lelkiismeretes gyári munkája mellett foglalkozott a fiatal kohász generációk szakmai képzésével is. Alapvetően nagyon szeretett tanítani. Oktatóként dolgozott a Miskolci Egyetem Fémteni Tanszékén, de szívesen vett részt középiskolások, szakmunkások oktatásában is. A tanszéken évekig előadója volt az „Anyagvizsgálat”, és a „Hőkezelés” című tárgyaknak. Több jegyzetet is írt az egyetemisták számára: 1961-ben „Acélok és öntöttvasak hőkezelése” című jegyzete jelent meg, illetve 1964-65-ben „Az acélok hőkezelő berendezései I. és II.” című jegyzet látott napvilágot, amelyet az akkor induló hőkezelő szakmérnöki szak hallgatói számára írt.

1960-ra sikerült felépítenünk a családi házunkat, ami nagy változást hozott mindannyiunk életében, hiszen a több éves társbérlet után tudtuk birtokba venni. Az egész család szeretett a kertben kertészkedni, de Édesapám leginkább a virágoskertet szerette, kedvenc virágai a fehér rózsza és piros tulipán voltak. Szeretett utazni, az élet nagy ajándékának tartotta, hogy a világ sok tájára eljutott hivatalos útjai során. De magánemberként Édesanyámmal is sokfelé tudtak elutazni, ilyenkor nagyon szívesen használta a német és olasz nyelvet. Az utazások során szenvedélyesen fényképezett. A filmeket az otthoni „laborban” hívtuk elő ketten, engem is megtanított az előhívás fortélyaira. Mikor az unokák is megérkeztek a családba, akkor



Németh Emil utazása során, Athénban, az Akropoliszról készített fényképe

rendszeresen filmen dokumentálta a fejlődésüket. Igazi diósgyőriként, drukolt a DVTK-nak, sokszor elmehettem vele a stadionba a focimeccsre.



Németh Emil Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában c. könyvének könyvborítója

Igazán büszke volt és nagyon örült, amikor lehetősége nyílt egy „igazi” szakmai könyv írására. Rengeteget dolgozott vele, minél jobbat akart alkotni. Azonban fiatalon felőrölte gyógyíthatatlan betegsége, de szinte az utolsó percig dolgozott. „Az acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában” című könyvének lektorálása még halála előtt megtörtént. Még láthatta a könyv kötéstervét, amit a grafikussal a kórházi ágyán meg tudott beszélni, de kiadását (Műszaki Könyvkiadó Bp. 1981.) sajnos, már nem élte meg. 1981. május 30-án, életének 59. évében fejezte be földi életét.

Mindkét gyermeke a műszaki pályát választotta. Öcsém, Ákos gépészmérnök lett, magam pedig kohómérnökként a Miskolci Egyetem Kémiai Tanszékén dolgoztam. A sors érdekes története volt, hogy doktori munkám az acélok börtartalmának meghatározásához kapcsolódott. Így úgy érezhettem, hogy figyel munkámra odafentről is.

Dr. Kovácsné Dr. Németh Livia

A diósgyőri anyagvizsgálat története

The history of materials testing in Diósgyőr

Kovács Károly

1. Bevezetés

A diósgyőri anyagvizsgálat egyidős a diósgyőri kohászattal. A diósgyőri kohászat történetéről számos könyv jelent már meg. Kriston Béla, Porkoláb László és Boros Árpád könyvei még ma is hozzáférhetőek [1-7]. Ezek a szerzők írói, történészi, ill. gazdasági vezetői szemmel mutatják be a diósgyőri kohászat hosszú történetét, így kevés anyagvizsgálatra/anyagtudományra utaló adatot tartalmaznak ahhoz, hogy 250 év anyagvizsgálati tevékenységét bemutathassam. Ezért veszem a bátorságot, hogy az utolsó 50 évi saját tapasztalatomra alapozva próbálom bemutatni és értékelni nagyszerű elődeim tevékenységét. Dr. Tóth László professzornak külön kérése volt, hogy Németh Emilről (aki az apósom volt) bővebben írjak, mert tudta, hogy ebben az évben lenne 100 éves. Úgy gondoltam, hogyha bővebben kéri és személyes dolgokra is kíváncsi, akkor ezt a részt a lánya tudja leginkább bővíteni. Ez szakmailag is elfogadható, mert ellentétben velem, ő is kohómérnök és bár apósomhoz nem tartozott a vegyészet, de feleségem egész munkás életét a Miskolci Egyetem Analitikai Kémiai-, majd a tanszékösszevonás után a Kémiai Tanszéken töltötte és annak vezetőjeként ment nyugdíjba.

1.1 A diósgyőri kezdetek

A kohászati tevékenység elindítója Fazola Henrik volt. Fazola egy neves würzburgi lakatosmester volt, akit több magával Barkóczy Ferenc – püspök és két vármegye főispánja – városfejlesztésre hívott püspöki székhelyére, Egerbe. Fazolát a városháza, a püspöki és más paloták kovácsoltvas kapuinak elkészítésével bízta meg. Ezek a munkák meggazdagodva Fazola nem egy másik városba ment hasonló munkákat vállalni, hanem 1765-ben kohászati tevékenységbe fogott Ómassán. A szakmaváltásának az lehetett az oka, hogy nehezen tudott megfelelő mennyiségű és minőségű acélhoz jutni, mivel a vasgyártó üzemek a Felvidéken voltak. A bátorságot, hogy saját befektetéssel a lakatostól eltérő tevékenységbe kezd, onnan vehette, hogy abban az időben az ipari tevékenységekhez mesterségbeli tudás kellett és úgy gondolta, hogy ennyi gyakorlat után ezt is könnyen elsajátíthatja. Ahhoz, hogy Ómassán ilyen tevékenységbe kezdhesen, Mária Terézia királynő engedélye kellett, mivel Diósgyőr és környéke királyi birtok volt. A kérvény jó időben érkezett a királyi udvarhoz, hiszen a királynő 1762-ben emelte akadémiai rangra az 1735-ben alapított bányászati-kohászati tanintézetet Selmecbányán, így a diósgyőri

tevékenység támogatása egy átfogó innováció része lett. 1770-re elfogyott Fazola pénze és felszámolás helyett újra a királynőhöz fordult, aki a biztató eredmények után 1770. július 28-án megalapította a Diósgyőri Kohászatot (1. ábra). A hagyományörző kohászok ezt a dátumot tartják a gyár alapításának. Ez azért is volt célszerű, mert így meg lehetett ünnepelni a jeles „születésnapokat”. Egy 1910-es vállalati évkönyv a gyár történetét 1765-től vezeti, ami viszont megegyezik a kohászati tevékenység, így az anyagvizsgálat kezdetével. 250 év távlatából elmondható, hogy a kohászati ismeretek tudományossá válása és a diósgyőri kohászati fejlesztések kezdete egy időre esik.

A diósgyőri kohászati tevékenység 1765-ös indulása és a selmecbányai tanintézet akadémiai szintre emelése 1762-ben jó lehetőséget nyújt arra, hogy a kohászati anyagtudomány/anyagvizsgálat fejlődéséhez, mint mércehez viszonyítva mutassam be a diósgyőri anyagvizsgálat/anyagtechnológia történetét. Az emberi cselekvés célra irányul és akkor racionális, ha oksági kapcsolat van az alany, az indíték, a feltételek, a cselekvés és a következmény között. A cselekvést az alany indítja be, az ő ismeretei, személyisége, viselkedése meghatározó a cselekvés célja és a következmény minőségénél. Ezért egy-egy fejlesztési periódus meghatározó anyagvizsgáló/anyagtudományos személyein, az alanyokon keresztül mutatom be a diósgyőri anyagvizsgálat történetét. Ezen kapcsolatok feltárása/megismerése bőséges kutatási feladatot adott a vállalat és az akadémia számára egyaránt.

1.2 A Selmecbányai Akadémia indulása

A tudomány lényeges eleme, hogy a jelenség megismerésére törekszik, annak magyarázatát a legáltalánosabb elvekre igyekszik visszavezetni és megismétlésére, létrehozására törekszik. Egyértelmű volt, hogy a vas és acélgyártás esetén az általános törvény, amivel magyarázni lehet a jelenséget – ezzel tervezhetővé tenni a folyamatot – a kémia volt. Ezért lett N. Jacquin híres vegyész az akadémia első professzora, a Kémia-Kémlészet-Kohászat tanszék alapító vezetője, mivel az új tudományhoz a kémi-

ai folyamatok ismeretére és korrekt mérési eredményekre volt szükség. Tehát arról az időről van szó, amikor a mesterségbeli tudás tudományossá kezd válni, a kutatóra váró problémák a mindennapi életből, gyakorlatból származtak. Érvényes tehát mind a kutatóra, mind az ipari szakember számára a kutatás azon leírása, hogy az élet a megismerő alanyt probléma elé állítja és arra sarkallja, hogy új ismeretekkel gyarapítsa elégtelennek bizonyult tudását. Az új ismeretekről



1. ábra: Alapító okirat

azt várja, hogy jobb tájékozódást nyújtanak, ezáltal eredményesebbek lesznek. Ezt a királynő is tudta, ezért az akadémia feladatául tette, hogy a bányák és a kohászati üzemek problémáival kell foglalkozni és ezt tudtára adta az üzemeknek is.

Az anyagtudományos felismerések egy szűk skálája az alábbi lehetne:

- 1775: Réaumur R. felismeri a vasöntvények anyagában a grafitot,
- 1820: Widmannstätten A. a meteoritvas maratott csiszolatán megfigyeli a kristályos szerkezetre utaló, később róla elnevezett rajzolatot,
- 1864: Sorby H. C. kidolgozza a fémcsiszolat készítés módszerét,
- 1860-as évek bizonyos vizsgálatokat szabályozott helyiségekben (laboratóriumokban) végeznek az üzemi környezettől távol,
- 1869: Mengyelejev D. publikálja az elemek periódusos rendszerét,
- 1880: Martens A. tökéletesíti a mikroszkópos vizsgálat módszerét,
- 1900: Brinell-féle keménységmérés kezdete,
- 1900: megjelenik az első gyorsforgácsoló acél (W18%, Cr4%, C1%),
- 1930: Bain E. izotermikus C-görbét szerkeszt,
- 1955: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle megjelenik,
- 1960 Hume-Rothery W. megszerkeszti a ma ismert Fe-C egyensúlyi diagramot.

1.3 A diósgyőri kohászat története anyagtudományi/anyagvizsgáló szempontból

Egy gyár tevékenységének eredménye a termék, ami természetesen anyagból készül, ez esetünkben vas, ill. acél. A termékeknek és az alapanyagoknak is vannak természetes és funkcionális tulajdonságai. A cél az, hogy arra a funkcióra, amire szánták, ne csak alkalmas legyen, de a felhasználó elégedett is legyen vele. Ehhez ismerni kell a természetes és funkcionális tulajdonságokat és a közöttük lévő kapcsolatot, ami a helyi adottságoktól is függ, ezért minden üzemnek magának kell kidolgozni ezeket.

Diósgyőrben 1770-ben a műszaki teljesítmény legalább átlagos kellett legyen, ellenkező esetben nem vette volna meg a királyi udvar. Ahhoz, hogy 250 év diósgyőri történetét elemezzük, a fejlődés függvényét a tudomány fejlődéséhez célszerű mérni.

A tudományos ismeretek függvénye folytonos (bár tudjuk, hogy önkorrekciós módon fejlődik) és általában monoton növekvő. A gyár fejlődésének függvényén a monotonitás időnként megszűnik, sőt, szakadások is lehetnek benne. Ezek a monoton növekvő szakaszok generációs léptékben vizsgálhatók. Egy-egy generációnyi fejlődési szakaszra

mindig jellemző, hogy van egy olyan meghatározó személy, aki a tudományban naprakész és mind a vezetésre, mind a dolgozókra/beosztottakra olyan hatással van, hogy az eredmény tartósan garantálható. Egy vállalatnál az a vezető, akit érdemes megkérdezni, ha problémád van. A főnök pedig az, akit kineveznek. Ez nem mindig esik egybe, de ha ugyanaz a személy, akkor a vállalat sikeres. Ez persze csak a belső vállalati dolgokra igaz.

Ismereteim szerint anyagtudományi/anyagvizsgáló szempontból az alábbi korszakok kiemelkedőek és mind-egyiknek ismert a meghatározó vezetője, akihez az elért eredmények köthetők:

- 1770-1817: Fazola Frigyes
- 1870-1920: Friedmann Arnold
- 1901-1932: Fábry Zsigmond
- 1933-1948: Mester István
- 1956-1981: Németh Emil

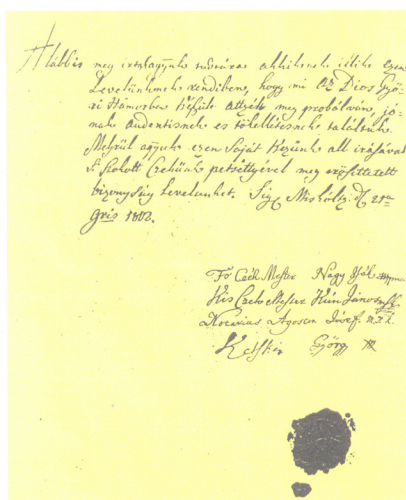
1.4 Fazola Frigyes (1774-1849) tevékenysége és hatása

Édesapja Fazola Henrik, aki 1779-ben hunyt el. A gyermek Frigyes édesanyja a kohászat felé orientálta, mivel ezzel a vállalkozással ment el a család vagyona és azt remélte, hogy fia ezen az úton szerezheti vissza. 1794-ben az apjára való tekintettel felvették a Selmecbányai Akadémiára. Ez nem lehetett egyszerű, mert ebben az időben egy évfolyam néhány főt jelentett. 1877-ben (innen vannak meg az évfolyamok név szerint) két vas-kohómérnök végzett. Az Akadémia elvégzése után és a gyakorlat letöltésével visszajött Diósgyőrbe dolgozni. Valószínű, hogy ő volt az első akadémiát végzett személy Diósgyőrben. Itt sáfár, ellenőr, majd igazgatóhelyettes beosztásokban dolgozott.

Tevékenységének első ránk maradt jelentős eredménye, hogy stabilizálta a cég piaci pozícióját. Erről az 1802. szept. 21-én aláírt „bizonyosságlevél” tanúskodik (2. ábra).

A másik jelentős fejlesztés az volt, hogy a napóleoni háború végén hadiipari beszállító lett a cég. Ez nem csak stabil állami megbízást jelentett, hanem a vállalat színvonalát/fontosságát is mutatta. Anyagvizsgáló szempontból meg kell említeni az értékelési eljárást, amelyről egy 40 oldalas jelentés is készült. Az értékelés alapja egy vizsgálat, amelyet a birodalom 13 vizsgáló helyén végeztek el és ezek eredményéből következtettek a megfelelésre.

A tanulmány aláírói Nicolaus Jacquin, a Selmecbányai Akadémia alapító professzora, aki ekkor már Bécsben tevékenykedett; valamint Alois Widmannstätten, akiről a tús ferritet elnevezték. Ezek az eredmények azt jelentették, hogy az Ómassai gyár további fejlesztési lehetőségei kimerültek, ezért új technológiákra és berendezésekre volt szükség, amit Fazola Frigyes meg is tervezett. Ennek



2. ábra: Bizonyosságlevél

mai emléke az újmassai őskohó (1813), a Hámori-tó, ill. Alsóhámor és Felsőhámor települések. Fazola Frigyes 1817-ben áthelyezték Rhonic-ba, amely akkor a felvidéki vasgyártás központja volt. Ez a Gömör-Szepesi Érchegeység nyugati oldalán ma is meglévő Hronyec helység német neve. Itt már évszázadokkal korábban is volt vas/acélgyártás. A termelést úgy bővítették, hogy az egyik környező faluban olvasztó kemencét, a másikon kovácsműhelyt telepítettek. Ekkor új technológiákra tértek át. A szomszédos Zólyombrézo mellett volt alkalmas hely, ahol már megoldották a „folyamatos kovácsolást”, azaz a hengerlést. Ezekhez a fejlesztésekhez volt szükség Fazola Frigyesre.

2. A diósgyőri gyár története 1868-tól

Egy gyár anyagvizsgálatának/anyagtudományának feladatát az határozza meg, hogy mi a termelési programja. Az 1867-es kiegyezés után egy évvel úgy határozott a kormány, hogy az 1896-os ezredfordulói ünnepre legyen kiépítve Magyarország vasúti hálózata; természetesen magyar acélból. Ehhez az állami tulajdonú és Fazola Frigyes munkássága, útmutatásai alapján fejlesztett diósgyőri cég alkalmasnak mutatkozott. A feladathoz a szűk Hámori-völgy nem volt megfelelő, ezért a Diósgyőr nagyközség és Miskolc város közötti kb. 5 km hosszú sík területre tervezték az új gyárat a Szinva patak mellé. A gyártelep kialakítása 1868-ban kezdődött és 1870-ben már megtörtént az első csapolás. Az első anyagvizsgáló laboratórium a vegyészet volt, amit az ideiglenes igazgatói épületben alakítottak ki.

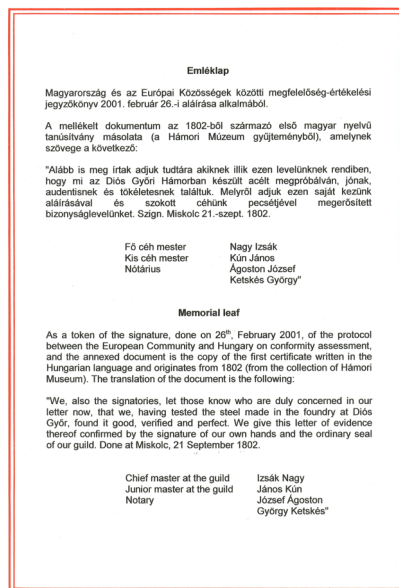
Korábban a vegyészeti vizsgálatokat a patikában rendelték meg. A vegyészet első vezetője Friedmann Arnold volt. 1880-ban indult a MÁVAG-gyárak program, amelyben a járművek gyártói is részt vettek (Ganz-, Győri Vagon és Gépgyár...). Ennek keretében új önálló vegyészeti épületben lett elhelyezve a laboratórium együttes. Ez a mai Metalcontrol Kft. egyik épületszárnya. Az épület és a laboratóriumok kialakítása szintén Friedmann nevéhez fűződik. Az ezredforduló elkészült az ország sínhálózata, így egy hatalmas gyártási kapacitás szabadult fel, amit saját gépészeti tevékenységgel szándékoztak lekötönni. Saját gyártott alapanyagának a fogyasztója kívánt lenni. Erre a kapacitásra nem tud vevőt keresni, ill. nem alapanyagot, hanem gépet tud eladni. Ez a helyzet anyagvizsgálat szempontjából azt jelentette, hogy először metallográfiai és hőkezelő laborokkal bővítették a korábban megépített „vegyműhelyt”, majd később mechanikai labort építettek. A metallográfiai laboratórium megépítése, berendezése és működtetése Fábry Zsigmondhoz köthető. Ő 1899-ben fejezte be Selmezbányán az akadémiai képzést, majd a két éves gyakorlati időt Diósgyőrben töltötte Friedmann vezetésével. Már ekkor kiderült a metallográfiához való affinitása, így 1901-ben az oklevél megszerzése után visszajött Diósgyőrbe és ezen a területen kezdett dolgozni Friedmann vezetésével. Friedmann és Fábry meghatározó módon részt vett az 1910-es években a házi szabványos szerkezeti és szerszám acélok kifejlesztésében, melyekről nagyon részletes prospektusokat készítettek.

Meg kell jegyezni, hogy az első gyorsacél 1900-ban jelent meg és Diósgyőrben az 1910-es években már 8 különböző alkalmazásra szánt acéltípust fejlesztettek ki. A tudatos gyárfejlesztést támasztja alá az a tény, hogy a szakmunkások képzésére tanonciskolát alapítottak, a városban pedig megindult a gépipari- és kohóipari technikus képzés a középvezetői utánpótlás biztosítására. Anyagvizsgálati/anyagtudományos szempontból tudatosnak látszik, hogy a kohómérnök Fábry Zsigmond 1932-es Budapestre történő áthelyezése után a laboratóriumok vezetését Mester István gépészmérnökre bízta. Ekkor már a cég fő tevékenysége egy svéd tervezésű légvédelmi ágyú előbb honosítása, majd gyártása volt. Ebben nem kis feladatot jelentettek az anyagtudományos ismeretek megszerzése, kikísérletezése. Tevékenységük sikeres voltát az is igazolja, hogy az „öreg” elmondása szerint a svédek visszavásárolták az itt kialakított technológiát. Fialat mérnökként magam is részt vettem olyan technológiai elemzésben, amit a minőségügyben ma FMEA-nak (Failure Mode and Effect Analysis) neveznek. Mester István sikerességét mutatja, hogy a háború után ő lett a megalakuló VASKUT Anyagvizsgáló Osztályának vezetője a nyugdíjazásáig.

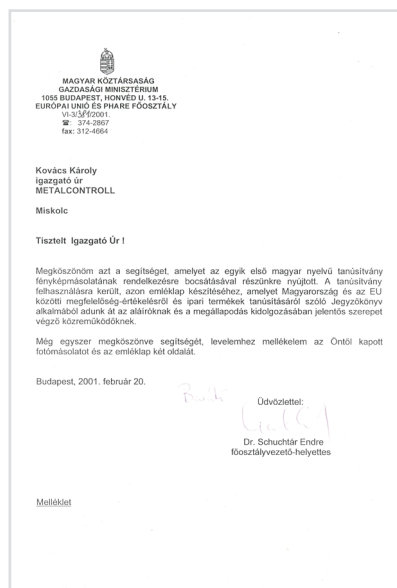
2.1 Friedmann és Fábry szerepe a Magyar Anyagvizsgáló Egyesület 1897-es létrehozásában és működésében

Ezelőtt 25 évvel arra kért Tóth professzor, mint most is, hogy tartsak előadást a diósgyőri anyagvizsgálat történetéről a Miskolc-Tapolcán tartott anyagvizsgáló konferencia emlékülés programjában, mivel akkor volt 100 éves a Magyar Anyagvizsgáló Egyesület (MAE). Magam a program szerint a 11. felszólaló voltam, így problémát okozott, hogy már tízen beszélnek a témáról előttem, és ne mondjak olyat, ami ellentmond az előzőeknek. Amíg ezen gondolkodtam, megakadt a szemem a szobám falán függő 1. ábrán látható alapító okiraton. Hiszen akkor a diósgyőri gyár már több mint 100 éves volt. Tehát biztosan az alapítók között kellett lennie! Feltételezésemet arra alapoztam, hogy 1896-ban – mivel elkészült az ország vasúti hálózata – felszabadult egy hatalmas acélgyártási kapacitás. Ilyen nagy külső piacot nem lehetett szerezni, ezért a feldolgozás irányába volt érdemes elindulni. Ez a körülmény az összes MÁVAG gyárnak problémát okozott. Tóth professzor megszerezte az egyesület 1914-ben induló lapjának első számát. Ebben Rejtő Sándor, az egyesület alapító elnöke beköszöntőjében megköszönte az alapítóknak a MAE létrehozását és felsorolta a hozzájáruló cégeket és a hozzájárulás összegeit [8]. Ebben az első helyek egyikén volt a diósgyőri gyár. Az első szakmai cikket Fábry Zsigmond írta a hőkezelés és anyagvizsgálat témában. Ezt az előadást korábban egy USA-beli konferencián is megtartotta [9]. Úgy gondolom, hogy egy új szakmai lap első számának szerzői nem jelentkezés alapján lettek kiválasztva, hanem az elnök személyesen kérte fel. Tehát Rejtő professzor és Fábry ismerték egymást és talán együttműködés is volt közöttük.

Az emlékülésen elhangzott előadásom következménye az lett, hogy egy minisztériumi résztvevő – aki benne volt



3. ábra: Emléklap



4. ábra: Köszönő levél

a Magyarország és az EU közötti megfelelés-értékelésről és az ipari termékek tanúsításáról szóló jegyzőkönyv előkészítő csapatában – néhány év múlva is emlékezett a biztonságlevelre (2. ábra). Erről egy emléklapot készítettek, amely egy jól olvasható angol és magyar nyelven tartalmazta a biztonságlevel szövegét mellékleként. (3. ábra), mutatva, hogy nálunk már 200 éve is alkalmazták a tanúsítást. A jegyzőkönyv aláírása után 4. ábrán látható köszönő levelet küldte.

3. A diósgyőri gyár története a II. világháború után

A háború alatt az angolok úgy lebombázták a kohászatot („kegyes” cselekedetből munkaszüneti napon), hogy – későbbi mérnök-tanárom szerint, aki hosszú ideig a kovácsüzem vezetője volt – a gépek a csarnokok traverzeire repültek. Érdekes módon a fő irodaház és a mellette lévő anyagvizsgáló épület sértetlen maradt. A gépgyári rész nem lett lebombázva, de innen jóvátétel gyanánt a gépeket vitték el (máshol a gyárak a termékeikkel fizették meg a jóvátételt). Úgy látszik, hogy a pilóták tudták, hogy hol nem szabad bombázni. Ilyen körülmények között felmerült, hogy a kohászatot a városon kívül építsék fel a Sajó mellett, de nem ez történt. A gépgyárat önállósították, sőt három gyárat csináltak belőle. Az ágyúgyártó részleget – ahonnan elvitték a gépeket – a mexikói völgyben lévő erdős területen építették fel a megmaradt és a saját tervezésű és kivitelezésű gépekkel. Ezután került a gyár két tervező mérnöke a BME és az újonnan alapított, mai nevén a Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszékének vezetői székébe. Az ipari kutatóintézetek ekkor alakultak, így számos diósgyőri mérnök került ezek osztályainak vezetői helyeire. Mester István nyugdíjazásáig a VASKUT Anyagvizsgáló Osztály vezetője lett. Ha hozzá vesszük, hogy Ózd és Salgótarján gyára Andrassy birtok volt és ezeket is be kellett indítani, majd elkezdtek építeni a dunajvárosi gyárat, ezért számos különböző végzettségű

és beosztású szakembert helyeztek el Diósgyőrből. Azt lehet mondani, hogy a diósgyőri értelmiségi és szakember gárda meg lett tizedelve. A megmaradt vezetői réteg annyira lecsökkent, hogy az 1948-ban Sopronban diplomázott Németh Emil – akit Diósgyőrbé irányítottak és társbérletben élt 10 évig családjával – rövidesen a melegalakító üzemek gyáregység-vezetője lett. Hasonlóan az 1949-ben diplomázott Sziklavári János pedig hamarosan főmetallurgussá vált. Szerencsés körülmény volt számukra, hogy a kohómérnöki kart az 1949-ben alapított Nehézipari Műszaki Egyetemre helyezték át Sopronból, így azonnal bekapcsolódhattak az egyetemi oktatásba. Németh Emil 20 éven át adta elő félállásban az Anyagvizsgálat című tárgyat és vett részt a szakmérnök képzésben; a több, mint 90 évet megélt Sziklavári János az egyetem díszdoktora is lett.

3.1 Az anyagvizsgálat helyzete a háború után az újonnan megalakult gépgyárakban

A gépgyárban eredetileg is csak MEO (Minőség Ellenőrző Osztály) szinten voltak vizsgálatok. A komolyabb vizsgálatokat az LKM (Lenin Kohászati Művek) laborban, vagy a VASKUT-ban lehetett megrendelni. Már az 1950-es évek végén felmerült az önálló anyagvizsgáló osztály igénye, de ez csak az 1960-as évek elején történő összevonás után valósult meg Metallográfia néven. Az 1970-es évek elején – mivel részt vett a cég a közúti járműgyártási programban a sülllesztékes kovácsolt termékeivel – még az eredeti épület kibővítése is megtörtént. A labor vezetője – Fazekas Sándor – 1975. januárjában váratlanul és fiatalon meghalt. Akkor én a főtechnológus saját kutató csoportjában dolgoztam és sok reklamációs ügyben – ami a hőkezelés és kovácsolás területét érintette – kaptam feladatot. Ekkor már 6 éve óraadó voltam, főleg metallográfia, anyagvizsgálat és hőkezelés tárgyakban az egyetemen, így azonnal felmerült kinevezésem. A személyzeti osztállyal való vajúdas után októbertől neveztek ki vezetőnek. Az első munkanapom megkezdése után pár perccel azzal jött be a szobámba a helyettesem, aki az előző 9 hónapban ideiglenesen vezette a labort, hogy van egy megrendelés, ami arról szól, hogy egy szivattyú járókerék-lapátjai törnek. Megnéztem a megrendelés dátumát és ez augusztus eleje volt... Ez volt a vizsga munkám. Még ezen a héten jött egy másik probléma: az itt gyártott ollógépek több méteres késeinek éle kitört úgy, hogy az éllel párhuzamosan letört az él. Kiderült, hogy a leggyakoribb hibák egyike – nem beszélve a hadiipari problémákról – a törés. A metallográfia nevet még az első években fémtechnológiára változtattam, mivel az nem fedte le azt a tevékenységet, amit végeznünk kellett. 1978-ban sikerült beszerezni egy kis JEOL gyártmányú scanning elektronmikroszkópot. 1979-1982 között ösztöndíjas aspiráns, majd kandidátus lettem törés témában. 1988-ban új vezérigazgató lett a Digépben, aki az év végére 4 önálló cégre

osztotta a vállalatot. Megszüntette a Fémtechnológiai Osztályt és MEO labort csinált belőle. Ekkor kerültem át az LKM-be.

3.2 A kohászati anyagvizsgálat a világháború után

Az alaposan lebombázott gyár fejlesztésében az anyagvizsgálati terület hátrányos helyzetű volt, ami a műszer beszerzéseket illette. Az intenzívebb acélgépjártási eljárások gyors vizsgálati módszereket követeltek, így a gyártásközi vizsgálatokra optikai emissziós spektrométereket szereztek be a vegyészek számára, a salak elemzésére röntgenspektrométert, a C, S, N és O vizsgálatra LECO gázelemzők lettek telepítve a laborba. A metallográfiai vizsgálatok fejlesztését főleg a katonai átvételek igényei kényszerítették ki (Zwick szakítógép), valamint a különleges anyagok fejlesztésére és vizsgálatára pedig egy JEOL gyártmányú transzmissziós elektronmikroszkópot vett a cég. Politikai okokból megszűnt az 1970-es évek végén a főmetallurgus szervezete, a két anyagvizsgáló osztály (vegyészet és metallográfia) a MEO szervezetbe került. A műszaki igazgató és a két laborvezető közeli halála után az 1980-as évek elején újra alakult a főmetallurgusi szervezet és ide került vissza az anyagvizsgálat is. Az LKM 1986-ban pályázatot adott be műszerek beszerzésére minőségbiztosítási céllal. Ezt a pályázatot úgy fogadta el az OMFB (Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság), hogy a leendő labor Vaskohászati Minőségellenőrző Központ (VMK) legyen, vagyis nem csak az LKM számára végezzen vizsgálatokat. 1987-ben jelent meg az első minőségbiztosítási szabvány, így valószínű, hogy a tervezetekből már korábban is lehetett tudni, hogy szükséges mások számára is a megbízható eredmények. Ezért írták elő a VMK megalapítását.

3.3 A Metalcontrol Kft. rövid története

Az LKM-ben 1989. március 1-jén kezdtem dolgozni, mint a leendő VMK vezetője. Áprilisban kezdődtek a beszerzendő műszerekkel kapcsolatos ártárgyalások, valamint a leendő helyiségek átalakításai. A nyár közepén viszont már kft. alapítást kellett tervezni. 1990. január 1-jén Metalcontrol Kft. (MC) néven alakultunk meg és 1 havi készpénzzel indult az önálló életünk 94% DIMAG Rt. tulajdonnal. Ebben az évben jelent meg az akkreditálás lehetőségének kiírása, ezért a cég rendszerét eleve ennek megfelelően terveztük meg. Még ebben az évben megtörtént a két audit, az okirat már 1991 februárjában megérkezett. Közben már novemberben hitelt kellett felvennünk, hogy karácsonyra fizetést tudjunk adni dolgozóinknak. Egyértelmű lett a válság. 1991 márciusában egy rövid konferenciával lezártuk a VMK fejlesztést. Ezen egy laborlátogatás után kerekasztal beszélgetés volt a látottakról és az új műszerek hasznosításáról. Ezen Voith Márton professzor úr – a Kohómérnöki Kar akkori dékánja – látva a műszereket, hallva, hogy már akkreditáltak is vagyunk, valamint ismerve néhányunkat, akik valamilyen tanszéken oktattunk, felajánlotta, hogy a Kohómérnöki Kar az MC Kft.-vel alapítson Minőségbiztosítási kihelyezett tanszéket. Még ebben az évben alá lett írva a szerződés,

mely azt tartalmazta, hogy 1994-re ki kell alakítani a tanszéket; én pedig a 10. félévben kaptam heti 2 óra előadást a témában. Eközben az egész kohászat külföldi tulajdonba került, sőt 1994-re már fel is számolták. Innentől az MC fő problémája az volt, hogy mi történjen, ha a tulajdonost felszámolják, ne rántsa magával a MC Kft.-t, mivel sok behajthatatlan követelése van, de nyilván tartozásai is vannak a hatóságoknak. Ez a helyzet még kétszer megismétlődött a kohászatnál, míg egy pénzügyi cég – miután elintéztük, hogy leválasszák a gyár privatizációjáról az MC-t – kiprivatizálta, majd 2 év után végelszámolásba akarta vinni. Ekkor felajánlottam, hogy adják nekem a céget, hátha meg tudjuk menteni. Felvettük a szükséges hitelt, mire a kohászat akkori olasz tulajdonosa rájött, hogy a labor munkájából egyértelműen látni a tevékenységét, saját labort csinált, erre felhasználta az MC egy részét. A hiteleket 2008-ra tudtuk rendezni és akkor pedig jött a világválság, közben a kohászat utolsó tulajdonosa 2002-ben leállította a termelést. Ebből a szempontból az MC története egy folyamatos válság.

A Magyar Akkreditáló Testület, mint önálló szervezet csak 1995-ben alakult meg, ezért lehetőségünk volt angol akkreditációt szerezni. Ezt 1996-tól 2004-ig tartottuk fenn, amíg a magyar szervezet megszerezte a nemzetközi elismertséget. Az utolsó bizonylat az 5. ábrán látható, melyen rajta van a kezdő dátum is.



5. ábra: Utolsó (angol) akkreditációs bizonylat

2015. április 20-án jubileumi ünnepséget tartott a Metalcontrol Kft., ekkor ünnepelte a 25. születésnapját, mivel az MC Kft.-t 1990. január 1-gyel alapította az egykori LKM negyvened magával, de ekkorra már a többi megszűnt. Viszont a diósgyőri kohászat – és vele együtt

az anyagvizsgálat is – ekkor volt 250 éves. Az 1868-ban alapított kohászatnál a kezdetektől volt anyagvizsgálat ideiglenes helyiségekben, de a végleges laboratóriumot 1880-ban kezdték megépíteni. Ez akkor 135 éves volt és ma azt is elmondhatom, hogy a jelenlegi tulajdonosa tökéletesen fel is újította.

Mindig is tudtuk, hogy a Metalcontrol Kft. az 1986-ban beadott pályázatnak köszönheti a létét. Azt, hogy ezt elnyerhette, nem az akkori anyagvizsgálók teremtették meg, hanem a tiszteletre méltó elődök. Így, hogy előttük kellő módon tisztelegjünk és az utókor számára is fennmaradjon az emlékü, négy helyiséget neveztünk el a már ebben az épületben dolgozó egykori vezetőkről. A névadók az alábbiak:

- Friedmann Arnold
- Fábry Zsigmond
- Mester István
- Németh Emil

A specialitásuknak megfelelő laboratóriumokban ismertetőket függesztettük ki, melyek a mellékletben olvashatóak.

3.4 A kihelyezett tanszék története röviden

Már a szerződés megkötésekor egyértelmű volt, hogy mindkét szerződő fél (Kohómérnöki Kar és az MC Kft.) vágásban van. Abban reménykedtünk a Dékán úrral, hogy ilyen körülmények között is erősíteni tudjuk egymást. A tanszék tényleges indulása a „Bokros-csomag” idejére esett, ami katasztrofális helyzetbe hozta a Kart. Ezért a Dékán úr azonnal szakirányként indította a minőségbiztosítási oktatást (ez volt a „mézesmadzag”...). Ez azt jelentette, hogy 6 szemeszteren át tanítottunk minőségügyi ismereteket 12 tantárgy keretében jelentős számú MC-s kollégát bevonva. Ezzel megoldott volt a továbbképzésük, nekem pedig jó érv volt a válságkezelésben. Voith professzor az induló első évfolyamra annyi hallgatót toborzott, hogy szinte a fél évfolyamot mi tanítottuk, ezután pedig lemondott a dékánságról. Nyugdíjazásomig (2010) vezettem a tanszéket, majd utódom egy MC-s kandidátus kolléga főállásban átment a Miskolci Egyetemre, de néhány év után fiatalon sajnálatosan elhunyt. Jelenleg volt tanítványaink oktatják a minőségügyet a Karon.

3.5 MC Kft. története 2015 után

Az említett jubileumi ünnepség idején voltam 70 éves, így meg kellett tervezni a jövőnket. A családban nem volt, aki követhetett volna, a beosztottak között egyetlen személy volt, akiben megbízhattam, akinek már a tanulmányait is támogattam és a mindennapok tevékenységét rábíztam. Ez így ment éveken át, de nem vettem észre, hogy ő már magában lemondott arról, hogy tovább vigye a céget. Aztán néhány héttel a covid járvány előtt feladta az együttműködést. Akkor váratlanul ért a dolog, de utólag gondviselészerű is volt, hisz így a járvány előtt végkielégítettük a dolgozóinkat és jogász fiammal együtt elkezdtünk felkészülni a végelszámolásra. Mikor elértük, hogy működés és így bevétel nélkül minden egyenleg nulla legyen, meghirdettük a céget. A másik gondviselészerű

esemény az volt, hogy 2 hónapon belül jelentkezett az EUROIL Kft. és rövid egyeztetés után mindenestül megvette a Metalcontrol Kft.-t. Ezután egy hónappal elvesztettem egyik szemem látását. Az EUROIL Kft. egy mérnöki tevékenységgel foglalkozó jó nevű cég, akinek – amennyire meg tudom ítélni – saját célra a tervezéshez szükséges anyagjellemzők mért eredményeire, ill. az üzembehelyezés vizsgálataira van szüksége és az egyéb kapacitását tanúsított vizsgálatokra köti le.

4. Összefoglaló és következtetések

Egy vállalat anyagvizsgáló/anyagtudományos tevékenysége meghatározó módon függ a cég tevékenységétől. A diósgyőri kohászat az utolsó 10 évtől eltekintve végig állami vállalat volt. A 250 év jellegzetes periódusokra bontható, ahogy eddig is tettük. Fontos kérdés, hogy mi volt/lehetett a célja az államnak és mi volt/lehetett a feladata ezekben a periódusokban. A leírtak szerint a tulajdonos célja 1770-től Fazola Frigyes áthelyezéséig az elért eredmények alapján az lehetett, hogy:

- erősítse meg a piaci pozícióit (bizonyosságlevél),
- legyen hadiipari beszállító.

Ez a dolog úgy látszik, hogy túl jól sikerült, mert további fejlesztéseket is meghatározott, amit az utódai fejeztek be, de őrá már a Felvidéken volt szükség.

A következő szakasz a kiegyezésig tartott, aminek az alapjait még Fazola rakta le, így egybe is vehetjük az előzővel. Itt az állam igénye az elegendő mennyiségben megvalósuló/történő minőségi acélgyártás volt. A kiegyezés után az állam nem csak alapanyagot, hanem az egész országra kiterjedő sin hálózatot várt el, ami már nem alapanyag, hanem termék. A vasúti sin már egy közvetlenül használható, elvárt alakú és állapotú késztermék, amivel ha nem elégedett a felhasználó, közvetlenül reklamálhat a gyártónál. Neki kell alkalmazkodnia a felhasználó igényeihez. Az alapanyaghoz képest hozzáadott értékkel rendelkezik, ahogy ma használatos nyelven mondjuk.

Amikor kész lett a vasúti hálózat, akkor nem az alapanyaghiányt akarták növelni (a felszabaduló kapacitást nem is lehetett volna eladható alapanyaggal kitölteni), hanem egy sokkal nagyobb hozzáadott értékű termék gyártására készültek fel. Kifejlesztették a fegyvergyártást a szükséges szerszámokkal és egyéb eszközökkel, készülékekkel. Ez idő alatt a mérnökök olyan eredményesen kutattak és terveztek, hogy a II. világháború után számosan kerültek egyetemi katedrára, kutatóintézeti osztályra, más vállalatok vezetésébe.

Az államnak a két világháború utáni viselkedése is mutat valamit a gyárhoz való hozzáállásából. Az első után annak ellenére, hogy a hegyeinket elcsatolták Trianonban, a gyártási program ment tovább és a diósgyőri gyár nem csak magát tartotta el, hanem a nem kis gyári kolóniát is. A hasznát nem elvitte, hanem visszaforgatta a környezetbe/városba. A II. világháború után az első intézkedés az volt, hogy a termékgyártást leválasztották a kohászatról. A kohászat célja innentől a szabványnak való megfelelés volt. Ezzel zsaroló helyzetbe került mind a két gyár, hiszen a kohászat szerszámai a gépgyárban készültek.

Azt gondolom, hogy még többen élünk azok közül, akik átérték egy szabvány létrejöttét. Az első laborvezetői munkahelyemnél említett ollókés anyag törésénél éppen a szabvánnyal volt a probléma. A K1 anyagminőség ajánlásánál az szerepelt, hogy ez a legnagyobb teljesítményű ollókés anyag. Csak „elfelejtették beírni”, hogy 1 mm lemezzavastagság alatt igaz az állítás. Ezek az ollók pedig 30 mm-ig vágják a lemezeket, így ez lett a legrosszabb anyagkiválasztás. A tervező jót akart, az ára ellenére a legjobbat akarta előírni. A probléma megoldása ezután sem volt egyszerű, de ez a korszak hibája.

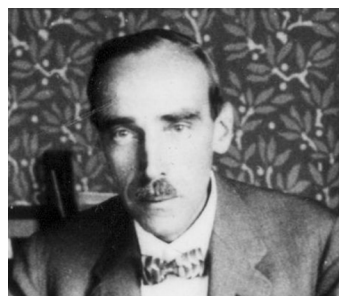
Az 1980-as évek második felében elkezdődött a diósgyőri kohászat privatizációja. Újra önállósították a termékgyártást. Pont azt a saját termékgyártást, aminek bejáratott piaca volt, ahol a minőséget az egekig lehetett volna fejleszteni. Az acélglyártás megszűnésével az alapanyaggyártás ment ki a feldolgozás alól. Egy bárhonnan származó anyagot pedig jobb, ha független anyagvizsgáló nem is lát. Ezért igyekszik minden cég saját anyagvizsgálatot működtetni; amire a műszergyártók rá is játszanak.

Az önálló anyagvizsgáló cég csak akkor tud fennmaradni, ha olyan tanúsító céggel van kapcsolatban, amely fontos, állami megrendelést elégít ki és erre van hivatalos jogosítványa. Az MC is elnyert ilyen lehetőséget, de nálunk ezt akkor hirdették meg, amikor a nyugati cégek a piac nagy részét már megszerezték. Minket pedig az illetékes minisztérium beszélt rá a visszalépésre mondván, hogy sokba fog kerülni a rendszeres Brüsszelbe utazás. Válság alatt ezt nem vállalhattuk. A másik lehetőség, ha egy termékgyártó, vagy műszaki szolgáltatást nyújtó céggel van kapcsolatban, akinek nem csak vizsgálati, de stabil fejlesztési feladatokat kell végezni és a felesleges kapacitást kell kitölteni független vizsgálati feladattal. Remélem, hogy az EUROIL ezt fogja megvalósítani.

Melléklet – A laboratóriumok névadói

FÁBRY ZSIGMOND (1878-1958)

Temesváron született. Középiskolai tanulmányait Budapesten, felsőfokú tanulmányait a selmecbányai Bányászati és Erdészeti Akadémián végezte. A kötelező két éves üzemi gyakorlatot már Diósgyőrben töltötte, s ez után 1901-ben kapta meg a vaskohómérnöki diplomát. A metallográfiai vizsgálatokat a Berlini Bányászati Akadémián sajátította el. A Diósgyőri Magyar Királyi Vas- és Acélglyár metallográfiai laboratóriumának tervezésével, műszerekkel és eszközökkel való berendezésével őt kérte fel a gyár vezetése 1905-ben, majd éveken keresztül ő vezette a metallográfiai labort. Ez volt az ország első ilyen vizsgálóbázisa. A metallográfia területén végzett munkájával jelentősen hozzájárult a diósgyőri acél és szerszámacél világhírűvé válásához. 1928-ban



gyárfőnök-helyettes lett, majd 1932-ben a Kereskedelmi Minisztérium Vasmű Osztályán kapott irányítói munkakört. Innen az Állami Vas- és Acél- Gépgyárak Igazgatóságára került, ahol nyugdíjaztatásáig dolgozott.

NÉMETH EMIL (1922-1981)



A Sopron megyei Ivánban született. Sopronban a Széchenyi Gimnáziumban érettségizett, majd ugyanitt szerzett kohómérnöki oklevelet a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kohómérnöki karán 1948-ban.

A diósgyőri Nagykovácsműhelyben volt kezdő mérnök, ahol sikeresen oldotta meg a vasúti kerékbroncsok elektromos fűtésű harangkemencében történő hőkezelését. Ezért rövidesen gyáregységvezetőnek nevezték ki.

1952-ben az Anyagvizsgáló Osztályra került, ahol elsősorban kísérletezéssel, kutatással foglalkozott. 1956-ban kandidátusi disszertációt nyújtott be elektrolitos hevítés törvényszerűségeinek feltárása témában. A forradalom előtt megkezdődött az eljárás, kijelölték a bírálókat. Az értekezés megvédésére azonban nem került sor, mivel a bírálója a forradalom leverése után külföldre távozott, ő pedig később már nem kezdeményezhette a védést.

1957-től az Anyagvizsgáló Osztály vezetője lett haláláig. Az utolsó években egyben a főmetallurgus helyettese is volt. Tevékenységére jellemző volt, hogy az anyagvizsgálatot, mint eszközt tekintette valamilyen termelési, innovációs cél érdekében. A hazai ipari gyakorlatban elsőként szerzett be és alkalmazott transzmissziós elektronmikroszkópot anyagszerkezeti vizsgálatokhoz.

Az 1949-ben induló Nehézipari Műszaki Egyetemen számos ipari mérnök tanított ebben az időben, a többnyire ingázó tanszékvezetők mellett. Németh Emil a Sopronból áttelepült kohómérnöki karon hosszú ideig oktatott anyagvizsgálatot és hőkezelést.

1961-ben „Acélok és öntöttvasak hőkezelése” címen írt jegyzetet. 1964-65-ben jelent meg „Az acélok hőkezelő berendezései I., II.” c. jegyzete.

Az „Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában” c. könyvének a lektorálása még halála előtt megtörtént, de kiadását (Műszaki Könyvkiadó Bp. 1981.) már nem élte meg.

MESTER ISTVÁN (1901 – 1970)

A Békés megyei Békésen született. A helyi gimnázium elvégzése után a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen gépészmérnöki oklevelet szerzett. 1932-ben került a MÁVAG budapesti gyárába, majd egy évvel később már a Diósgyőri Vas- és Acélglyár anyagvizsgáló laboratóriumában dolgozott. Hamarosan szaktekintélyé vált



szűkebb munkaterületén. 1945-ben elnyerte a diósgyőri gyár igazgató-helyettesi beosztását. Kivette részét az ország háborús romokból való újjáépítéséből is. Ennek emlékét őrzi a Margit-hídon elhelyezett emléktábla. 1948-ban átvette a Nehézipari Központ Kohászati és Kutatási Osztályának vezetését, majd 1949-ben a Vasipari Kutató Intézet Anyagvizsgáló Osztályának a vezetését. Itt dolgozott 1967-ben történő nyugdíjazásáig.

FRIEDMANN ARNOLD

Diósgyőrben a rendszeres anyagvizsgálat az 1873-ban létesített vegyészeti laboratóriumban kezdődött el. Az 1881-82-es gyár bővítés során került a vegyiműhely a hivatalkából a jelenlegi helyére. Friedmann Arnold részt vett az építkezésekben, és később a laboratóriumot éveken át is vezette. 1896-ban már a Diósgyőri Magyar Királyi Vas- és Acélgár vezetésében szerepelt, mint a Vegyészeti Hivatal és Téglagyár főnöke [10]. Aktív segítőtársa volt Topiczer Jánosnak a szerszámacélok fejlesztésére irányuló munkájában. A Királyi Magyar Természettudományi Társulat tagja volt.

Felhasznált irodalom

- [1] Kriston Béla: A megszállott; Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1983
- [2] Kriston Béla: A küldetés; Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1987
- [3] Boros Árpád: Események és tények a diósgyőri kohászat történetéből 1770-2003; Miskolc, 2004
- [4] Boros Árpád: Diósgyőri Kohászat a tevékenységei tükrében 1770-2010; Miskolc, 2010
- [5] Diósgyőri Magyar Királyi Vas és Acélgár története 1765-1910; Szelényi és Társa Könyvnyomda, Miskolcz, 1910. febr.
- [6] Kovács Károly: Szemelvények a diósgyőri anyagvizsgálat történetéből; MAE 100 éves című emlékülés; Miskolc, 1977. okt. 6.
- [7] Verő József, Káldor Mihály: Fémtan; Tankönyvkiadó, Budapest, 1977
- [8] Fábry Zsigmond: Vas és acélfajták melegkezelése; Anyagvizsgálók közlönye 1. évfolyam 1. szám Budapest, 1914. jún. 25.
- [9] Fábry Zsigmond: Vas és acélfajták melegkezelése; Anyagvizsgáló Konferencia, New York (USA), 1912
- [10] Magyar Bánya-Kalauz, 1896



A Vasipari Kutató Intézet 70 éves jubileuma (1952-2022) – III. rész

70th anniversary (1952-2022) of the Research Institute for Ferrous Metals – Part III.

Fehérvári Attila

1. Előszó

Az előző számban (második rész)¹ ismertetett törésmechanikai kutatások keretében egy módszert mutattam be a ridegtörés elkerülésére, amely a COD próbatestek és az ütőpróbatetek vizsgálati eredményeinek korrelációs kapcsolatára épült. Utaltam arra, hogy léteznek matematikai módszerek is, amelyek alkalmazásában és fejlesztésében a VASKUT Hegesztési Osztály munkatársai úttörő munkát végeztek. Így célszerű a fő lépések áttekintése.

2. Törésmechanika alapfogalmái

2.1 A repedés környezetének feszültségi állapota

A feszültségi állapot komponenseit Westergaard az Airy-féle feszültségi függvényből vezette le tengelyszimmetrikus esetekre, amint azt Paul C. Paris és George C. Sih az ASTM 381 számú, különleges műszaki kiadványában (STP = Special Technical Publication)² publikálta.

Az a hosszúságú repedés csúcsának környezetében kialakuló feszültségmező egy tetszőlegesen kiválasztott r távolságú pontban:

A rugalmas feszültségmező komponensei:

$$\sigma_{ij} = K \frac{f_{ij}(\theta)}{\sqrt{2\pi r}} \quad (1)$$

Az arányossági (feszültségintenzitási) tényező függ a terheléstől:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

$$K_{II} = \tau_{II} \sqrt{\pi a} \quad (3)$$

$$K_{III} = \tau_{III} \sqrt{\pi a} \quad (4)$$

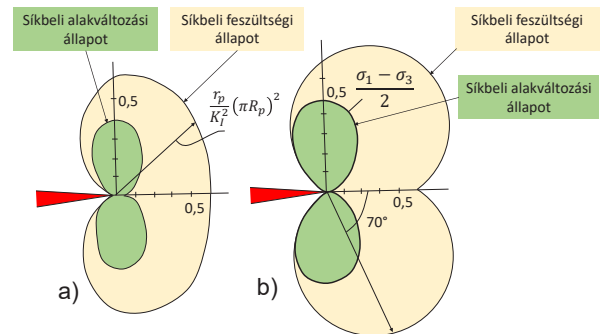
ahol:

- σ – a repedés síkjára merőleges feszültség,
- τ_{II} – a repedés síkjában ébredő nyírófeszültség,
- τ_{III} – a repedés síkjában ébredő csavarófeszültség.

A feszültségintenzitási tényező a lineáris rugalmas feszültségek mérőszáma, az alkalmazásával foglalkozó tudományág a lineáris rugalmas törésmechanika (LEFM: linear elastic fracture mechanics).

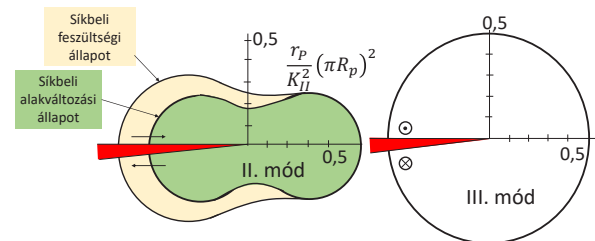
A feszültségek hatására képlékeny alakváltozás lép fel a repedés élénél, amelynek határai (r_p) az 1. és a 2. ábrán láthatók.

A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazási határa: $t \geq 2,5(K_{Ic}/R_p)^2$, amelyet a 3. ábrán tüntettem fel. Látható, hogy az általános gyakorlatban használt szerkezeti acélok esetén a rugalmas törésmechanika nem használható.



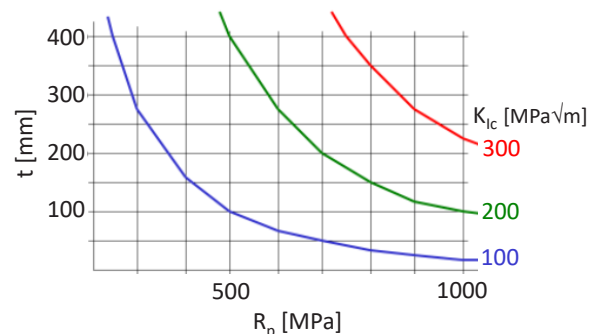
1. ábra: Képlékeny zóna a repedés élénél, ahol:

- $K = K_I$, σ_{ij} = redukált feszültség (az a) ábrán a Mohr, ill. a b) ábrán a Huber-Mises-Hencky kritérium szerint számítva),
- σ_{ys} (vagy máshol R_p) az anyag folyási határa,
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ a főfeszültségek



2. ábra: Képlékeny zóna a repedés élénél, ahol:

- $K = K_{II}$ vagy K_{III} ,
- σ_{ij} = redukált feszültség (Mohr, ill. a HMM kritérium szerint számítva)



3. ábra: A rugalmas törésmechanika alkalmazási határai

2.2 A nem lineárisan rugalmas törésmechanika

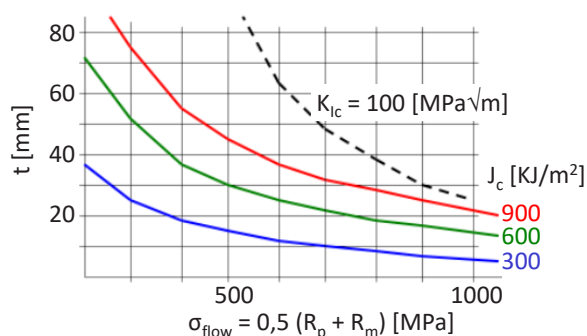
Rice 1968-ban bevezette az útfüggetlen J-integrál fogalmát, amely törési paraméterként használható.

A J-integrál értelmezése:

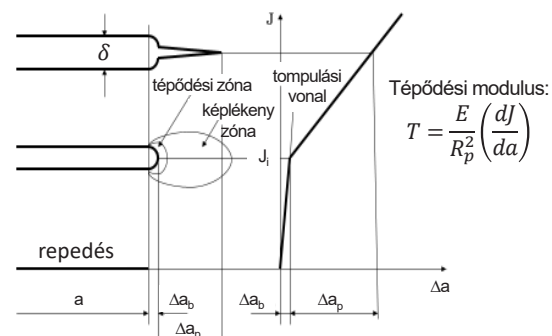
Egy repedés csúcsa körüli kontúr ds hosszúságú elemei a terhelésből származó, és ds elemre ható F erő következtében Δl mértékben elmozdulnak. Az $F \Delta l$ munkának a teljes kontúrra történő integrálja független a kontúr helyzetétől.

¹ Fehérvári Attila: A Vasipari Kutató Intézet 70 éves-jubileuma (1952-2022) - II rész, Anyagvizsgálók Lapja, 2022/II. lapszám, 76-82. oldal

² Paul. C. Paris, George C. Sih: Stress analysis of cracks. ASTM 381 (Fracture Toughness Testing and its Applications), 1965, pp. 30-83.



4. ábra: A rugalmas-képlékeny törésmechanika alkalmazási határai



5. ábra: A stabil repedésterjedés modellje

Következésképpen a próbatestbe vezetett munka a képlékeny zóna kialakítására fordítódik.

A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazási határa: $t \geq 2,5(J_c / \sigma_{flow})$, amelyet a 4. ábrán tüntettem fel, ahol:

- t - a próbatest vastagsága,
- σ_{flow} - az ún. folyási feszültség a folyási hatás és szakítószilárdság átlaga, azaz $\sigma_{flow} = 0,5(R_p + R_m)$.

A J-integrál segítségével leírható a stabil repedésterjedés (R-görbe), amelynek mérőszáma a tearing modulus (5. ábra).

3. A nukleáris ipar A/11 projektje

1981-ben a kormányzat elhatározta egy kutatási projekt megvalósítását „Az atomerőmű biztonságos üzemelését szolgáló K+F feladatok” címmel. A projekt megszervezésére és vezetésére Dr. Gyimesi Zoltánt, a KFKI Atomenergia Kutató Intézet igazgatóját kérték fel.

Az AEKI javaslatot kért több intézménytől a projekt keretében kidolgozandó szakmai területekre. A VASKUT benyújtotta javaslatát a „Szilárdsági ellenőrzések és ismétlődő vizsgálatok a berendezések állapotának és becsült élettartamának meghatározására” címmel, amelyet az AEKI elfogadott (A/11-4. számmal). A VASKUT a szakmai terület előterjesztőjét, Dr. Rittinger Jánost bízta meg a kutatások vezetésével (VASKUT nyilvántartási száma: 8-2-1632/81-85). A téma kidolgozása volt a VASKUT legjelentősebb hozzájárulása a magyar hegesztési kultúra fejlődéséhez (mind pénzügyileg, mind hatásában). A szakmai terület művelése négy altéma keretében folyt. Voltak olyan altémák, amelyeket más osztályok műveltek, de olyan résztématerületek is, amelyek különböző okok miatt törlésre kerültek. Ezek nem szerepelnek jelen rövid áttekintésben.

4.1. A primerköri nyomástartó rendszer szerkezeti anyagában bekövetkező termikus öregedés és kisciklusú fáradás modellezett vizsgálata, valamint a repedéskeletkezés helyének meghatározása.

- 4.1.1. 15H2MFA acél, SZV10HMFT-AN42 hegesztőanyagokkal készített kötés, valamint plattírozott réteg előállítás, alaptulajdonságok meghatározása. Kidolgozta: Dr. Rittinger János.
- 4.1.3. Próbatest kiválasztása kisciklusú fáradástó vizsgálatokhoz. Kidolgozta: Kuty Ákos (Anyagvizsgáló Osztály).
- 4.1.4. 15H2MFA reaktortartály acél fedettívű hegesztéssel készült kötéseinek tulajdonsága. Kidolgozta: Dr. Rittinger János.
- 4.1.5. Plattírozott réteg szívósságát befolyásoló tényezők hatásának elemzése. Kidolgozta: Fogarassy László.

- 4.1.9. Hegesztési hőfolyamat hatása 15H2MFA jelű acél tulajdonságaira. Kidolgozta: Dr. Rittinger János.
- 4.1.10. Javítási technológia kidolgozása.
- 4.1.12. Adatgyűjtés BME és NME bevonásával
- 4.1.13. Összefoglaló jelentés. Kidolgozta: Dr. Rittinger János.

4.3. Repedések stabilitásának vizsgálata a primerköri nyomástartó rendszerek anyagaiban. Adatbank létrehozása a rendszer megbízhatóságának becslése érdekében

- 4.3.4. 15H2MFA acél dinamikus törésmechanikai referencia görbéjének meghatározása a törési valószínűség megadásával. Kidolgozta Dr. Rittinger János Fehérvári Attila részvételével.
- 4.3.6. Adatlap véglegesítése törésmechanikai vizsgálati eredmények tárolásához és feldolgozásához. Kidolgozta Dr. Rittinger János Fehérvári Attila részvételével.
- 4.3.8. A fő keringtető vezeték hegesztett kötések tulajdonságainak meghatározása. 1. rész és 2. rész. Kidolgozta Dr. Rittinger János.
- 4.3.11. Törésmechanikai és kisciklusú kifaradási vizsgálatok eredményei 300 °C hőmérsékletig. 1a. kötet. Kidolgozta Dr. Rittinger János.
- 4.3.12. 15H2MFA jelű acél és hegesztett kötésének statikus referencia görbéje. Kidolgozta Dr. Rittinger János.

4.4. Akusztikus emissziós vizsgálatok nyomástartó szerkezetekben lévő hibák azonosítására és lokalizálására, a primerköri nyomástartó rendszer vizsgálatának megbízható értékelése céljából. Az altémát a VASKUT Hegesztési Osztálya és a KFKI Atomenergia Kutató Intézet Mérésautomatizálási Osztálya közösen dolgozta ki. A kutatás vezetője a VASKUT részéről Fehérvári Attila, a KFKI részéről Péter Attila volt.

- 4.4.1-3. Négycsatornás akusztikus emissziós berendezés kifejlesztése, és alapvizsgálatok elvégzése különböző tartályszerkezeteken.
- 4.4.4. AE vizsgálatok törésmechanikai próbatesten a repedés csúcánál fellépő képlékeny alakváltozás által emittált jelek analízise és a stabil repedésterjedés érzékelése céljából (VASKUT jelentés: 1982. február).
- 4.4.5. Tartályszerkezeteken végzett AE vizsgálatok eredményeinek kiértékelése, interpretálása és további „in situ” vizsgálati program kidolgozása (VASKUT jelentés: 1983. október).
- 4.4.6. Stabil repedésterjedés érzékelésére vonatkozó laboratóriumi vizsgálatok folytatása a 4.4.4. feladat keretében, 1981-ben kidolgozott program szerint (VASKUT jelentés: 1984. február).
- 4.4.7. Instrumentális bázis kiépítése sokcsatornás akusztikus emissziós vizsgálatok előkészítésére.
- 4.4.8. Különböző típusú tartályszerkezetek globális AE és törésmechanikai vizsgálata. A vizsgálatoknál először kerül alkalmazásra a KFKI által kifejlesztett, sokcsatornás számítógépes AE hiba-lokalizáló és analízis berendezés (VASKUT KFKI közös jelentés: 1985. december).
- 4.4.9. Nukleáris erőművi szerkezetek anyagainak AE és törésmechanikai vizsgálata. A vizsgálatoknál először kerül sor az AE jelek különböző

jellemzőinek számítógépes feldolgozására (VASKUT jelentés: 1984. február).

4.4.10. Nukleáris szerkezeti anyagok akusztikus emissziós aktivitása.

4.4.11. Atomerőművek üzemeltetés alatti akusztikus emissziós vizsgálatának helyzete, felmérő tanulmány (KFKI).

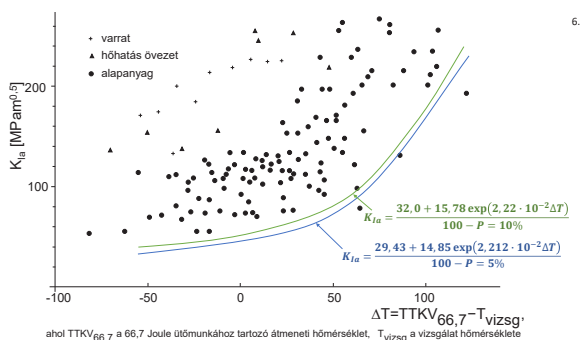
4.4.12. Tartályszerkezetek akusztikus emissziós vizsgálata, második jelentés. Modelltartály vizsgálata nagy hibával, lassú terheléssel (VASKUT KFKI közös jelentés).

4.4.13. Akusztikus emissziós eszközfejlesztés és vizsgálati eredmények atomerőművi alkalmazásra. Összefoglaló jelentés (VASKUT jelentés: 1985. december).

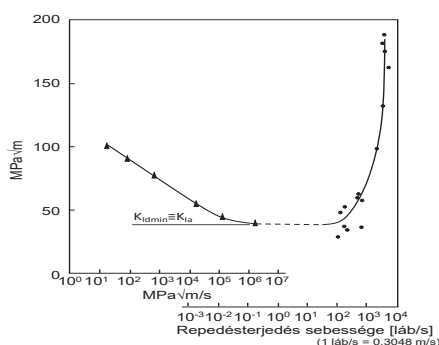
3.1 Szemelvények az A/11 projekt megvalósítására végzett kutatások eredményéből

3.1.1 A reaktortartály anyagának törésmechanikai jellemzői

Dinamikus törésmechanikai anyagjellemzőket fázissal berepesztett próbatetek ütvehajlító vizsgálatával határoztuk meg. A 6. ábra a törési szívósság (K_{Id}) mérési eredményeit tünteti fel a vizsgálati hőmérséklet és a 66,7 J energiaszinthez tartozó átmeneti hőmérséklet különbségének függvényében. A mérési eredmények alsó burkológörbéje használható a reaktortartályban észlelt, vagy posztulált hibák veszélyességének értékeléséhez a neutronsugárzás hatása előtt.



6. ábra: A törési szívósság dinamikus terhelésnél



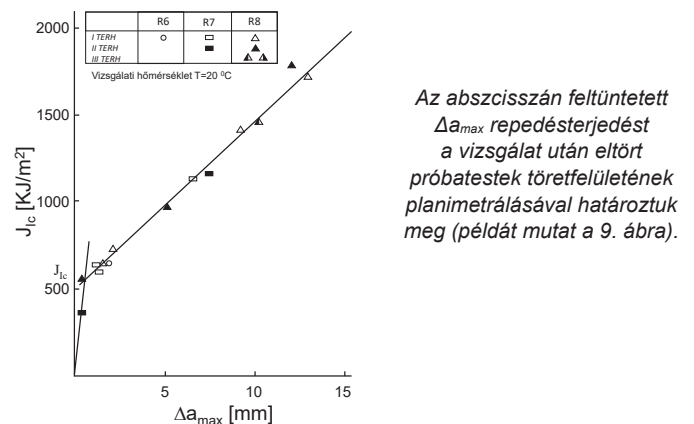
7. ábra: Az ütővizsgálattal mért, és a repedésterjedésnél regisztrált törési szívósság összehasonlítása

A 7. ábra a törési szívósság (K_{Id}) változását mutatja a vizsgálati sebesség függvényében, összehasonlítva a törés folyamatában mért törési szívóssággal. Látható, hogy a vizsgálatainkkal meghatározott anyagjellemző mértékadó a repedés megállítása szempontjából, amire a K_{Id} megnevezéssel utaltunk a 6. ábrán.

A neutronsugárzás csökkenti a reaktortartály anyagának

szívósságát. A szívósság-csökkenés mérésére a PAV egy kapszulából álló fűzért helyezett el a tartály fala mellett, amelybe próbateteket helyezett el. A fűzért, és a benne elhelyezett próbateteket a VASKUT gyártotta. A próbatetek vizsgálatát a PAV Anyagvizsgáló Laboratóriuma végezte. Az eredmények értékelésére egy Szakértői Testület alakult Dr. Trampus Péter vezetésével. A VASKUT képviselőjében Dr. Rittinger János volt a Szakértői Testület tagja.

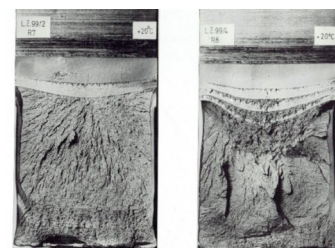
Statikus terhelés mellett a reaktortartály teljes (180 mm) falvastagságát megközelítő, 6 CT próbatettel is meghatároztuk a reaktortartály anyagának törésmechanikai anyagjellemzőit. A vizsgálatokra a SKODA Művek laboratóriumában, MTS 250 tonnás szakítógépen került sor, mivel Magyarországon nem állt rendelkezésre a próbatetek töréséhez szükséges terhelőerőt biztosító szakítógép.



8. ábra: A reaktortartály anyagának 6 CT próbatettel, statikus terheléssel meghatározott R-görbéje.

Megjegyzés:

- R6, R7 és R8 anyagcsoportra utaló jelzés
- I. TERH, II. TERH és III. TERH a stabil repedésnövekedést előidéző terhelés nagyságára utal (a fenti jelölések néhány további ábrán is fellelhetők)

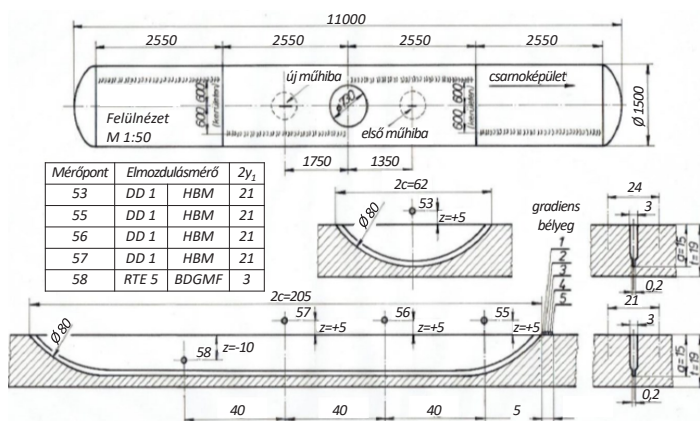


9. ábra: 6 CT próbatetek törtfelülete, amelyen jól láthatók az I. TERH, a II. TERH és III. TERH szintekkel létrehozott stabil repedésnövekedések

A statikus vizsgálat eredménye a 8. ábrán látható R-görbe. Anyagjellemző a statikus repedésterjedés mérőszáma, az 5. ábrán definiált „tépődési modulus”: $T = 96$.

3.1.2 Feszültségek, alakváltozások és elmozdulások mérése tartályokba preparált, síkbeli hibák környezetében

A törésmechanika alkalmazásának elősegítésére vizsgálatokat végeztünk különböző méretű és anyagú tartályokon:



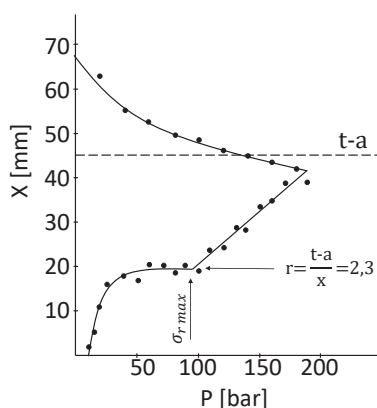
10. ábra: Hibák, nyúlásmérő bélyegek és elmozdulás-mérők 18 m³ térfogatú lágyacél tartályban

- 18 m³ térfogatú, hengeres, lágyacél gáztároló tartályon, átmérő: 1500 mm, falvastagság: t = 19 mm;
- 100 m³ térfogatú, St 52.3 anyagú, cseppfolyós PB tároló tartályon, átmérő: d = 5760 mm, falvastagság: t = 22 mm;
- 25 m³ térfogatú, hengeres, BHW 38 anyagú hőerőművi kazándobon, d = 1800 mm, t = 85 mm;
- 22 m³ térfogatú, 15H2MFA anyagú, atomerőművi modelltartályon, d = 1800 mm, t = 85 mm, plattírozott.

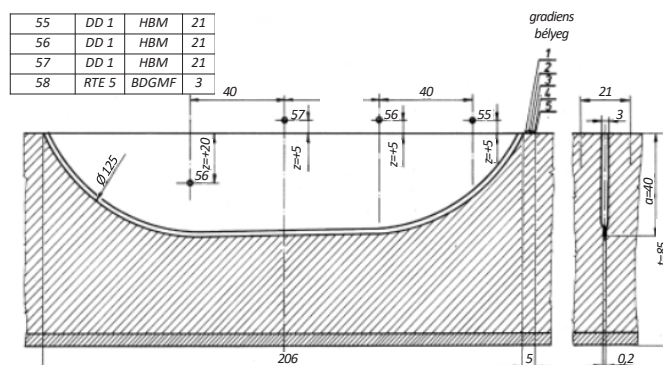
A lágyacél tartály preparálását és jeladóit a 10. ábrán tüntettük fel. A 100 m³-es gömbtartályba 13 mm mély műhibákat helyeztünk el az alapanyagba (a varratokkal párhuzamosan), és a hegesztett kötésbe (a varratokra merőlegesen). A 25 m³-es kazándobba 11 műhibát készítettünk, amelyek bemutatásához szükséges ábrák száma meghaladja a cikk lehetőségeit. A modelltartályba egy műhiba került, amelynek jellemzői a 11. ábrán láthatók.

A vizsgálatokhoz összesen kb. ezer nyúlásmérő bélyeggel, kb. 100 elmozdulásmérőt használtunk. A méréseket többszöri fel- és leterheléssel végeztük. Valamennyi vizsgálatnál regisztrálták az akusztikus emissziós jeleket is.

A terhelés változásával folyamatosan változik a repedéskinyílás elfordulási középpontja. Példaként a modelltartályban lévő műhiba (11. ábra) elfordulási középpontjának változását mutatja a 12. ábra az első terhelésnél (a második felterhelésnél az elfordulási középpont hasonlóan változik).



12. ábra: Elfordulási középpont változása a modelltartály műhibájának első terhelésénél



11. ábra: Hibák, nyúlásmérő bélyegek és elmozdulás-mérők atomerőművi modelltartályban

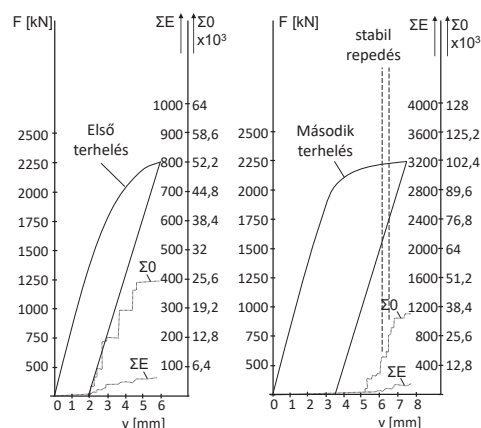
3.1.3 Akusztikus emissziós vizsgálatok

A vizsgálatokat a KFKI AEKI Mérésautomatizálási Osztály és a VASKUT Hegesztési Osztály közösen végezte. A KFKI feladata az eszköz- és a mérés technika fejlesztése, a VASKUT feladata az eredmények interpretálása volt az akusztikus emissziós méréssel instrumentált próbatestek és tartályok vizsgálati eredményei alapján. A kutatásokat a KFKI részéről Péter Attila vezette, részt vett benne Dr. Pelionisz Péter, Geréb János, Lafrankó Gábor, Lipták András, Kőmíves Ákos, Paár Ferenc. A VASKUT részéről Fehérvári Attila vezetésével Dr. Rittinger János, Dr. Tóth Károly, Udvardi Tibor, Schwarczenberger Pál, Szántó László és Kovács István dolgozott a kutatásban.

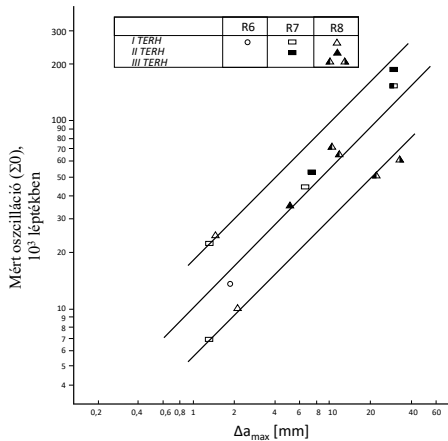
A vizsgálatokat 500 kHz saját frekvenciájú, Dunegan Endevco detektorokkal, a KFKI által folyamatosan fejlesztett jelfeldolgozó eszközökkel végeztük.

A 13. ábra a 6 CT próbatestek (R-görbét lásd a 8. ábrán) akusztikus emissziójának jellemzőit (ΣE és ΣO) mutatja két egymást követő terhelésnél. Az ábra alapján levonható fontosabb következtetések:

- a rugalmas alakváltozás ($\sigma < R_p$) nem emittál akusztikus jeleket,
- a maradó alakváltozás kezdetén megindul, és az alakváltozással folyamatosan nő az emisszió (bal oldali ábra),
- a második terhelésnél nincs emisszió, amíg az alakváltozás el nem éri az első terhelésnél fellépő alakváltozást: Kaiser effektus (jobb oldali ábra).



13. ábra: A 6 CT próbatestek akusztikus emissziója a repedés kinyílás függvényében

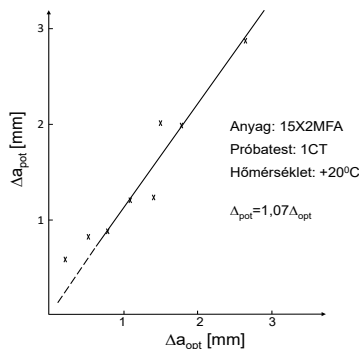


14. ábra: Az AE jelek egyik paraméterének kapcsolata a repedésterjedéssel

A 14. ábra összefoglalja a 6 CT próbatestek AE vizsgálatánál mért oszcilláció (ΣO) és a stabil repedésterjedés ($\Delta a_{\max}$) összefüggését, amelynek meredeksége az anyagtól és a próbatesttől függ.

Az akusztikus emissziós vizsgálatok eredményeinek széleskörű hazai és nemzetközi publicitása volt (lásd: Fehérvári Attila Ifjan-Éretten-Öregen, 2021. 7.1. melléklet³)

A projekt egyik hasznos „mellékterméke” egy repedés-terjedés érzékelésére alkalmas mérőeszköz volt (KFKI gyártmány), amelynek működése örvényáramos potenciál-méréseken alapult. A készülék lehetővé tette, hogy olyan helyen is végezhesünk repedésterjedés mérést, ahol a hely-, a hőmérséklet-, és/vagy a közeg miatt arra más módon nem volna lehetőség. A 15. ábra potenciálméréssel (Δa_{pot}) és közvetlen méréssel (Δa_{opt}) a VASKUT által végzett vizsgálat eredményét hasonlíttja össze.



15. ábra: A potenciálméréssel és optikai úton meghatározott repedésterjedés

A/11-4 téma tudományos és szakmai jelentősége, továbbá a VASKUT költségeihez történő jelentős hozzájárulása miatt Dr. Rittinger Jánost nevezték ki vezetőnek a Hegesztési Osztály élére, amire már régen – az Acélmétallurgiai Osztály Hegesztési Csoportjának eredményes, és országos jelentőségű tevékenységének vezetésével is – rászolgált.

4. Hegesztési Osztály tevékenysége: 1985-1986

Osztályvezető: Dr. Rittinger János

Az A/11-4 téma eredményeinek széleskörű hasznosulása végett a VASKUT leányvállalata, a szellemi termékek hasznosítására létrehozott FERINOV megbízta Fehérvári Attilát, Dr. Fusch Eriket és Dr. Rittinger Jánost egy kiadvány kidolgozásával. A kiadvány címe: A törésmechanika alkalmazása hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és az acélfelhasználás gazdaságosságának növelése céljából⁴. A kiadványt az Országos Találmányi Hivatal védelem alá helyezte (1985). A kiadvány három kötetből és három mellékletből állt:

1.kötet: Alapfogalmak

2.kötet: Előírások

3.kötet: Vizsgálatok

1.melléklet: K-atlasz

2.melléklet: Anyagjellemzők jegyzéke

3.melléklet: Készülékek gyártási dokumentációja (3 CT, TPB)

A kiadvány tartalmazott empirikus összefüggéseket a képlékeny alakváltozás leírására:

1. R-görbék

$$\frac{K_c}{K_{lc}} = f\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{flow}}\right), \quad (5)$$

2. Tervezési-görbék

$$\frac{\delta_c}{\varepsilon_Y} = f\left(\frac{\sigma_c}{R_p}\right). \quad (6)$$

Törésmechanikai anyagjellemzők összefüggése síkbeli alakváltozási állapotban.

$$J_{lc} = \frac{1 - \nu^2}{E} K_{lc}^2, \quad (7)$$

$$\delta_{ce} = \frac{J_{lc}}{2R_p} = \frac{1 - \nu^2}{2} \varepsilon_Y \left(\frac{K_{lc}}{R_p}\right)^2, \quad (8)$$

A VASKUT-FERINOV kiadvány folyamatos aktualizálása végett Fehérvári Attila, Dr. Rittinger János közzétett egy VASKUT kiadványt, amelynek címe: Anyagjellemzők gyűjteménye⁵. A gyűjteményt Fehérvári Attila tovább gyarapította a WELMAT eladásáig.

Dr. Rittinger János osztályán folytatódott a VASKUT vezető tudományos intézményi tevékenysége Dr. Szunyogh László vezetésével.

1986-ban Dr. Rittinger Jánost felkérték az ERŐKAR Anyagvizsgáló Labor vezetésére, amelyet elfogadott. Személyes barátságunk fennmaradt, az ipari megbízásokért folyó versengésben viszont ellenfelek lettünk.

³ Fehérvári Attila Ifjan - Éretten - Öregen, 80 kérdés-válasz, több, mint nyolc évtizedről, Beszélgetőtárs: Tóth László, 2021

⁴ Fehérvári Attila, Fusch Erik, Rittinger János: A törésmechanika alkalmazása hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és az acélfelhasználás gazdaságosságának fokozása céljából, VASKUT-FERINOV, 1975

⁵ Fehérvári Attila, Rittinger János: Anyagjellemzők gyűjteménye, VASKUT, 1985.

Könyvismertetés

Szeidl György, Kiss László Péter: Mechanikai Rezgések

Book review: Gy. Szeidl, L. P. Kiss: Mechanical Vibration

A könyv címlapja látható az alábbi képen. Hogy miért is éppen az Anyagvizsgálók Lapjában szeretnék utalni a tartalomra? Már az első pillantásra is nyilvánvaló néhány következtetés:

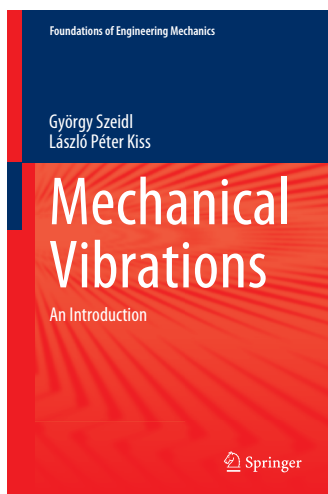
- A könyv kiadója a Springer Nature Switzerland AG,
- Szerzői: Szeidl György és Kiss László Péter,
- A rezgés tan alapjaival foglalkozó munka.

Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy az angolul 2020-ban megjelent, rezgés tanal foglalkozó 448 oldal terjedelmű kiadványhoz néhány a tartalom rövid (nem a „vált-fülűek” számára szól) bemutatása előtt néhány, igazán személyes megjegyzést fűzzek. A könyv igazán kiváló és eklatáns példája a generációk közös eredményeinek. Szeidl György a Miskolci Egyetem professor emeritusa, ebben az évben a napokban ünnepli a 80. születésnapját. A szerzőtárs Kiss László Péter 45 évvel fiatalabb, 1987-ben született. Mindketten a Miskolci Egyetem Műszaki Mechanikai Intézet munkatársai. Meggyőződéssel hiszem, hogy nem kell „politikusi bőbeszédrel” ecsetelnem a kiemelt mondatrészek valódi hátterét, tartalmát. Mielőtt bárki is megvádolhatna azzal, hogy „könnyű annak, aki arról ír, amihez nem ért”, szeretném megjegyezni, hogy a „leánynevén” Nehézipari Műszaki Egyetem 1969-ben végzett első olyan 17 fős csapatának tagja voltam, amely az „Alkalmazott Mechanika Ágazat” (GAM) elnevezést kapta, id. Sályi István professzor határozat közreműködésével pedig „fizetés nélküli munkaerőként” jó néhány évig oktathattam a műszaki mechanika különböző tantárgyait, miközben gyakornoki ösztöndíjamat a Mechanikai Technológiai Tanszéken vehettem fel az e témakörben megtartott óráimat (metallográfia, anyagvizsgálat, hőkezelés, hegesztés) követően. Hogy még közelebb kerüljünk a „fejembe vert” rezgés tanhoz, álljon itt a diplomaterv feladatom kiírása:

Tóth László gépészmérnökjelölt részére
A tervezés tárgyköre: alk.mech.ágazat, szerkezetek dinamikája.
A diplomaterv címe: Rugalmas csapágybakokon ágyazott tengely kritikus jelenségei.

Még talán a dolgozat közvetlen „utóélete” mondhat valamiképpen a „vált-fülűeknek”, amit ez a részlet érzékeltethet:

A bíráló neve: dr. Bonnay Adám
1969. 04. 21
 dátum
 tanszékvezető



Az már „csak hab a tortán”, hogy nem kerülhettem a Tisztelt Bíráló tanszékének munkatársai közé a nyilvánvaló „piszkos anyagiak” miatt (jövedelmemből nem fedezhettem az albérlet és a megélhetés költségeinek töredékét sem).

A 10 fejezetre tagolt könyv minden részletében eklatánsan visszatükröződik az idősebb generáció koncepcionális gondolkodása és a fiatal korosztály precíz „a lényeg megérteni akaró” mondat szerkesztése legyen az az első – mindössze 30 oldal terjedelmű – bevezető rész, vagy az ugyanilyen kimerítő, görbe rudak rezgésével foglalkozó része. Ami a lényeg és nagyon közös a könyv minkét kiemelt részletében: a szilárd test mozgását leíró dinamikai modell megalkotása (jelenség modellezése) úgy, hogy az magába foglalja mindazon sajátosságokat, amelyekre az elemzés összpontosít. Ezzel lehetővé válik bármilyen rezgőrendszer mindenkor működési körülményeinek szimulálása és az üzemeltetés során a monitorozása. Amennyiben a rendszer elemeiben károsodás hatására változás következik be, úgy ez adott határok között érzékelhető lesz. Ez az alapja pl. a forgórendszerek, csapágyak állapotellenőrzésének. Bizonyára minden Tisztelt Olvasó ült/állt olyan autóbussen, amelynek ablakai majdnem kiestek a rezgésből adódóan. De ki gondolta végig azt a rezgés tan modell, amely képes ezt a folyamatot visszatükrözni, azt leírni, avagy arra választ adni, hogy mit tegyek/tehetek annak érdekében, hogy elkerüljem a tapasztalt jelenséget! De folytathatnám más példákkal is. Gondoljunk egy olyan nagyméretű forgórészre, mint az alábbi képen látható.

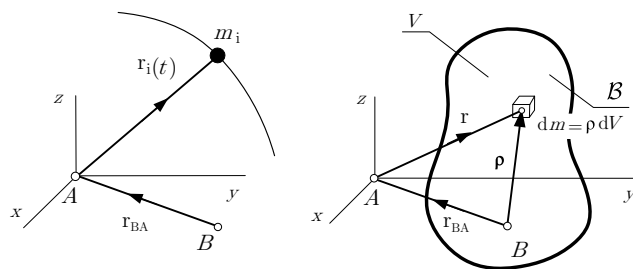


Generátor forgórésze (VASKAPU erőműve, Turnu-Szeverin, 2004, középen balról: Prohászka János akadémikus, középen jobbról: Tóth László)

Gondoljunk csak bele, hogy mi is történne akkor, ha egy ilyen méretű forgórész „berezegne” és „elindulna saját útját járni”. A jelenséget befolyásoló paraméterek, a tömeg, a rugómerevségek, az esetleges excentricitások, a csapágyazások szerepe, hatása mind-mind olyan elem, amely a rezgéstani modellezéseknél figyelembe vehető. A könyv részletesen tárgyalja mindezeket egy- és többszabadságfokú rendszereknél. Nem kívánok a részletekbe bocsátkozni, hanem inkább a rezgéstannak az általános mérnöki gondolkodásban betöltött hangsúlyos szerepét szeretném kiemelni. Egy működő, valamilyen előre kitűzött célt kiszolgáló mérnöki alkotás biztonsági szintjét, megbízhatóságát, integritását az alábbi három tényező együttesen határozza meg:

- a működésük során benne **ébredő mezők** (feszültség, alakváltozás, hőmérséklet, mágneses stb.),
- az **anyagának** a „tervezés, méretezés” szempontjából meghatározó **tulajdonságai** és azok változása, és a
- szerkezetben meglévő vagy keletkező geometriai és anyagfolytonossági **hibák**, ill. ezek esetleges változásai.

Ha a fenti három terület bármelyikét is figyelmen kívül hagyjuk, akkor egy szerkezet integritás mértékének megítélése kapcsán csupán a „sötétben tapogathatunk”. Kétségtelen, hogy számos „gyakorló gépészmérnök” ha kinyitja a könyvet és meglátja a sok koordinátarendszert, nagyon gyorsan be is zárja, de egy picit odafigyelve pl. az 1.4 ábrára (5. oldal) azonnal egy életre szólóan megérti a jelenségek modellezése kapcsán az „anyagi pont” és a „merev test” tárgyalási formákat. Ugyanezt mondhatom a könyv más fejezeteire is azzal a kiegészítéssel, hogy némely részterület alaposabb követéséhez az általános gépészmérnöki oktatásban elhangzottnál mélyebb matematikai ismeretek is szükségesek.



A könyv 1.4 ábrája

Nem én írnám a recenziót, ha nem lennének kívánságaim. Nagyon reménykedek abban, hogy a könyv magyar nyelvű változata is elkészül, mintegy „leporolva” az 1960-as, 1970-es években Bosznay Ádám professzor úr által összeállított rezgéstani tárgyú könyveket, amelyeket a „Ponomarjov-sorozat” előzött meg. Mély meggyőződéssel hiszem és vallom, hogy a gépészmérnöki képzésben kellő súllyal kell megjeleníteni a „mechanikai ismereteknek” még akkor is, ha ez csak a Sályi István által megvalósított kétszintű (külön-mechanika) típusú oktatással lehet csak elérni. Az ok és a cél egyszerű: hazánkban **emblematisz termékekre** van szüksége és **nem pedig „összeszerelő kezekre”**, azaz gondolkodók sokaságára. Ennek csirái pedig a felsőoktatásban érhetnek meg úgy, ahogyan egyetlen itthoni munkával kiérdemelt Nobel-díjasunk mondotta:

Olyan lesz a jövő, mint amilyen a ma iskolája.

(Szent-Györgyi Albert)

Tóth László



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA
HIRDESSZEN NÁLUNK!

**Érje el a szakmai partnereit,
leendő ügyfeleit!**

Hirdessen

az Anyagvizsgálók Lapjával!

Lehetőséget biztosítunk

a nyomtatott kiadványban,
honlapunkon,
vagy a közösségi médiában

hirdetéseinek megjelenítéséhez.

Egyedi árajánlatért írjon az alábbi e-mail címre:

avilap.szerk@gmail.com



A Tűzpassa gőzsiklója



Rusz Károly portré rajza
Széchenyi Ödönről [1]

Széchenyi István kisebbik fia, Ödön György István Károly (1839-1922) sok területen folytatta apja építő munkálkodásait.

Megannyi társaság és vállalkozás alapításával segítette a hazai ipar, kereskedelem és kultúra fellendítését. Közreműködésével létrejött a Magyar Állami Gépgyár (a későbbi MÁVAG egyik elődje), és az Újpesti Hajógyár sok évtizeden keresztül a legfontosabb iparvállalataink közé tartoztak.

A Magyar Kertészeti Társulat, a

Budapesti Hajósegylet, a Kereskedelmi és Iparegylet és még számos hasonló szervezet alapítása mellett, a szabadságharc bukása után betiltott Pesti Sakk-kör újjáalakítása és működésének engedélyeztetése is az ő érdeme volt.

Széchenyi Ödönre a fiatal korában személyesen átélte tűzvések különösen nagy hatást gyakoroltak. Az általa életre hívott országos magyar tűzoltó szövetség mihamar nemzetközi viszonylatban is roppant elismertté lett. Az 1870-ben kitört konstantinápolyi tűzvészben több állam nagykövetsége égett porrá, ezután a szultán Széchenyi Ödönt bízta meg a török tűzoltó szolgálat kialakításával. A szervező, technikai és kiképző munka oly eredményes volt, hogy Széchenyit a legmagasabb állami rendjelekkel tüntették ki, és ő volt az egyetlen, aki keresztény vallását megtarthatta, pasává kinevezéséhez nem kellett a mohamedán hitre áttérnie.

Széchenyi Ödön élete második felét Konstantinápolyban töltötte, a roppant népszerű és megbecsült „Tűzpassa” sírja ma is ott van.

A budai Várba korábban csak gyalog, vagy lassú és eléggé drága fiákokkal lehetett feljutni. Az elsősorban a várbeli minisztériumok hivatalnokainak munkába járását segítő „gőzmelő gép” ötlete is gróf Széchenyi Ödöntől származott.

Az eredeti elképzelés részleteiről a „Pester Skizzen” című hírlap 1867-ben megjelent cikke [2] számolt be. Eszerint a Várhegy oldalának kb. 30°-os lejtőjén:

„...állandóan két kocsi fog egyidejűleg futni, az egyik fel-, a másik lefelé. Ezek hosszú vaslánccal lesznek összekötve, mely fent a Szent György téren egy görgő körül fut úgy, hogy a lefelé haladó kocsi súlyával húzza fel a másik kocsit a magasba. De hogy a különbséget, mely egyedül a kocsik egyenlőtlen terheléséből adódhat, kiegyenlítsék, lent, az Alagút mellett egy kicsiny, csupán hat lóerős gőzgépet állítanak fel, kisegítésként.

A kocsik, hogy padlójuk vízszintes legyen, hátul igen nagy, elől igen kicsiny kerekeken fognak nyugodni.

...

Az egyetlen, ami a terv kivitelezését akadályozhatná, az lenne, ha a budai főparancsnokság nem akarná az erődítés falán az átjárást engedélyezni.”

Az osztrák hadvezetés a budai vár esetleges ostroma miatt aggodalmaskodva, sokáig akadályozta a sikló létesítését. A szükséges engedélyek azonban végül megdadtak, sőt később I. Ferenc József a budai vár erődítés minősítését is megszüntette, és a sikló üzemi területének mind a 339 négyszög mértékű területét a fővárosnak adományozta.

Az első terveket Juraszek Ödön 1869-ben készítette, az építkezést is ő indította el. A terveket alaposan átdolgozva, az építési munkák befejezését a főváros más, nagy építkezéseiben igen komoly szerepet játszott Wohlfarth Henrik végezte.

A sikló legérdekesebb része a Wohlfahrt által szabadalmaztatott biztonsági szerkezet, melynek feladata drótkötél szakadás esetén a kocsik azonnali, biztonságos megállítása volt.

A berendezés próbájáról Wohlfahrt a következőket írta [3]:

„...a hivatalos kísérleteknél a kocsik menetközben a pálya különböző pontjain 3-szor egymás után szabadon bocsájtattak, s mindannyiszor teljes biztonsággal megfogóztak. Első esetben tehernélküli kocsik 16 hüvelyknyire (» 42 cm), másodizben 60 mázsával megterhelve – tehát kétszeresével a rendes megterheletésnek – 20 hüvelyknyivel (» 53 cm), a másik tehernélküli pár-kocsi pedig csak 10 hüvelyknyivel szállt vissza a teljes megállapodásig. A kocsi összsúlya 56 vámmáza.”

1869. október 23-án tartották az első próbamenetet a budai hegypályán, a mai sikló elődjén.

A szerkezet bemutatkozásának kedves dokumentuma a Borsszem Jankó élcslap 1869. november 7-i számának nyitó oldala. A képen a siklót, mint az akkoriban elterjedt, szélkerék hajtotta mechanikus gyelekjátékot a Széchenyi Ödön jól felismerhető arcával megrajzolt bábfigura mozgatja.

A megépült sikló biztonságát különös módon ellenőrizték. A drótkötelek átvágásával, igen sok szájtató érdeklődőt vonzó biztonsági próbák sikere után, 1870. március 2-tól állt szolgálatba a rendszer. A felvonó kötélvasút később még több külföldi hegyen valósult meg, például Nápolyban, a Vezúvra is hasonló készség szállította a turistákat.

A korabeli híradások szerint [5] azonban „...a budai gőzsikló nagy kárt okozott a várba közlekedő társaskocsik tulajdonosainak.”

A megnyitástól számított egy évtizedig a sikló rendszerben működött. Hozta-vitte a Várba a katonákat, tisztviselőket és az országos hivatalokban ügyes-bajos dolgaikat intéző polgárokat. Az egyenruhások örmesteri rendfokozatig két krajcárt, a tisztek négy krajcárt, polgári személyek az I. osztályon nyolc, a II. osztályon hat krajcárt fizettek. Ez a menetdíj felfelé és lefelé, két menetre volt érvényes.

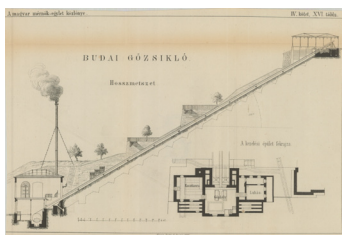
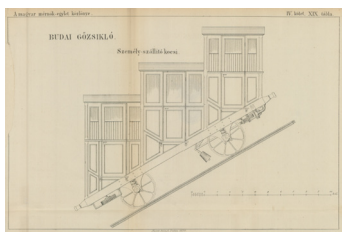


1869. évi Borsszem Jankó
karikatúrája Széchenyi Ödönrel
és a siklóval [4]

Később 16 fillérre változott a tarifa, az 1920-as évektől pedig személyenként egy tantuszért vitt fel, és ugyanannyiért hozott le a sikló.

A szerelvényekben egyszerre maximálisan 24-24 személy utazhatott. A forgalmi adatok szerint, 1870 és 1944 között a rendszer évente 60.000-100.000 (!!!) menetet teljesített; a szállított személyek száma évente 400.000-2.000.000 között mozgott.

A budai gőzsikló 75 évnyi működése során mindössze egyetlen baleset történt. A biztonsági rendszer kötélszakadás esetén teljes biztonságot nyújtott, efféle eseményre soha nem került sor. A szerelvények indítását és megállítását a rendszert kezelő, vizsgázott gépész végezte, a rendszernek azonban nem volt az esetleges kezelési hiba, a szerelvények „megszaladása” ellen védő mechanizmusa.



Néhány lap az eredeti dokumentációból [7]

1896. június 17-én Bánffy Dezső miniszterelnök estélyt rendezett a várban, a magyar és külföldi vendégek már csak a sikló esti üzemzárása után értek a felső állomásra. A szolgálatos gépész munkaideje ekkorra véget ért, a kazán lefűvatását, tisztítását a fűtőre bízva, hazament. A vendégek közül többen – a rendőrségi nyomozás során azonosítani nem sikerült – „rendjeles urak” azonban szitkozódva követelték, hogy a jelen lévő személyzet gondoskodjon a szerelvény elindításáról.

A felső állomás kalauza lekiáltott a pálya közepén örökös felvigyázónak, a felvigyázó a gépházban tevékenykedő fűtőnek – a szitkozódó követelések és oda-vissza kiabálások közben a vendégek megtöltötték a szerelvény kocsi-jait. Az alsó állomáson egyetlen elkésett utas szállt be a szerelvénybe.

A kocsi megállt, és pillanatokon belül fékezés nélkül csapódtak az állomásokba.

A hatósági vizsgálat kiderítette, hogy a kocsi jelzőlámpái nem égtek, és a gépezet kezelésében járatlan fűtő nem tudott idejében fékezni. A balesetben valamennyi utas megsérült, legsúlyosabban a magányosan fölfelé utazó, halálos áldozat azonban szerencséire nem volt.



A sikló és az alagút látványképe [6]

A nagy port felvert ügyet a baleset után három évvel tárgyalta a fővárosi törvényszék. Az ügyész vádbeszédében az alacsony státuszú alkalmazottak mellett a hegy pálya társaság felelősségét is hangsúlyozta [8].

„...A sikló igazgatóságának eljárását ma alaposan megismertük. A jelző-lámpák rossz szaksak voltak, a szegény alkalmazottak semmi strikt utasítást nem kaptak. Magukra voltak hagyva, úgy tettek, amint akartak. Szóval, a milyen a gazda, olyan a cselédje. Sajnos, az

igazgatóságot büntetőjogi felelősségre nem lehet vonni. Ezek a szegény emberek kerültek bajba, mert tagadhatatlan, hogy működésük összefügg a szerencsétlenséggel. De a négy vádlott közül csak kettőt terhel a vád és ezek a fűtő és felső állomáson lévő kalauz. Ők sem követtek el azonban nagyobb hibát, csak gondatlanság terheli őket...”

Az ítélet egyedül a fűtőt marasztalta el: szegény embert a szolgálatból elbocsátás mellett nyolc hónap fogház büntetés is sújtotta.

A II. világháború alatt a gőzsikló épülete, pályája és szerelvényei csupán kisebb mértékben sérültek, a gépezet különös véletlennek köszönhetően, teljesen épen vészelté át az ostromot. A Vár igen súlyos károsodására tekintettel a siklót nem állították helyre, maradványait hamarosan lebontották. A felső állomás hatalmas kötéltoronyját évtizedeken át egy szénbánya aknatornyában használták, a gőzgép ócskavasba került.

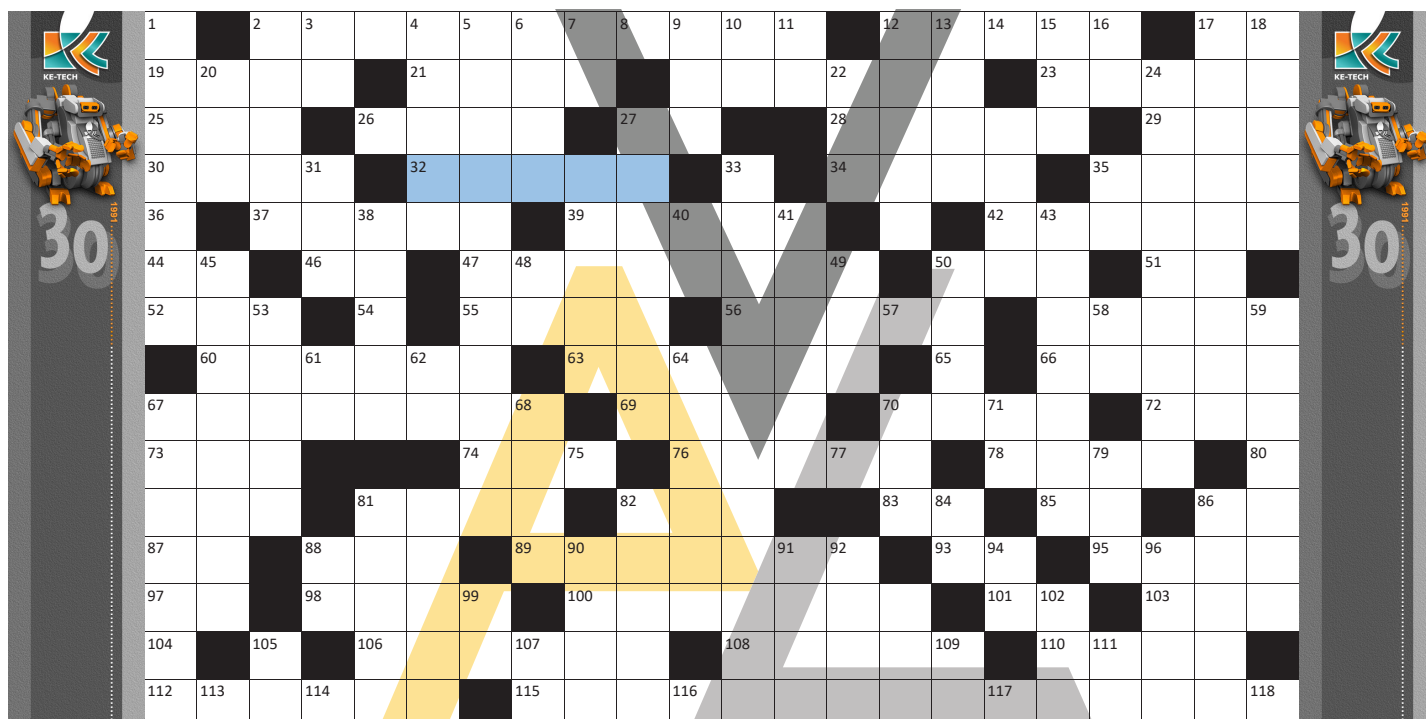
A teljesen felújított, villamos üzemre átalakított siklót 1986-ban adták át a forgalomnak. A gőzgéppel egykorú, remekbe készült 1:12 léptékű működő modell szerencsére megmaradt, a Műszaki Múzeum Tanulmánytárában csodálható meg.

Laczik Bálint

Irodalomjegyzék

- [1] Ruzs Károly portréi: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Portraits_by_K%C3%A1roly_Ruzs (Letöltés dátuma: 2022.08.15.)
- [2] Pester Skizzen. Pester Lloyd, 1867. nov. 5., p. 6.
- [3] Wohlfahrt Henrik: A budai gőzsikló, Magyar Mérnök-Egylet Közlönye (4) No. 5, 1870, 251-254 o.
- [4] Petrik Ottó: A "Budai Hegypálya" centenáriuma, Közlekedéstudományi Szemle XX. évf. 1970. 6. szám, 270-274. o.
- [5] Vasárnapi Újság 1870 május 1., 221. o.
- [6] Vasárnapi Újság 1869 december 19., 51. szám 700. o.
- [7] A Magyar mérnökegylet közlönye 1870, 4. kötet XVI-XIX. tábla
- [8] Magyar Újság VIII. évf. 155. szám 5-6. o., 1899 június 7.

Anyagvizsgálók Lapja keresztrejtvény



Vízszintes

- 2 Betét hasznának bevétele
- 12 Régi fegyver
- 17 Nap kétharmada
- 19 Taktus
- 21 Megszabadul tőle
- 23 Folyadék, nem tömény
- 25 Gléda
- 26 Tej, idegen nyelven
- 27 Üres angol autól
- 28 Ázsiai városállam
- 29 A régi cirill ábécé 32. betűje
- 30 Végtelen kártya szín
- 32 **MEGFEJTÉS: A KETECH Kft. egyik vizsgáló berendezése**
- 33 Kórház jele
- 34 Észak-afrikai
- 35 Erzsébet becézve
- 36 Év fele!
- 37 Egy róka neve
- 39 Izzó márká
- 42 Kerékgyártó
- 44 Egy fém vegyjele
- 46 Hely rag
- 47 Osztrák tartomány
- 50 Élet
- 51 Dél-európai ország autó jele
- 52 Robbanó anyag
- 54 Nap eleje!
- 55 Ceruza
- 56 Régi
- 60 Északi puszta
- 63 Étél izesítő

- 65 Nitrogén
- 66 Háztartási edény
- 67 Spanyol férfinév
- 69 ...palló, támszerkezet
- 70 Írat köteg
- 72 Elme
- 73 Középen barna!
- 74 Nem ül
- 76 Iskola előtti intézmény
- 78 Történelmi korszak
- 80 Spanyol autók jele
- 81 Török méltóság
- 82 Vég nélküli atom!
- 83 Természetes alapú logaritmus
- 85 Állati lak
- 86 Orosz/Szovjet repülőgép típus
- 87 Liget magánhangzói
- 88 Kötőszó
- 89 Végzetes
- 93 Könnyűfém
- 95 Homokbucka
- 97 Pót kétharmada
- 98 Hazai
- 100 Éra
- 101 52 hét
- 103 Tetem mássalhangzói
- 104 Óra közepe!
- 105 A 9-es rendszámú anyag vegyjele
- 106 Piszkol
- 108 Női név
- 110 Megközelít
- 112 Női név
- 115 Törvénytelenségek

Függőleges

- 1 Azonnal
- 2 Nem szögletes
- 3 Americium
- 4 Balatoni helység
- 5 Földterület bérbé adása
- 6 Ész játék
- 7 Mazda közepe!
- 8 Dél-európai ország autó jele
- 9 Téli lecsapódás
- 10 Kés része
- 11 Vas megyei település
- 12 Homok
- 13 Paul ..., énekes
- 14 Karbon
- 15 Indulatszó
- 16 Sír
- 17 Középkori katona
- 18 Trampus ..., (A MAROVISZ elnöke)
- 20 Lakoma
- 22 Fohász
- 24 A MAE elnökének keresztnéve
- 26 Méter
- 27 Szögfüggvény
- 31 Hátsó
- 33 Eredményesség mérete
- 35 Bolgár autók jelzése
- 38 Csúf
- 40 Nemesgáz
- 41 Horgászbót márká
- 43 Azon a helyen élő
- 45 Világháló
- 48 Aratás kezdete!
- 49 Aorta eleje!
- 50 Megbízhatatlan
- 53 ... Severin (Szörényvár - erdélyi város)

- 57 Sugár
- 58 A tegnapi holnapja
- 59 Szubjektív állapot
- 61 En-ek!
- 62 A periódusos rendszer 86. eleme
- 64 Szószedet
- 67 Időmérő eszköz
- 68 Északi férfinév
- 70 American Airlines Group árfolyam
- 71 Állóvíz
- 75 Olló egyik mássalhangzója
- 77 Ebéd vége!
- 79 Kiköt
- 81 Egység
- 82 Korallzationyokból felépülő, gyűrű alakú sziget
- 84 Sűrgető szó
- 86 Bevezető, bevezetés idegen szóval
- 88 Indulatszó
- 90 Állati lakhely
- 91 Felkavaró
- 92 Spanyol szent
- 94 Nedv
- 96 Csapás
- 99 Szintén
- 102 Gabonát ültet
- 105 Szerves szerkezeti anyag
- 107 Édesség fele
- 109 Siemens-Martin rövidítése
- 111 Láma eleje!
- 113 A átmérő felének jele
- 114 A levegő egyik alkotórészének vegyjele
- 116 Közelítőleg 2,718
- 117 Jód vegyjele
- 118 Kálium vegyjele

A helyes megfejtők között a **KETECH Kft.** által felajánlott ajándék kerül kisorsolásra.

A megfejtéseket az avilap.szerk@gmail.com email címre várjuk, ahol a tárgy mezőbe tüntesse fel a "Keresztrejtvény" kifejezést.
Beküldési határidő: **2022.december 4.**

A 2022/II. lapszám keresztrejtvényének nyertese: Zsíros Zsombor

Making our world more productive



Ipari és egészségügyi gázok kezelésének általános biztonságtechnikai szabályai

Ipari és egészségügyi gázokkal kapcsolatos balesetek, káresemények megelőzéséhez szükséges információk

Gyakorlati bemutatókkal egybekötött tanfolyamainkat ajánljuk minden partnerünknek, aki ipari gázokat palackos, palackköteges vagy központ gázellátás keretében sűrített vagy mélyhűtött cseppfolyós formában felhasznál.

A tanfolyam témái:

- Biztonságról általában
- Jogi háttér
- Gázok tulajdonságai
- Gázpalack, mint nyomástartó berendezés
- Nyomástartó berendezések és csővezetékek kezelése
- Gázpalackok biztonságos kezelése
- Acetilén biztonságos kezelése
- Oxigéndúsulás veszélyei
- Széndioxid biztonságos kezelése
- Semleges gázok biztonságos kezelése, oxigénhiány veszélyei
- Mélyhűtött cseppfolyós gázok biztonságos kezelése

Linde Gáz Magyarország Zrt.

1097 Budapest, Illatos út 17.

lindehu@linde.com, www.lindegas.hu

Making our world more productive



Linde hidrogén A holnap üzemanyaga ma



H₂ üzemanyagtöltés

Összekapcsoljuk a hidrogén világot- a forrástól a kiszolgálásig

Ha hidrogén, akkor Linde.

A hidrogén jövő már itt van, és a Linde szállítja azt. A Linde az egyetlen olyan vállalat, amelynek működése kiterjed a hidrogén értéklánc minden egyes szakaszára, az előállítástól és feldolgozástól kezdve, a disztribúción és tároláson át, a mindennapi ipari- és fogyasztói felhasználásig. A több évtizedes kutatásra és számtalan megvalósított projektre építve, a Linde hidrogén területén rendelkezésre álló képességei bizonyítják a vállalat innovációs erejét, és igazolt szakmai tapasztalatát a tömeges alkalmazásra szánt, működőképes, gazdaságilag életképes hidrogén-technológiák megvalósításában.

Várható, hogy ezen technológiák iránti kereslet növekedésnek indul, mivel a hidrogén ideális megoldást kínál a fenntarthatóbb energiaforrásokra való áttérés felgyorsítására, miközben továbbra is támogatja a meglévő energiamodelleket és regionális eltéréseket. A hidrogén egy kibocsátásmentes üzemanyagforrás vonatok, buszok és autók számára.

Szeretné gyorsan, biztonságosan és a legmodernebb technológiák felhasználásával újtára indítani hidrogén projektjét? Akkor a kezdetektől egy olyan partnerre van szüksége, aki szakértelmével a hidrogén alkalmazásának minden szakterületét lefedi.

Vegye fel a kapcsolatot szakértőkből álló csoportunkkal:
lindehu@linde.com



Linde Gáz Magyarország Zrt.

9653 Répcelak, Carl von Linde út 1.
www.lindegas.hu
lindehu@linde.com