

ZEISS

UNICAM
Magyarország Kft.



2023/IV.
lapszám

UNICAM

Magyarország Kft.

Analitika



iCap Pro



Niton XL5 Plus

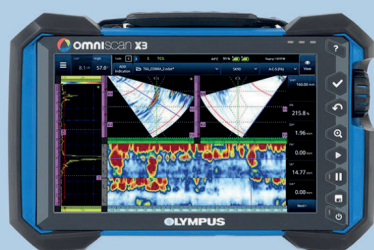


CIX100

Képkalkotás



DSX1000



OmniScan X3



Iplex NX

NDT

1144 Budapest, Kőszeg utca 29.
Telefon: +36 1 221 5536
E-mail: unicam@unicam.hu
Web: www.unicam.hu

ThermoFisher
SCIENTIFIC

EVIDENT

Mélyen tisztelt Olvasóim!



A 2023/IV. lapszámot tartja kezében az, aki a Jegyzet rovatot éppen most, 2024-ben olvassa. Igen már ezen egyetlen mondat alapján is több következtetés vonható le. Az első – és talán jogos is – az lehet, hogy „ejnye-bejnye”, már megint később jelent meg a lapszám, mint ahogyan az illetett volna! Igen, igaza van a Tisztelt Olvasónak! A felelős szerkesztő – mint a legfőbb „ludas” – viszont megpróbál „védekezni” a JPÉ-technológiával (józan paraszti ész) és visszakérdez. Mi is kell egy lapszám megjelentetéséhez? Legyen közlendő, azaz cikk és találjunk olyan személyt, személyeket, akik gondozzák a lapszámhoz vezető út minden egyes lépését a beérkezéstől, a bírálatok elkészíttetésén keresztül egészen a szerzők formai és tartalmi jóváhagyatásáig. Ez pedig nagy- és felelősségteljes munka, amely senkitől nem várható el teljesen térítésmentesen. Így a „felelős szerkesztő-re” hárul az a feladat, hogy próbáljon kialakítani olyan „üzleti modellt, tervet”, amelyet a lap piaca elfogad, befogad. Korábbi felelős szerkesztőnk, a kiváló Dr. Gillemot László halálát követően – talán – sikerült is megtalálni, megfogalmazni és kivitelezni egy olyan modellt, amely, ha nem is „just-in-time” rendszerben teszi lehetővé az egyes lapszámok világra jöttét, de megszületésük nem maradt el. A folyamatos tartalmi erősödés mellett a formai „megszépülés” is nyomon követhető és eklatánsan érzékelhető. Új rovatok jelentek meg és folyamatossá váltak, új „ruhákba bújhatott lap”, amelyeket számos olyan „járókelő” (olvasó) már „csinosnak” tartott és dicsért, akikre – szakmai tekintélyük okán – érdemes odafigyelni.

Most újból megtehetünk egy újabb lépést Dr. Somogyi Sándor jóvoltából, aki hosszú ideig ASME szakértőként dolgozott világszerte és elvállalta, hogy az eddig „Minőségbiztosítás” név mögött meghúzódó rovatcímet élővé és állandóvá formálja. Hogy miképpen is? Olvassák el a rovatvezető elképzeléseit és segítsék kérdéseikkel a pezsgő környezet kialakítását.

A lapszám megjelenésének másik követelménye, hogy szülessenek olyan kutatási eredmények, amelyek közérdeklődésre tarthatnak számot. Ebben a Siófokon 2023. november 16-18. között, mintegy 200 résztvevővel megtartott és kiválóan megszervezett 43. Balatoni Ankét kellő municióval szolgált. A rendezvény kiemelt témája ugyanis „A mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásának lehetőségei a nyomás-tartó rendszerek gyártása, javítása, karbantartása, vizsgálata területén” volt. Ha egyszerűen és közérthetően szeretnék fogalmazni, akkor csak ennyit írnék: öröm volt válogatni az elhangzott előadások közül, hiszen a MI alkalmazásának különböző lehetőségeit tekintették át. Ez pedig akad bőven. Igaz ehhez megfelelő szintű számítógépes háttérre van szükség. Milyen háttérrel rendelkezik hazánk? A Debreceni Egyetemen 2023. január 14-én adták át hazánk legnagyobb számítási teljesítményű szuperszámítógépét a Komondort, amely tartalmaz mesterséges intelligencia- és „big data”-partíciót is. A nemzetközi trendhez való felzárkózási törekvéseinket híven jellemzik a következő lépések, események: 2018 - MI Együttműködési Nyilatkozat aláírása, 2020 - Magyarország MI Stratégiájának elkészítése, MI koalíció megalapítása az állami és ipari résztvevők összefogására, MI Nemzeti Laboratórium létrehozása. Ez utóbbi a következő területeken végez államilag támogatott kutatásokat: MI matematikai alapjai; nyelvtechnológia fejlesztése; gépi tanuláson alapuló intelligens gyártás, logisztika, távközlési IoT megoldások fejlesztése; biztonság és személyes adatok védelme; gépi látás és érzékelés; orvosi, egészségügyi alkalmazások.

Miközben gépészmérnökként, volt egyetemi oktatóként, kutatóként leírtam a fenti sorokat, kopogtatott bennem a „kisördög”, aki feltette nekem az alapkérdést. No és hol fognak megjeleni a magyar gazdaságban az MI eredményei? Hirtelenében abba is hagytam az írást és sorolni kezdtem magamban a Mechwart-technológiával hőkezelt, egész Európában futó sínektől, a magyar hozzájárulást a világ vasútvonalainak villamosításához, a Weiss Mainfred Művek és Tungsram világhírű termékein át a Rubik-kockáig. Eddig jutva életem meghatározó tevékenységéig, az oktatáshoz érve Trefort Ágoston, Baross Gábor, Eötvös Loránd, Klebansberg Kuno neve futott át agyamon. Ekkor szembesültem jelen korunk oktatási problémáival és nem éppen „tudásintenzív” követelményeket támasztó iparpolitikánkkal.

Tóth László
felelős szerkesztő

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség
(MAROVISZ) kiadványa,

az ország vezető szaklapja.

Alapítva: 1991-ben.

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

Kiadó:

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati 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

Dr. Somogyi Sándor

Spisák Bernadett

Szűcs Pál

Nemzetközi szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Bitay Enikő (Románia)

Dr. Djorde Dobi (Szerbia)

Dr. Dusza János (Szlovákia)

Dr. Kristián Máthás (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

SZÉLES Levente, HORVÁTH Richárd	6
Eltérő elemszám mellett is azonos térfogattal rendelkező fraktál inspirált metaanyagok tervezése és zömitéssel szembeni mechanikai tulajdonságai	
Design and mechanical characterization of fractal-inspired metamaterials of the same volume despite the element number	
Kirchkeszner Csaba	18
Nincs biztonságos és versenyképes lítiumion-akkumulátorgyártás korszerű analitikai és képalkotó módszerek nélkül	
Safe and competitive lithium-ion battery production cannot exist without modern analytical and imaging techniques	

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK – NON-DESTRUCTIVE TESTING

DUDRA Judit, ZSÍROS Zsombor, MARGITAI Péter, PATAKI Márton, SZÁVAI Szabolcs, MATÓK Viktor, BALOGH Csilla, VICZENA Julianna, BÉRES Bence	23
Mesterséges Intelligencia alkalmazása a képalkotó vizsgálatok értékelésében	
Application of Artificial Intelligence in the evaluation of NDT imaging	

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS (MINŐSÉG, MEGBÍZHATÓSÁG) – QUALITY ASSURANCE (QUALITY, RELIABILITY)

SOMOGYI Sándor	29
Minősbiztosítási rovat - Beköszöntő	
Quality Assurance - Welcome	

HÍREK – NEWS

ÉRDI-KRAUSZ Gábor	30
A Mesterséges Intelligencia az ipar jövője	
Artificial Intelligence is the future of industry	
SZILÁGYI Zsombor	32
Magyarország energia szerkezete a jövőben	
Energy structure of Hungary in the future	
TÓTH László	35
Trampus Péter – 2023. évi HÉLIOSZ-díjas	
HÉLIOS Award – Péter Trampus in 2023	
SKOPÁL István	36
SZABVÁNYMÓDOSÍTÁS – MSZ EN ISO 9712 !!!	
STANDARD REVISION – MSZ EN ISO 9712 !!!	

FÓRUM - FORUM

TÓTH László	38
Gondolatok, észrevételek a „szerkezetintegritás” és a „szakítóvizsgálat innovatív kiértékelésének” módszertanához	
Reflections, remarks on the methodology of „structural integrity assessment” and „innovative evaluation of the tensile testing”	
FEKETE Tamás	43
Rövid szerzői reflexió a „Gondolatok, észrevételekre ...”	
Brief author's reflection on "Reflections, remarks ..."	

PORTRÉ – PORTRAIT

TÓTH László	46
A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja – Czigler Győző (1897-1904)	
Presidents of the Hungarian Association for Material Testing – Győző Czigler (1897-1904)	
SKOPÁL István	50
Beszélgetés Szücs Pál Jánossal	
Interview with Pál János Szücs	

BEMUTATJUK... - INTRODUCING...

GÁTI József

53

Az Óbudai Egyetem Mechanikai Technológia Tanszékének rövid története az alapításától napjainkig
A brief history of the Department of Mechanical Technology at Óbuda University from its foundation to the present

NEKROLÓG - OBITUARY

TÓTH László

64

Volodymyr Vasyliovych PANASYUK (1926-2023)

LADÁNYI Péter

68

Anatolij Dubov (1945-2024)

ÉRDEKESSÉGEK - POINT OF INTEREST

LACZIK Bálint

70

Lánc, lánc, eszterlánc...
Chain, chain, Ester's chain1

Keresztrejtvény - Crossword

74



Előfizetés megújítás! Még most sem késő!

Ne felejtse el

a meglévő előfizetését megújítani vagy
új előfizetését elindítani!

A korábbi nyomtatott lapszámok
kedvezményesen megvásárolhatók!

Írjon a marovisz@marovisz.hu email címre!



Eltérő elemszám mellett is azonos térfogattal rendelkező fraktál inspirált metaanyagok tervezése és zömítéssel szembeni mechanikai tulajdonságai

Design and mechanical characterization of fractal-inspired metamaterials of the same volume despite the element number

Széles Levente^a, Horváth Richárd^b

^aÓbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, szeles.levente@cl.uni-obuda.hu

^bÓbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, egyetemi.docenshorvath.richard@bkg.uni-obuda.hu

Kulcsszavak

fraktál-ihletett geometria, lattice szerkezet, végelelemes módszer, additív gyártástechnológia, zömítő vizsgálat

Keywords

fractal-inspired geometry, fractal-inspired geometry, lattice structure, finite element method, additive manufacturing, compression test

Absztrakt

Ebben a tanulmányban olyan fraktál ihletésű négyzetalapú metaanyagokat hoztunk létre és írtuk le azok létrehozását paraméteres egyenlettel, melyeknek az alapterületük, ezáltal az abból létrehozott térfogatuk és tömegük állandó a cellaszámtól függetlenül. A metaanyagokat kétféle elrendezéssel hoztuk létre, nyomott rudas rendezett kivitelben, valamint eltolt hajlításhoz kitett elrendezéssel is. Az új metaanyag struktúrák létrehozásán túl célunk volt azok energiaelnyelésének és tönkremenetelének vizsgálata is. Végelelemes és valós zömítő vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálatok eredményeként következtetést vontunk le az energiaelnyelés és a cellaszám, valamint a cellák elrendezése közötti kapcsolatra vonatkozóan.

Abstract

In this study fractal inspired equal volume and mass metamaterials are created. The specimens consist of simple square elements, based on the presented parametric equation. Specimens were created with an ever-increasing element number and in two different layouts. The ordered layout consists solely of compressed rod elements, while the rods in the offset structure are subjected to bending. The equal volume specimens allow us to clearly investigate the effect of element number and geometrical layout via compression testing and finite element method.

1. Bevezetés

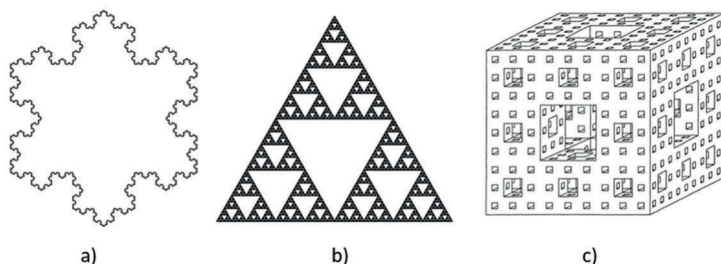
A fraktál geometria és a metaanyagok igen nagy törtelemmel rendelkeznek. A fraktálok történelme (bár nevüket később a XX. században Mandelbrot-tól kapták) a 17. században kezdődött. Már Gottfried Leibniz is elmélkedett a rekurzív önhasonlóságról [1], majd az 1800-as évek végén Henri Poincaré és Felix Klein fedezte fel azokat az alakzatokat, melyeket ma "öninverz fraktáloknak" nevezünk [2]. 1904-ben Helge von Koch Poincaré ötleteiből kiindulva a geometriából levezethető definíciót javasolt és az első, kézzel rajzolt képeket is elkészítette egy azonos ismétlődő mintáról, amelyet ma a sokak által ismert Koch-hópehelynek nevezünk. Nem sokkal később Waclaw Sierpinski 1915-ben alkotta meg azt mintát, amit ma Sierpinski-háromszögnek hívunk. Majd Benoît B. Mandelbrot [2] lengyel származású matematikus alkalmazta először a fraktál kifejezést, mely a latin fractus szó alapján "töröttet" vagy "töredezettet" jelent. Néhány jellemző példát ismertet fraktál geometriákra az 1. ábra.

Metaanyagnak tekintünk minden olyan anyagot, melyet úgy terveztek, hogy olyan tulajdonságokkal rendelkezzen

melyek ritkán figyelhetők meg természetes anyagokban – ebből adódik alkalmazásuk előnye is. A metaanyagok általában több elemből (például Lattice-okból) felépülő tervezett szerkezetek, tulajdonságaik nem az alkotó alpanyagból, hanem magából a szerkezetből származnak. A metaanyagok viselkedése számos mechanikai [7-10], hőtani [11-12], sőt akár még rezgéstani [13-16] paraméterek mentén jellemezhető, vizsgálható. Természetesen szerkezettől függően, főleg, ha auxetikus anyagok (de nem kizárólag) képzik a vizsgálat tárgyát, akkor a Poisson tényező szerint is lehet jellemezni a metaanyagokat [7].

Már az ezredfordulón Deshpande és tsi. [17] azokat a topológiai kritériumokat tárgyalták, amelyek megszabják, hogy egy metaanyag rácsszerkezetében hajlítás vagy húzás dominál-e, amely befolyásolja a metaanyag deformációs viselkedését. A jelenséget később Chen és tsi. [18] munkájában is megfigyelhetjük, melyben 3 dimenziós Lattice szerkezeteket vizsgálva megállapították, hogy a hajlítás domináns Kelvin szerkezet zömítéssel szembeni ellenállása közel fele akkora, mint az nyolcszög (octet) vagy a kockaktaéder (cuboctahedron) szerkezet esetében mért érték. Általánosan elmondható, hogy kedvezőbb energiafelvevő képességgel a hajlítás-domináns szerkezetek rendelkeznek [19]. Wagner és tsi. [20] azonban a hajlítás és húzás-domináns viselkedések közti hézagot képesek voltak elmosni egy újfajta szerkezettel, mely külső hatásra (hő) képes megváltoztatni viselkedési mechanikáját. Szendvicsszerkezet alapú hierarchikus „stretch-bend-hybrid” (húzás-hajlítás-hibrid) szerkezeteket már korábban 2013-ban is létrehozottak [21], ahol az elemi cella piramis geometriájú volt.

Szintén hierarchikus Lattice szerkezeteket hozott létre Al Nashar M. & Sutradhar [22] azok kedvezőbb energiafelvevő képességük vizsgálata érdekében.



1. ábra: Fraktál geometriák:

a) Koch hópehely [3]

b) Sierpinski háromszög [3-4]

c) Sierpinski szivacs (3. iteráció) [5-6]

A szerzők megállapították, hogy a hierarchia bevezetésével a szerkezet energiafelvevő képessége 4-5-ször nagyobb lett. A hierarchikus szerkezetek mellett jelentős figyelmet kapott a „zömölő-csavarodó” viselkedés. Egy 2019-es publikációban Zhong és tsi. [23] egy egyszerű négyzet kivágásokkal ellátott síklapokból álló szerkezetet vizsgáltak, melyben a négyzetek sarokpontjait ferde rúd elemmel összekötve érték el zömítés hatására a csavarodó viselkedést. Hasonló geometriát alkalmaztak Zheng és tsi. [24]. Az egyszerűbb négyzet kivágások helyett, a vízszintes síkok tetrakirális alapúak. Megállapították, hogy az elemszám növelése csak egy darabig növeli a TTC (tension-torsion coupling (húzó-csavaró kapcsolat)) hatást, mely szerkezettől függően az elemszám növelésével csökkenésnek is indulhat. Az előző két publikációban a vízszintes síkokat a sarokpontokban egy – egy ferde rúddal kötötték össze, így a Liang és tsi. [25] által megalkotott szerkezetben már két-két ferde rúd elemmel valósul meg a kapcsolat. A szerkezet természetesen továbbra is nyomó terhelésre csavarodik, sőt a szerzők a redundáns régiókat eliminálva egy még hatékonyabb szerkezetet is terveztek.

Egy szerkezetet nem csak egy adott irányú nyomó terheléssel szemben lehet optimalizálni, hanem két vagy háromirányú terheléssel szemben is. Ezen gondolatok mentén terjesztették ki a „kihajlás-alapú negatív merevség” Lattice koncepcióját egy irányúból két, illetve három irányúra [28]. A hagyományos és auxetikus szerkezeteket nem szükséges külön kezelni, hiszen megfelelő párosítás mellett a kombináció eredményeként nagyobb energiafelvételt képes szerkezetet kapunk [29]. A hagyományos és auxetikus metaanyagok mellett egy újfajta szerkezet család is megszületett, mely nyomásra és húzó terhelésre is expanzióval válaszol [30].

Három teljesen új, szintén „összenyomásból eredő csavarodás” működési mechanizmusú 3 dimenziós szerkezetet alkottak meg Xiang Li és tsi. [26] a „nyírás-zömülés kapcsolat” hatásból inspirálódva. Az újfajta 3D-s elemi cellák oldalait 2 dimenziós „nyírás-zömülés kapcsolat” hatásalapú geometriák adták. A hagyományos szerkezetek mellett az auxetikus elemi cellákból is hoztak létre „zömülés-csavarodó” viselkedésű szerkezeteket [27].

A mechanikai tulajdonságok egyszerű rúd elemek beépítésével is javíthatók. Zhu és tsi. [31] munkájukban nem kizárólag a merevítés hatását vizsgálták egy adott estre, hanem egy paraméter alapú elemzést is ismertettek. A módosított újszerű szerkezet kedvezőbb mechanikai tulajdonságokat eredményezett.

A metaanyagok mechanikai tulajdonságának, javításának másik módja az elemszám változtatása. Ezt vizsgálták Carneiro és tsi. [32] auxetikus metaanyagok tekintetében. Az elemszám változtatásának legcélszerűbb módja az eredmények összehasonlíthatóságának érdekében az, ha azonos a darabok tömeg/relatív sűrűsége. TPMS (háromszorosan periodikus minimál felületek - triply periodic minimal surface) Lattice szerkezetek esetében készítették összehasonlító vizsgálatokat Hend és tsi. [33]. Az átfogó 18 mintadarabot magába foglaló vizsgálat eredményeként arra a megállapításra jutottak, hogy a mintadarabok

zömítéssel szembeni ellenállására legjobban a szerkezet és az elemi cella mérete van hatással. Az előzőekben bemutatott munkákból is látszik, hogy a relatív sűrűség és az elemi cellák mérete hatással van a mintadarabok mechanikai tulajdonságaira. Xiao Yang és tsi. [34] munkájukban ezt a két hatást párhuzamosan, összehasonlítható módon vizsgálták. Az elemi cellák számának növelése (azonos tömeg mellett) növelte a mintadarabok zömítési ellenállását, elnyelt energia mértékét. A relatív sűrűség növelése pedig azért célszerű, mivel így a vékonyabb régiókban kisebb valószínűséggel, kevésbé jelentős mértékben alakulnak ki a feszültségcsúcsok. Az elemi cellák mérete mellett azok méretarányinak változtatásával is lehet kedvezőbb mechanikai tulajdonságokat elérni. Például az oktett rácsos lattice (octet struss lattice) elemi cellát a nyomóterhelés irányában megnyújtva kedvezőbb mechanikai és kedvezőtlenebb deformáció viselkedést tapasztalható [36].

A hagyományos geometriai – szerkezeti változtatások mellett eltérő módokon is lehet kedvezőbb tulajdonságú Lattice szerkezeteket megalkotni. Tan és tsi. [37] olyan szerkezetet hoztak létre, mely energiafelvevő képességét nem csak az elasztikus, hanem a plasztikus zónában is lehet értelmezni – ismétlődő terhelés mellett. Változtatlan elemi cellageometria mellett az egyes rétegek eltérő, egyre növekvő térkitöltése mellett (ún. gradiens) is kedvezőbb tulajdonságokat érhetünk el. Hang Zhang és tsi. [38] például jelentősen kedvezőbb energiafelvevő képességet figyeltek meg.

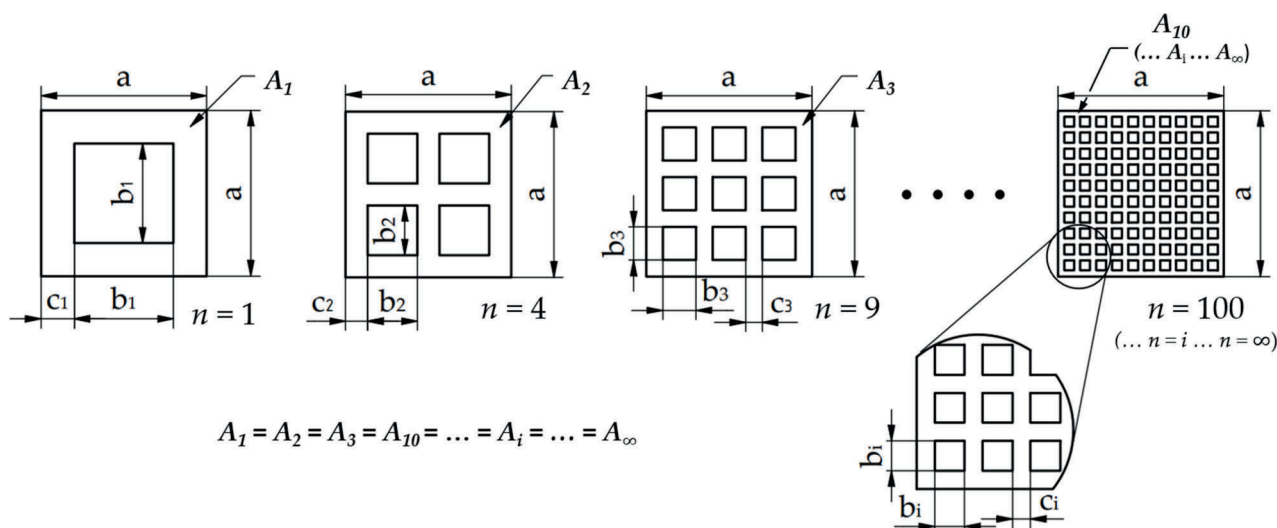
Új lattice szerkezetek korunk két legdinamikusabban fejlődő technológiájának, nevezetesen az additív gyártástechnológiák és a topológia optimalás kombinálásával is létrehozhatók [39].

Végül fontos megemlíteni, hogy egy adott tervezett geometria csak akkor képes a kívánt viselkedést produkálni, ha az alkotó alapanyag lehetővé teszi, hiszen eltérő alapanyag mellett, a vizsgált szerkezetek viselkedése jelentősen eltér [40].

A szakirodalmak áttekintésénél különböző geometriai alapú módosításokat mutattunk be, de újszerű metaanyagok létrehozásához a tudomány más területeiről is meríthetünk inspirációt. Az általunk vizsgáltba vont geometria inspirációját a fraktálok képezték, melyek végtelenül összetett, önhasonló mintázatok.

A bemutatott kortás irodalmak számos módszert tartalmaznak a metaanyagok merevítésére és kedvező tulajdonságok elérésére, amelyek igen hatékonyak bizonyultak, azonban geometriájuk igen bonyolult.

Ebben a tanulmányban a metaanyagok merevítésére – kedvezőbb mechanikai tulajdonságok elérésére – szolgáló két módszer hatásait elemezzük egy egyszerű szerkezeten. A fraktál ihletés, ebben az esetben a fraktálokra jellemző egyszerű, önhasonló geometriára épül. Négyzetes kivágásokkal rendelkező próbatesteket készítettünk növekvő elemszámmal, így csökkenő kivágott négyzet méretek (ez adja a fraktál jelleget) és azonos tömeg mellett, lehetővé téve az elemszám hatásának egyértelmű elemzését. A másik vizsgált hatás a geometriai elrendezés



2. ábra: Az azonos befoglaló méretek melletti azonos keresztmetszettel rendelkező metaanyag származtatása

hatása. Minden próbatestet két kivitelben, egy rendezett és egy központosan eltolt kivitelben készítettünk el. Közleményünk célja az elemszám hatásának és az elrendezés hatásának vizsgálata a mintadarabok mechanikai tulajdonságaira, a felvett energiára és a deformációs viselkedésre, továbbá optimumkeresés.

2. Anyagok és módszerek

2.1 Metaanyag geometriájának matematikai leírása

A célunk olyan fraktál ihletésű, elemi cellából ismétlődő, egyszerű geometria leírása, melynek az elemszám növelésével – adott befoglaló méretek mentén – nem változik a keresztmetszete, ezáltal a térfogata és a tömege sem. Az elemszámok növelésének a határát makro körülmények között csak az adott additív gyártási technológia határai szabják meg, de a geometriája, mint fraktálok esetében végtelen mintázatoknak tekinthetők.

Az önismétlődő, de azonos keresztmetszettel rendelkező metaanyag származtatásának alapötletét a Sierpinski-szivacs adta, melynek néhány lépése a 2. ábrán látható, ahol:

- a – metaanyag befoglaló mérete,
- b_1 – elemi cella kivágott anyagrészének mérete,
- b_2 – a négy elemi cellából álló metaanyag kivágott anyagrészének mérete,
- b_3 – a kilenc elemi cellából álló metaanyag kivágott anyagrészének mérete,
- b_i – i kivágott elemszámú metaanyag kivágott méretei, ($i=\sqrt{n}$),
- c_i – i kivágott elemszámú metaanyag alkotó (megmaradó) anyagrégiók vastagsági méretei,
- n – elemszám,
- $A_1, A_2, A_3 \dots A_i$ – metaanyagok keresztmetszetei,
- $V_1, V_2, V_3 \dots V_i$ – metaanyagok térfogatai.

Az alábbiakban ismertetjük példaként, az 1, a 4 és a 9 elemi cellából felépülő metaanyagok keresztmetszeteinek egymásból való származtatását, majd a származtatás

általános alakját:

$$A_1 = a^2 - b_1^2, \quad (1)$$

$$A_2 = a^2 - 4 \cdot b_2^2, \quad (2)$$

$$A_3 = a^2 - 9 \cdot b_3^2. \quad (3)$$

Feltételezve, hogy $A_1 = A_2 = A_3 = A_i$, az elemi cella méreteiből meghatározhatóak a további metaanyagok kivágandó részeinek méretei úgy, hogy a keresztmetszet állandó maradjon. 4 elemű cella esetében például:

$$A_1 = A_2, \quad (4)$$

$$a^2 - b_1^2 = a^2 - 4 \cdot b_2^2, \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{b_1}{2}. \quad (6)$$

Hasonlóan 9 elemi cellából álló metaanyag esetén:

$$A_1 = A_3, \quad (7)$$

$$a^2 - b_1^2 = a^2 - 9 \cdot b_3^2, \quad (8)$$

$$b_3 = \frac{b_1}{3}. \quad (9)$$

Tehát a fentiek alapján bármilyen n elemű metaanyag előállítható az alábbi módon:

$$A_1 = A_i, \quad (10)$$

$$a^2 - b_1^2 = a^2 - n \cdot b_i^2, \quad (11)$$

$$b_i = \frac{b_1}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

A fentiek alapján az állandó keresztmetszetű metaanyagok térbeli kihúzása során állandó térfogatot kapunk, tehát a cellaszámtól függetlenül fenn áll, hogy:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_i. \quad (13)$$

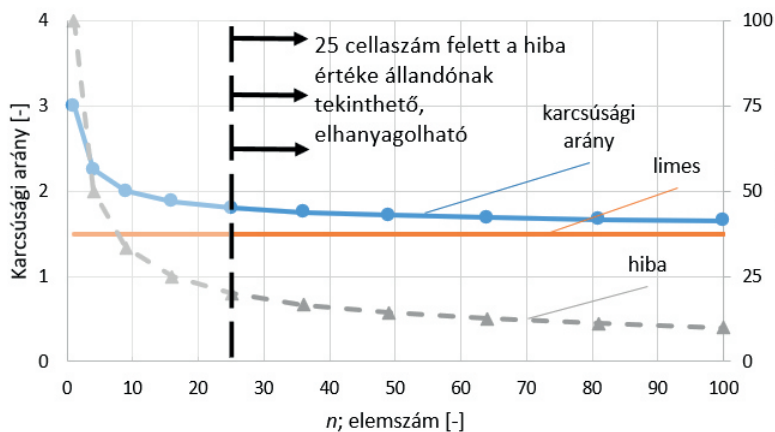
Az eredmények kiértékelése során célszerű lehet figyelembe venni a mintadarabokat alkotó anyagrégiók karcsúságát. Ehhez először az alkotó anyagrészek vastagságát kell meghatározni, mely az alábbi összefüggéssel írható le:

$$c_i = \frac{a - (\sqrt{n} \cdot b_i)}{\sqrt{n} + 1} = \frac{a - \left(\sqrt{n} \cdot \frac{b_1}{\sqrt{n}}\right)}{\sqrt{n} + 1} = \frac{a - b_1}{\sqrt{n} + 1} \quad (14)$$

A karcsúsági arány jelen metaanyagok esetében:

$$\frac{b_i}{c_i} = \frac{\frac{b_1}{\sqrt{n}}}{\frac{a - b_1}{\sqrt{n} + 1}} = \frac{b_1 \cdot (\sqrt{n} + 1)}{\sqrt{n} \cdot (a - b_1)} \quad (15)$$

A karcsúsági arány az elemszám növelésével egy határértékhez tart (lásd. 3. ábra).



3. ábra: Karcsúsági arány az elemszám függvényében

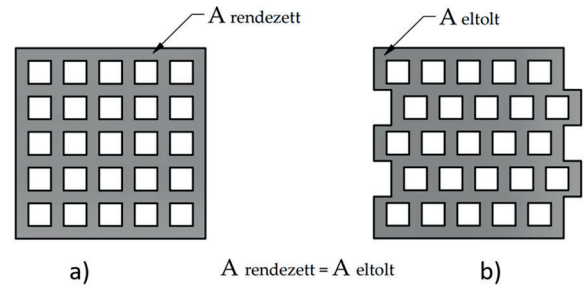
2.2 A vizsgált két eltérő struktúrájú mintadarab bemutatása

A bevezető fejezetben áttekintett irodalmak egyrésze különböző struktúra merevítő, viselkedés irányító módszereket vizsgált. Az áttekintett irodalmakban bonyolultabb szerkezetek és modellezési módszerek kerültek bemutatásra, melyek nem minden esetben alkalmazhatók ténylegesen könnyedén.

Jelen publikációban két, a 2.1 fejezetben bemutatott elvek szerint létrehozott (a mintadarabok szempontjából – mikro szinten azonos elemekből felépülő) szerkezetek kerülnek vizsgálatra eltérő elemszám mellett, melyek makroszinten rendezett, illetve központosan eltoló kivitelűek (4. ábra). Ennek oka, hogy terhelés hatására várhatóan a rendezett geometriában a terhelés (első fázisában) csak nyomott rudak jönnek létre, míg az eltoló geometriánál a vízszintes elemek rögtön hajlításként lesznek kitéve (6. ábra).

A 4.a. ábrán látható rendezett struktúra esetében belátható, hogy a nyomóterhelés hatására a válaszreakció nem kiszámítható, nem irányított. A terhelés előrehaladtával a kivágásokban fellépő deformációk makroszinten kihajlást eredményeznek, a mintadarab „összerogy”.

A nagyteljesítményű térkitöltő struktúrák, metaanyagok irányított – kiszámítható, tervezhető viselkedéssel kell



4. ábra: Fraktál geometriák:

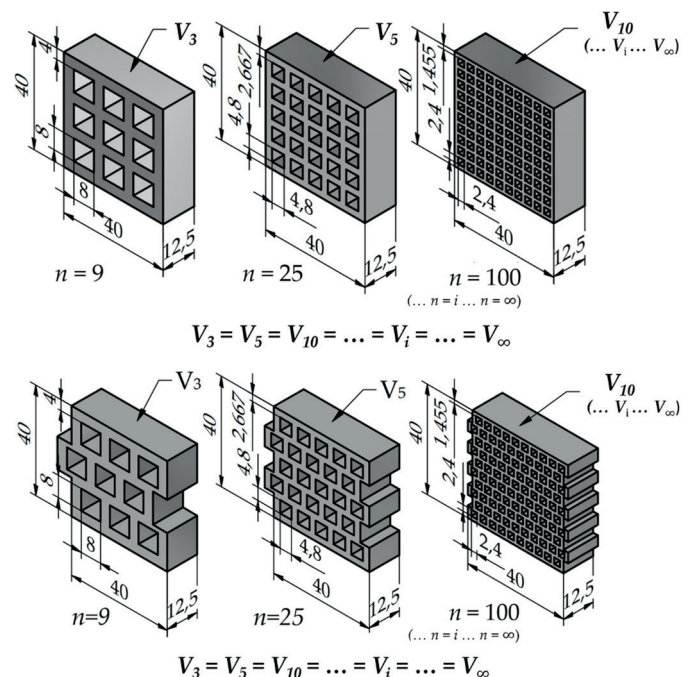
- a) Rendezett geometria
b) Eltoló geometria

rendelkezzenek. Az eltoló elrendezésű mintadarabok megalkotásának alapötlete ezen irányelv volt (4.b ábra).

Az újfajta elrendezésnek köszönhetően az erő útvonala megtört, az egyes cellák kölcsönös deformációjának mentén makroszinten a teljes struktúra irányítottan jelentősebb oldalirányú kihajlás nélkül alakváltozhat. A javasolt módosított elrendezés bonyolult geometria átalakítás nélkül, azonos tömeg mellett kíván kedvezőbb viselkedést és paramétereket nyújtani.

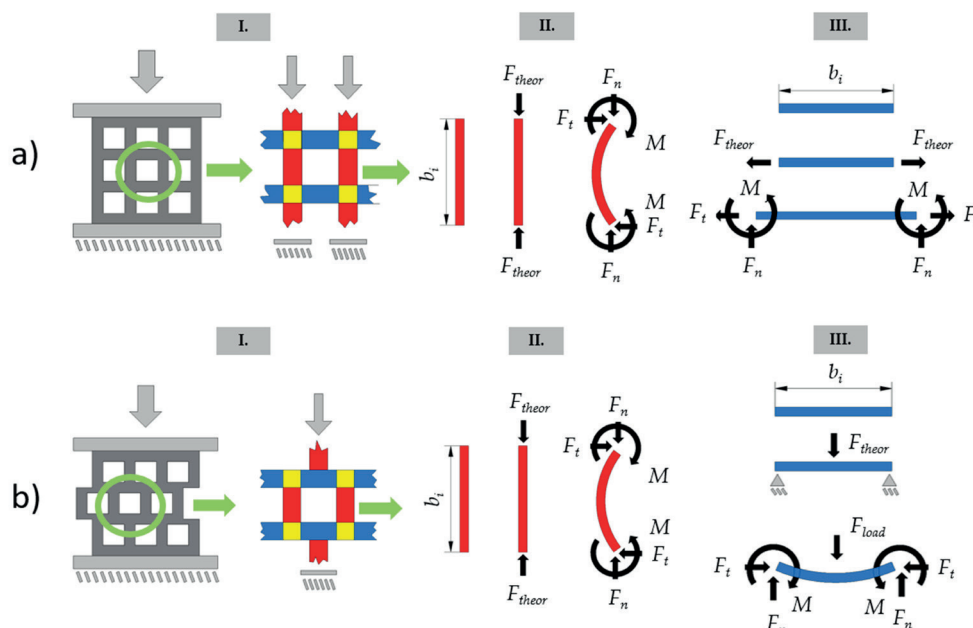
A módosított – eltoló – struktúrától fajlagosan kedvezőbb eredményeket várunk az összenyomáshoz szükséges erő, valamint az elnyelt energia tekintetében. A hajlító igénybevétel megjelenése a vízszintes anyagszegmenseken a várakozások alapján egyenletesebb feszültségeloszlást eredményez a geometriában.

A korábban bemutatott egyenletek alapján CAD szoftverben létrehoztuk az alábbi metaanyagokat $n = 1 - 4 - 9 - 16 - 25 - 36 - 49 - 64 - 81 - 100$ elemszámmal (lásd 5. ábra). A kiinduló értéket úgy vettük fel, hogy $a = 40$ mm minden geometria



5. ábra: Modellezett metaanyagok:

- a) Rendezett geometriák b) Eltoló geometriák



6. ábra: Alkotókra bontás, az alkotók várható viselkedése;
a) Rendszeres geometria
b) Eltoló geometria

esetében, valamint a $b_1 = 24$ mm. (Az elvi tömegük minden esetben 12,2 gramm) A létrehozott metaanyagok néhány jellemző CAD képét ismerteti a 4. ábra.

A vizsgálatra létrehozott modellek méretei alapján a (15) egyenletbe behelyettesítve a konstans "a" valamint "b₁" értékeket határérték számítást végeztünk, mely szerint a karcsúsági arány ebben az esetben 1,5 értékhez tart:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (a = 40; b_1 = 24) = \frac{b_1 \cdot (\sqrt{n} + 1)}{\sqrt{n} \cdot (a - b_1)} = 1,5. \quad (16)$$

A függvényt ábrázolva az 5. ábra szerint alakul.

Levonható az a következtetés, hogy ebben az esetben 36 elemszám felett a határértéktől való eltérés mértéke csekély, az elemszám növekedésével mérsékelten csökken. Tehát egy bizonyos elemszám (esetünkben 36) fölött a karcsúsági tényező szinte állandónak tekinthető, mely várakozásaink szerint a zömítésekben is megjelenik.

2.3 Makroszerkezeti viselkedés becslése mikroszerkezeti alkotók alapján

Az eltérő felépítés (rendezett – eltolt) makroszerkezeti szintű viselkedését a mintadarabok elemekre bontásával az alábbiak szerint, valamint a 3. ábra segítségével magyarázhatjuk, ahol:

- I. Terhelés előtti állapot,
- II. Teoretikus terhelés – a terhelés megjelenésének pillanatában,
- III. Terhelések a deformált alakon,
- b_i – i kivágott elemszámú metaanyag kivágott méretei,
- F_{theor} – a terhelés megjelenésének pillanatában fellépő elméleti erő,
- F_{load} – a metaanyagot alkotó anyagszegmensekből átvadódó terhelés,

- F_t – tangenciális irányú reakcióerő,
- F_n – normál irányú reakcióerő,
- M – terhelő nyomaték.

Az alkotókra bontás határát minden esetben az eltérő elemi terhelésű régiók képezik, mely jelen struktúrák esetében vízszintes (kék) és függőleges (piros), valamint csomóponti (sárga) elemeket eredményez. A várható elméleti deformációs viselkedések egyszerűsítve a 6. ábrán kerülnek megjelenítésre.

A rendezett struktúrában (6. a ábra) a függőleges anyagrégiók tisztán nyomásnak, míg a vízszintes régiók tisztán húzásnak kitettek. Megjegyzendő, hogy főleg a deformáció kezdeti szakaszaiban a nyomott anyagrégiók jelentősebben terheltek a húzottakhoz képest, így a geometria nem egyenletesen kihasznál.

A deformáció előrehaladtával a nyomott régiók kihajlása várható, mely így a csomópontokon keresztül húzó irányú és csavaró terhelést eredményez a vízszintes (kék) elemekre.

Az eltolt rendszerben azonban nem beszélhetünk tisztán húzott régiókról, mivel már a deformációs terhelés kezdeti szakaszában is megjelenik a hajlítás (6. b ábra). A függőleges (piros) anyagrégiók a nyomó terhelés hatását közvetlenül átadják a vízszintes régiók központjában. Eredményül egy kéttámaszú tartót kapunk központi nyomó (hajlító) terheléssel. Természetesen az eltolt rendszer esetében is kijelenthető, hogy a függőleges nyomott régiók kihajlása is fellép a terhelés előrehaladtával. Tehát a 6. ábrán három esetben láthatók a mintarabokat alkotó vízszintes és függőleges anyagrégiók. Az ábrákon a nyugalmi – terhelés előtti egyensúlyi állapotot egy, a terhelés ráadásának pillanatában fellépő terhelési rendszer megjelenítése követi. Végül az ábrák már egy várható alakváltozást mutatnak a fellépő erőkkel, nyomatékokkal.

2.4 Metaanyagok létrehozása additív technológiákkal

A mintadarabokat polimer alapanyagból, porágyas, szelektív lézerszintézis (Selective Laser Sintering - SLS) technológiával készítettük. Az additív gyártástechnológiai eljárás során a berendezés apró, finomszemcsésű polimer por rétegeit olvasztja össze egy, a megtervezett geometriai alapján vezérlt lézersugár.

A nyomtatott egy 3D Systems ProX 6100 típusú gépen készültek, DuraForm ProX Pa alapanyagból, vízszintesen elhelyezve a munkatérben. Nyomtatás során a polimer por alapanyagot a berendezés hengere vékony, egyenletes rétegben teríti el a munkatérben, melyet a polimer por olvadási pontjának közelébe fűt elő. A lézer így könnyedén az olvadási pontra tudja hevíteni a szükséges szekciókat, melyek magát a mintadarabot alkotják. Egy réteg elkészültét követően a platform lesüllyed (esetükben 50 mikront) és a folyamat megismétlődik.

A nyomtatást követően a mintadarabok üregeiből és felszínéről eltávolításra kerül a polimer por.

2.5 Végeselemes (VEM) vizsgálati környezet

Az additív technológiával készült próbatesteket a valós zömítő vizsgálatok mellett végeselemes vizsgálatoknak is alávetettük. Célunk a végeselemes módszer használhatóságának, pontosságának determinálása a fejlesztett metaanyagok esetében.

A valós zömítő, valamint végeselemes módszer eredményeinek összehasonlíthatóságának érdekében először egy, a valós mechanikai körülményeket leíró végeselemes vizsgálatokhoz az ANSYS Workbench 2022 R1 szoftvert használtuk. A zömítés lassú sebességét figyelembe véve az ANSYS Workbench Static Structural modulja került alkalmazásra a vizsgálatok elvégzésére.

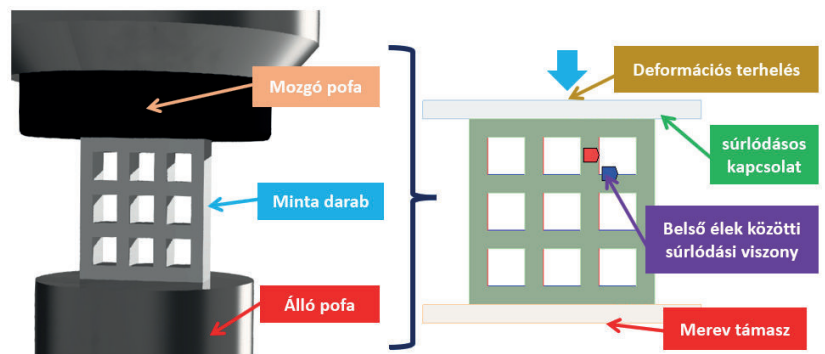
A végeselemes vizsgálatok első lépése a geometria pre-processálása. A mintadarabok felépítését tekintve kétdimenziós (plane stress) szimulációk végzése elegendő, csökkentve így a számítási időt. A mintadarabokat tehát zömítővizsgálatnak vetettük alá, a zömítés során a mintadarab a zömítőgép álló és mozgó pofája közé kerül behelyezésre. A várható viselkedés kellően pontos leképzése érdekében a zömítő berendezés álló és mozgó pofája is a kétdimenziós vizsgálati modell részét képezi. (7. ábra).

2.6 Peremfeltételek – terhelések – kontaktok a végeselemes modellben

A valós zömítési körülményeknek megfelelően az álló pofa alsó éle mereven rögzített, transláció és elfordulás nem megengedett. A terhelés deformáció alapú, a szimulációt (a valós zömítéssel ellentétben) a tömörödés pillanatáig vizsgáljuk, ennek oka a metaanyag jellemzése (szemben egy tömör anyag zömítési jellegével). A terhelés a hatását a mozgó pofa felső élén feje ki. A relatív nagy

deformációs terhelés miatt belátható, hogy a vizsgálat a geometriai nemlinearitás problémakörébe kimeríti. Az eredmények áttekinthetőbb kiértékelése, valamint a nemlinearitás tekintetében a biztosabb konvergencia érdekében a deformációs terhelés lépésenként (20 lépés – növekményes terhelés) került magadásra.

A geometriai nemlinearitás mellett (lényegében vele párhuzamosan) kontakt nemlinearitás is fellép. A relatív nagy (a mintadarab magassági méretének fele) deformációs terhelés következtében a metaanyag élei egymással kapcsolatba kerülnek, felfekszenek egymáson a deformáció előrehaladtával. Az előzőek értelmében szükséges az egymással potenciálisan kapcsolatba kerülhető él párok kölcsönhatásának valós modellezése. A deformáció előrehaladtával a torzulás következtében az egyes élek egymáson felfekszenek, majd további deformáció hatására súrlódva csúsznak egymáson. A viselkedést végelemes környezetben súrlódásos kontakt párok megadásával lehet közelíteni, 0,35 értékű súrlódási tényezőt [41] beállítva az egymással potenciálisan kapcsolatot létesítő élek, élszegmensek között. A szükséges súrlódásos kontakt régiókat, élpárokat vagy esetlegesen él-szegmens párokat mindig az adott mintadarab egyedi viselkedése alapján szükséges egyedileg megadni. A zömítőgép pofái és a mintadarab között szintén súrlódásos kapcsolat érvényes. Ebben az esetben a súrlódási tényező értéke (acél–poliamid kapcsolat) 0,2 [42]. Ezt szemlélteti a 7. ábra.

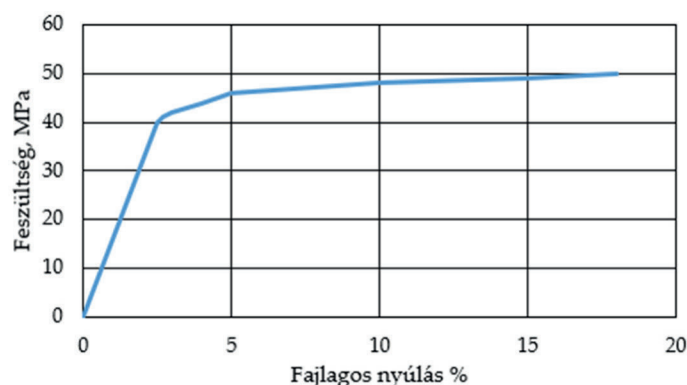


7. ábra: A valós vizsgálati környezet és VEM leképzése

A végeselemes háló kialakításánál fontos volt, hogy minden egyes alkatrész esetében, minden egyes keresztmetszeti vastagság mentén legalább 3 elem kerüljön elhelyezésre. Úgynevezett quadrilateral domináns hálózasi módszert alkalmaztunk lineáris elemrenddel. A deformáció előrehaladtával jelentősen torzul a vizsgálati geometria és a háló is, éppen ezért a mintadarabra adaptív újra-hálózó modult alkalmaztunk. Az analízis beállításánál a geometriai nemlinearitás jegyében a nagy deformációk figyelembevételét is engedélyeztük a megoldó számára.

2.7 Használt anyagmodell

Az előző fejezetekben megemlítsük a probléma nemlineáris jellege, mely az anyagmodell esetében is megjelenik. A gyártó által megadott adatok, valamint az előzetesen elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható az anyag nemlineáris viselkedése.



8. ábra: Polimer alapanyag mért feszültség – fajlagos nyúlás értékek [43] alapján

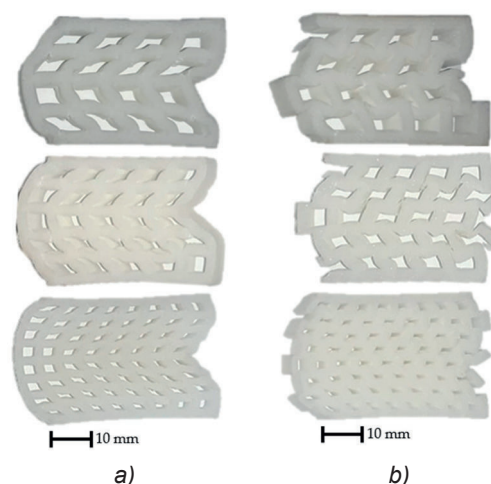
Ezért az anyag viselkedését legjobban egy multilineáris izotrópikus keményedés modellel lehet közelíteni. Az anyagmodell felállításához szükséges sűrűség értéket a gyártó adatlapjából, míg a mért feszültség – elmozdulás értékeket (lásd 8. ábra) korábbi kutatási eredményekből nyertük ki, melyeket átválta definiálható a végeselemes anyagmodell [43]. A zömítő berendezés álló és mozgó pofáira egy, a szimulációs szoftverbe beépített Titán övezet került megválasztásra (rugalmassági modulus $E = 111,2 \text{ GPa}$, Poisson tényező: $\nu = 0,3387$).

3. Eredmények és diszkusszió

3.1 Zömítési vizsgálatok eredményei

A mintadarabok egy Hegewald & Peschke 40 tonnás mérési határral rendelkező mérőgépen kerültek összezmítésre. A zömítés sebessége 5 mm/perc volt. A vizsgálat 20 mm deformáció (50 % alakváltozás) eléréséig vagy a teljes tönkremenetelig tartott. Erre mutat néhány jellemző deformációt a 9. ábra. A mintadarabokon a zömítést követően repedések, törések jelentek meg. Megfigyelhető, hogy minél több elemből áll a geometria, annál kisebb a repedések mértéke – jelentősége. Az eltolt és a rendezett struktúra esetében a deformált alakokból egyértelműen megfigyelhető az eltolás hatása, hiszen míg a rendezett geometriák minden esetben oldal irányba „dőlnék” ki (9. a ábra), addig az eltolt geometriák jóval rendezettebben deformálódnak – önmagukba roskadnak (9. b ábra).

A zömítő vizsgálatokkal tehát az egyes mintadarabok erő – elmozdulás viselkedését kívántuk megismerni. A 10. ábrán az erő-elmozdulás diagrammokon látható, hogy a kezdeti – relatív kismértékű rugalmas szakaszt követően megfigyelhető a nemlineáris viselkedés, tönkremenetel. A görbéken megjelenő kiugró feszültségcsúcsok egyértelműen mutatják az egyes régiók – sorok tönkremenetelét. A kezdeti kismértékű rugalmas tartomány a várakozásoknak megfelelő, mivel az alapanyag egy szerkezeti – ridegebb polimer. Megfigyelhető, hogy az eltolt mintadarabok esetében a rugalmas energiatartomány nagyobb mértékű, szemben a rendezett geometriákkal. A jelenség magyarázta a korábban bemutatott, alkotók terhelésére és várható viselkedésére vezethető vissza, a tisztán nyomott rudak rugalmas deformációt nem képesek elszorítani,



9. ábra: Mintadarabok a vizsgálatot követően ($n=16-25-64$):
a) Rendezett geometria
b) Eltolt geometria

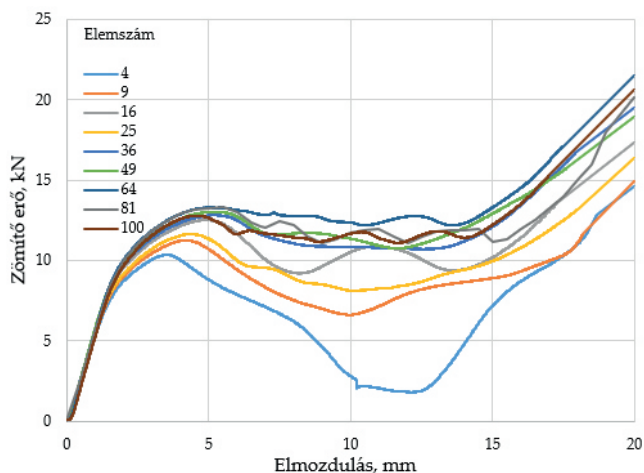
szemben az eltolt geometriával, ahol több alkotót is hajlító nyomatók terhel. Az elemszámnak az eltolt mintadarabok esetében nincs hatása, míg a rendezett mintadarabok esetében az elemszám növelése növeli a rugalmas tartomány mértékét.

A vizsgált polimer mintadarabok esetében, függetlenül a struktúrától, a deformációs terhelés végéhez közeledve a zömítési erő értéke jelentős növekedésnek indul. A növekedés az alkotó régiók egymáson való felfekvéséből, a tömörödésből ered.

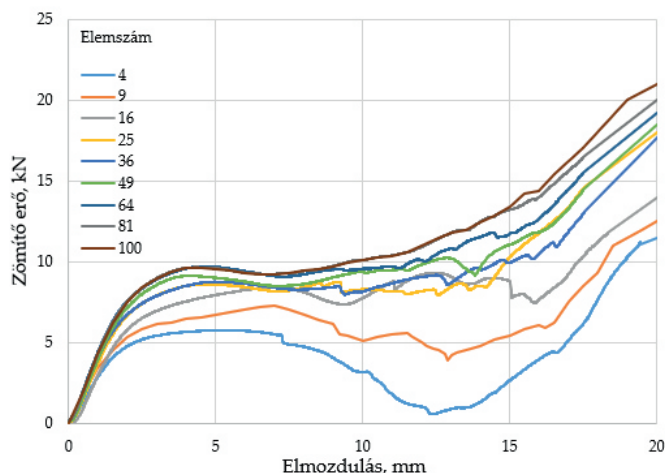
A hagyományos (9. a ábra) mintadarabokban kialakuló feszültségek következtében azok a sarkokban elrepednek, de ezen repedések hatása – mérete és száma is csökken az elemszám növekedésével. A jelenséget remekül tükrözi, hogy a 4 elemszámú minta esetén a zömítés kezdeti csúcsa után az erőben erős visszaesés figyelhető meg a deformáció előrehaladtával (10. a ábra). Mivel a mintadarabok elrepednek, csökken azok terheléssel szembeni ellenállása is. A több elemből álló mintadarabok esetében ez egyre kevésbé releváns, és a 100 elemből álló minta esetén szinte nem is beszélhetünk ilyen jelenségről (visszaesésről).

A zömítés hatására az eltolt (9. b ábra) mintadarabok esetében is jelentkeznek repedések, mely szintén az erő - elmozdulás görbében megfigyelhető visszaesésben jelenik meg (10. b ábra). Kijelenthető, hogy a visszaesés mértéke ebben az esetben is főként csak a 4 elemből álló mintadarabnál figyelhető meg. Az eltolt struktúra a hajlító és nyomó igénybevételnek köszönhetően stabilabb - egyenletesebb viselkedést eredményez, mint a rendezett. A hajlított régiók terheléssel szembeni ellenállása alacsonyabb, mint a nyomottaké, így a görbéken a kezdeti erő csúcs értéke is alacsonyabb.

Megfigyelhető a 2.1 fejezetben levezett karcsúsági arány (15 számú egyenlet) függvénynek a hatása is, hiszen a függvénynek van határértéke, melyet már a 36 elemből álló mintadarab kellően megközelít. Ebből adódóan, a 36 vagy annál több elemből álló mintadarabok esetében már alig figyelhető meg a visszaesés a zömítő görbén.



a)



b)

10. ábra: A zömítés eredményei vizsgált elemszámokra
a) Rendezett geometria b) Eltolt geometria

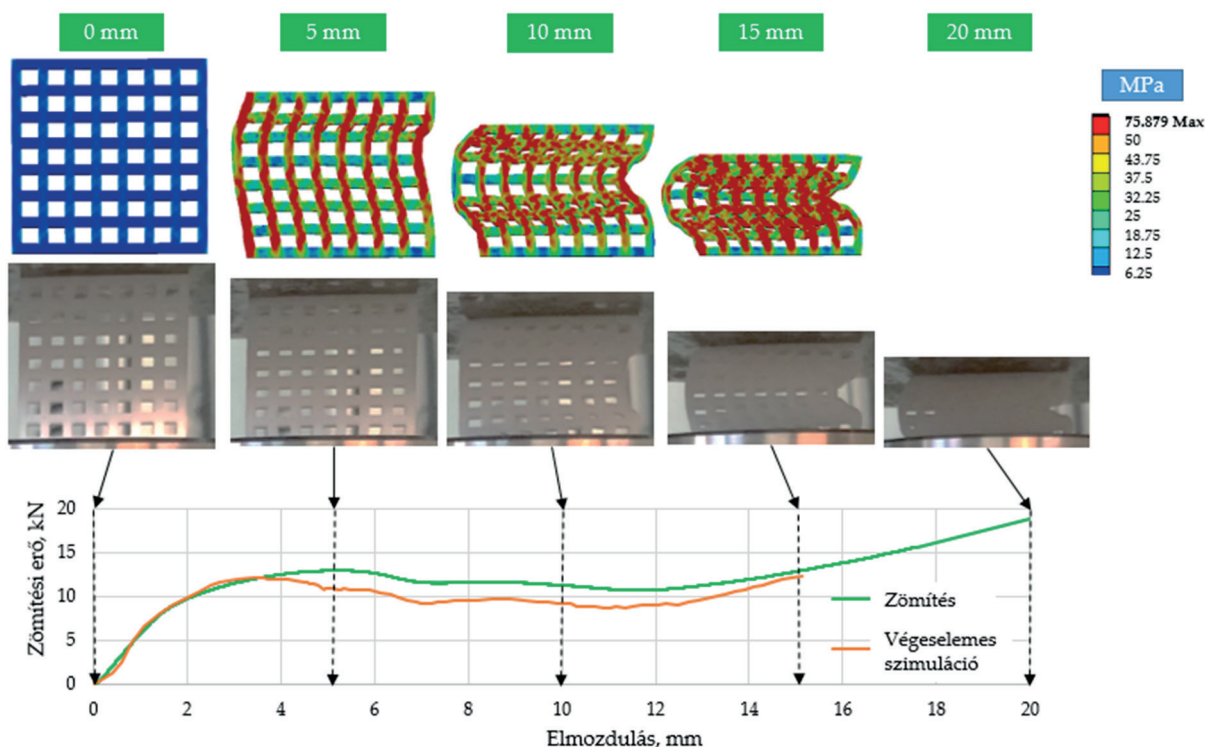
A mintadarabokban megjelenő repedések – törések miatt a végeleemes szimulációk csak a 36 vagy több elemből álló esetekben adnak értékelhető eredményt. A 9. ábrából megfigyelhető, hogy a metaanyag viselkedését tisztán jellemző zömítési út 15 mm-ig tart, majd további felfutó szakaszban tömörödés figyelhető meg. Tehát az általunk bemutatott metaanyagokra jellemző karakterisztikus viselkedést a 0-15 mm zömítési szakasz írja le, ezért a végeleemes vizsgálatokat is ezen a szakaszon végeztük.

A 11. ábrán látható eredményekből megfigyelhető, hogy a 37,5%-os zömítés eredményeként a mintadarabok szinte teljesen tömörre zömülnek. A rendezett szerkezet a várákosoknak megfelelően instabilan viselkedett – oldal irányba kidőlt (11-12. ábra). Mint látható, két jellemző

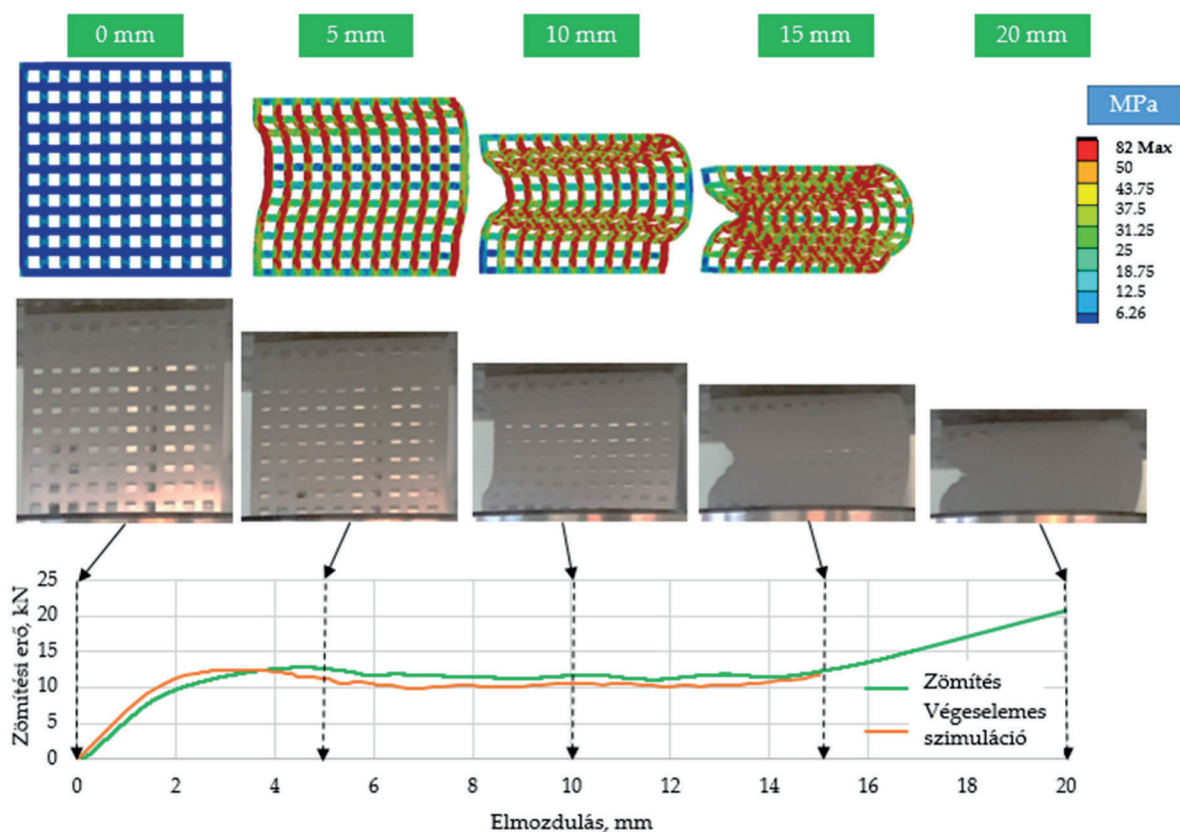
cellaszámú darabnál ($n=49$ és $n=100$) a mintadarabok eltérő irányba deformálódtak, mely beigazolta a szerkezet nem tervezhető viselkedését (ez minden rendezett geometriájú struktúránál hasonlóan ment végbe).

Megfigyelhető ugyanakkor, hogy a végeleemes szimuláció és a valós zömítés görbéi jó egyezést mutatnak (11-13. ábra), mely a végeleemes módszer relatív nagy deformációs viselkedésre való pontos alkalmazhatóságát jelenti.

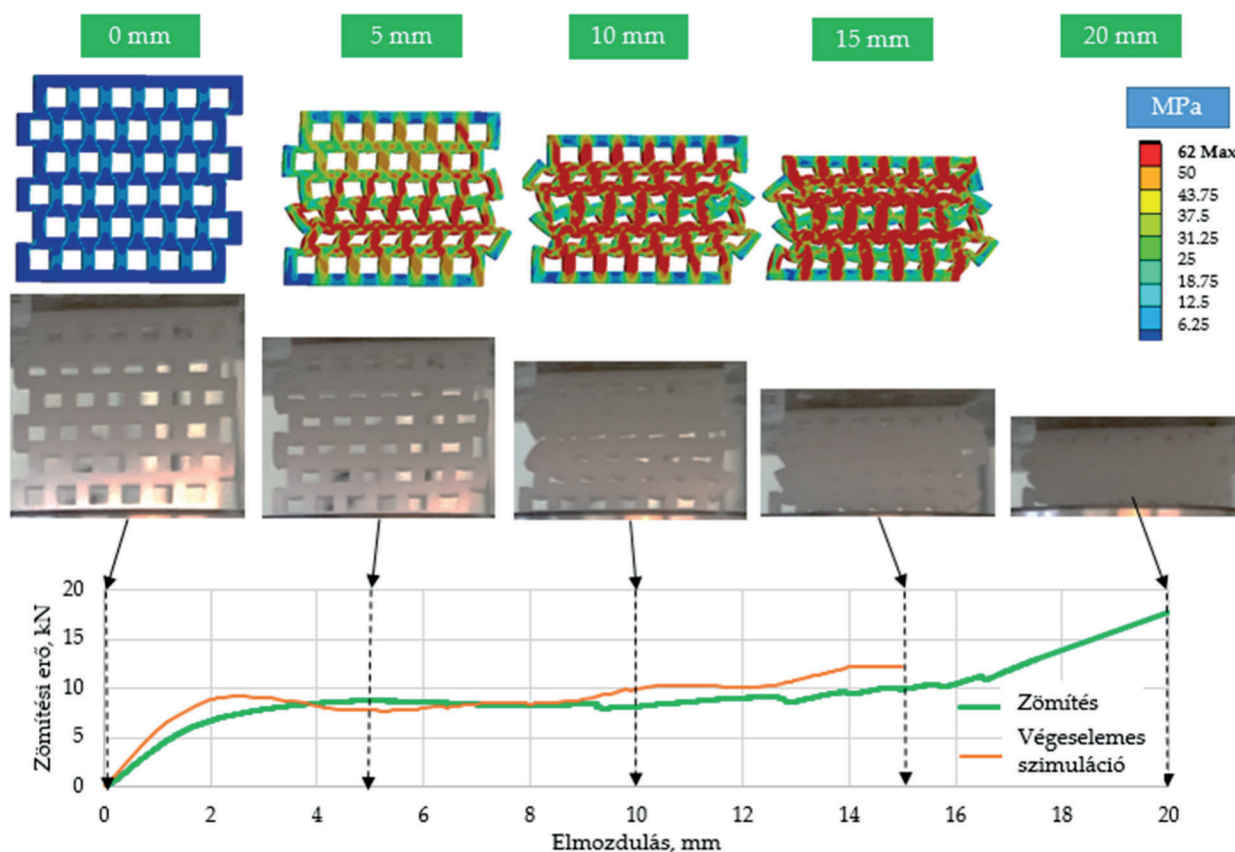
Az eltolt mintadarabok zömítése során egy jóval rendezettebb – önmagába roskadó deformációs viselkedést figyelhetünk meg a 12. ábrán. A deformációs viselkedés és a zömítéshez szükséges erő alakulását remekül követi a végeleemes módszer ennél a struktúránál is.



11. ábra: A végeleemes szimuláció eredményeinek összehasonlítása a valós nyomóvizsgálatokkal $n=49$ elem esetén



12. ábra: A végesselemes szimuláció eredményeinek összehasonlítása a valós nyomóvizsgálatokkal $n=100$ elem esetén



13. ábra: A végesselemes szimuláció eredményeinek összehasonlítása a valós nyomóvizsgálatokkal $n=36$ elem esetén

3.2 Az eltolt és rendezett szerkezetek által elnyert energiák elemzése

A deformációs viselkedés mellett a mintadarabok a zömítés során elnyelt energia mértékével is jellemezhetők.

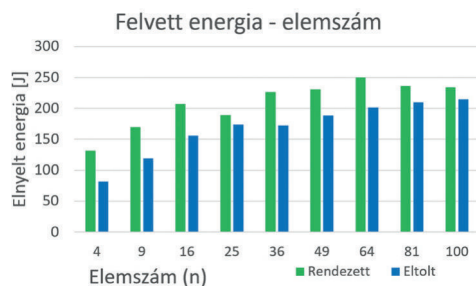
1. táblázat: A vizsgált metaanyagok geometriák által elnyelt energia értéke

Elem szám, n	Elnyelt energia (rendezett), J	Elnyelt energia (eltolt), J
4	131,5	81,6
9	169,7	119,0
16	206,9	155,5
25	189,1	174,1
36	226,4	172,2
49	230,5	188,2
64	250,0	201,3
81	236,0	209,8
100	234,1	215,0

Az elnyelt energiát (az 50 %-os, vagyis a 20 mm-es deformációs tartományban) a 9. ábrán látható görbék alatti terület határozza meg. Az 1. táblázat tartalmazza az elnyelt energiák mértékét.

Az 1. táblázat azt is megmutatja számunkra, hogy az eltolt geometriák minden esetben kisebb mértékű energiát képesek felvenni.

A 14. ábra alapján megfigyelhető, hogy az elemszám növekedésével a rendezett geometria esetében az instabil kihajlási viselkedésből adódóan az elnyelt energia értéke nincs szoros kapcsolatban az elemszámmal. Az eltolt geometria esetében viszont az elnyelt energia a kiszámítható deformációs viselkedés következtében monoton növekszik. Ez vélhetően a karcsúsági tényezővel van kapcsolatban.



14. ábra: A mintadarabok által elnyelt energia

4. Konklúzió és összefoglalás

Jelen munkában egy egyszerű felépítésű, fraktál inspirált metaanyag családot és annak származtatását, valamint vizsgálatát mutattuk be, amelyek segítenek megérteni a viselkedésüket. A komplexebb metaanyagokkal szemben a bemutatott szerkezetek szélesebb körben alkalmazhatók, a levezetett matematikai alapok alapján pedig bármilyen elemszámmal megalkothatók (fenntartva az azonos felszín, azonos térfogat, azonos tömeg alapelveit). A tanulmányban a rendezett felépítéssel szemben vizsgáltuk a

geometriák eltolásának hatását. Az eltolt szerkezeteket a kedvezőbb deformációs viselkedés elérésének reményében hoztuk létre. A vizsgálataink alapján az alábbi következtetések vonhatóak le:

- Az elemszám növelésével egyre stabilabb viselkedést érhetünk el, a terheléssel szembeni ellenállás a teljes deformációs tartományon növekszik.
- Az elemszám növekedésével mindkét vizsgált struktúra esetében növekszik az elnyelt energia mértéke.
- Mivel a rendezett szerkezet tisztán nyomott elemekből áll, a teherbírása és az elnyelt energia mértéke is nagyobb. Ugyanakkor a vizsgálatok eredményéből belátható, hogy az eltolt szerkezetek deformációs viselkedése tervezhető – kiszámítható a hagyományos szerkezettel szemben. A kiszámítható, tervezhető viselkedés alapkövetelmény a nagyteljesítményű metaanyagokkal szemben.
- Az eltolt szerkezetek lágyabbak – összenyomásukhoz átlagosan 27 %-al kevesebb erő szükséges.
- A végeelemes szimulációkból az is megfigyelhető, hogy az eltolt mintadarabok feszültségeloszlása egyenletesebb.
- A végeelemes módszer 36 elemszám felett pontos – megbízható eredményeket mutatott, így a bemutatott peremfeltételek mellett alkalmazható a módszer.
- Általánosan kijelenthető, hogy az elemszám növelésnek egy adott pontot követően nincs jelentős hatása a mechanikai tulajdonságokra.
- Újszerű metaanyag tervezésekor célszerűbb egyedibb, a hagyományos formáktól eltérő szerkezetet megalkotni. Jelen publikáció remekül szemléltette, hogy a hagyományos négyzetes elrendezés eltolásával (mely egy egyszerű geometria módosítás) mennyivel kedvezőbb mechanikai tulajdonságok érhetők el.

Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium által az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP-23-3) támogatásával készült.

A mérésekhez felhasznált mintadarabok az EBK Hungary Kft. munkatársainak köszönhetően készültek el.

Irodalomjegyzék

- [1] Pickover; C. A. The math book: from Pythagoras to the 57th dimension, 250 milestones in the history of mathematics. Sterling Publishing Company, Inc. 2009, ISBN 978-1-4027-5796-9.
- [2] Mandelbrot, B. B., & Mandelbrot, B. B. The fractal geometry of nature 1982, (Vol. 1). New York: WH freeman.
- [3] Schaefer, S.; Levin, D.; & Goldman, R. Subdivision Schemes and Attractors. Symposium on Geometry Processing 2015, pp. 171-180.
- [4] Majewski, M. A tutorial on the realistic visualization of 3D Sierpinski fractals. Computers & Graphics 1998, 22(1), pp. 129-142, [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00088-5)
- [5] Bunde, A., & Havlin, S. (Eds.). Fractals in science. Springer 2013.

- doi:10.1007/978-3-642-77953-4.
- [6] Ghanbarian-Alavijeh, B.; Millán, H.; & Huang, G. A review of fractal, prefractal and pore-solid-fractal models for parameterizing the soil water retention curve. *Canadian Journal of Soil Science* 2011, 91(1), pp. 1-14.
 - [7] Riva, L.; Ginestra, P. S.; Pandini, S.; & Pasini, C. Production and characterization of the Poisson's ratio of cellular structured metamaterials by additive manufacturing. *Procedia CIRP* 2022, 110, pp. 378-382.
 - [8] Zhu, Y.; Jiang, S.; Zhang, Q.; Li, J.; Yu, C.; & Zhang, C. A novel monoclinic auxetic metamaterial with tunable mechanical properties. *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, 107750, <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107750>
 - [9] Guo, S.; Gao, R.; Tian, X.; & Liu, S. A 3D metamaterial with negative stiffness for six-directional energy absorption and cushioning. *Thin-Walled Structures* 2022, 180, 109963, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109963>
 - [10] Sharma, D.; Hiremath, S. S.; & Kenchappa, N. B. Bio-inspired Ti-6Al-4V mechanical metamaterials fabricated using selective laser melting process. *Materials Today Communications* 2022, 33, 104631, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104631>
 - [11] Zhang, X.; He, X.; & Wu, L. Experimental investigation of thermal architected metamaterials for regulating transient heat transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2022, 193, 122960, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.122960>
 - [12] Sha, W.; Xiao, M.; Huang, M.; & Gao, L. Topology-optimized freeform thermal metamaterials for omnidirectionally cloaking sensors. *Materials Today Physics* 2022, 28, 100880, <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2022.100880>
 - [13] Zhang, L.; Bai, Z.; & Chen, Y. Dual-functional hierarchical mechanical metamaterial for vibration insulation and energy absorption. *Engineering Structures* 2022, 271, 114916, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114916>
 - [14] Jiang, W.; Yin, G.; Xie, L.; & Yin, M. Multifunctional 3D lattice metamaterials for vibration mitigation and energy absorption. *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, 233, 107678, <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107678>
 - [15] Zhao, P. Zheng, B. B.; Zhong, R. C.; Chen, X.; Fu, M. H.; & Hu, L. L. A novel metamaterial with tension-torsion coupling effect. *Materials & Design* 2019, 171, 107700, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107700>; Zhang, K.; Qi, L.; & Deng, Z. 3D chiral mechanical metamaterial for tailored band gap and manipulation of vibration isolation. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2022, 180, 109430, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109430>.
 - [16] Zolfagharian, A.; Bodaghi, M.; Hamzehei, R.; Parr, L.; Fard, M.; & Rolfe, B. F. 3D-Printed Programmable Mechanical Metamaterials for Vibration Isolation and Buckling Control. *Sustainability* 2022, 14(11), 6831, <https://doi.org/10.3390/su14116831>
 - [17] Deshpande, V. S.; Ashby, M. F.; & Fleck, N. A. Foam topology: bending versus stretching dominated architectures. *Acta materialia* 2001, 49(6), pp. 1035-1040, [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(00\)00379-7](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(00)00379-7)
 - [18] Chen, E.; Luan, S.; & Gaitanaros, S. On the compressive strength of brittle lattice metamaterials. *International Journal of Solids and Structures* 2022, 257, 111871, <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2022.111871>
 - [19] de Jonge, C. P.; Kolken, H. M.; & Zadpoor, A. A. Non-auxetic mechanical metamaterials. *Materials* 2019, 12(4), 635, <https://doi.org/10.3390/ma12040635>
 - [20] Wagner, M. A.; Lumpe, T. S.; Chen, T.; & Shea, K. Programmable, active lattice structures: Unifying stretch-dominated and bending-dominated topologies. *Extreme Mechanics Letters* 2019, 29, 100461, <https://doi.org/10.1016/j.eml.2019.100461>
 - [21] Yin, S.; Wu, L.; & Nutt, S. Stretch-bend-hybrid hierarchical composite pyramidal lattice cores. *Composite structures* 2013, 98, pp. 153-159, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.11.004>
 - [22] Al Nashar, M.; & Sutradhar, A. Design of Hierarchical Architected Lattices for Enhanced Energy Absorption. *Materials* 2021, 14(18), 5384, <https://doi.org/10.3390/ma14185384>
 - [23] Zhong, R.; Fu, M.; Chen, X.; Zheng, B.; & Hu, L. A novel three-dimensional mechanical metamaterial with compression-torsion properties. *Composite Structures* 2019, 226, 111232, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111232>
 - [24] Zheng, B. B.; Zhong, R. C.; Chen, X.; Fu, M. H.; & Hu, L. L. A novel metamaterial with tension-torsion coupling effect. *Materials & Design* 2019, 171, 107700, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107700>
 - [25] Wang, L.; & Liu, H. T. 3D compression-torsion cubic mechanical metamaterial with double inclined rods. *Extreme Mechanics Letters* 2020, 37, 100706, <https://doi.org/10.1016/j.eml.2020.100706>
 - [26] Li, X.; Yang, Z.; & Lu, Z. Design 3D metamaterials with compression-induced-twisting characteristics using shear-compression coupling effects. *Extreme Mechanics Letters* 2019, 29, 100471, <https://doi.org/10.1016/j.eml.2019.100471>
 - [27] Wang, Y. B.; Liu, H. T.; & Zhang, D. Q. Compression-torsion conversion behavior of a cylindrical mechanical metamaterial based on askew re-entrant cells. *Materials Letters* 2021, 303, 130572, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130572>
 - [28] Ren, C.; Yang, D.; & Qin, H. Mechanical performance of multidirectional buckling-based negative stiffness metamaterials: an analytical and numerical study. *Materials* 2018, 11(7), 1078, <https://doi.org/10.3390/ma11071078>
 - [29] Shruti, M.; Hemanth, N. S.; Badgayan, N. D.; & Sahu, S. K. Compressive behavior of auxetic structural metamaterial for lightweight construction using ANSYS static structural analysis. *Materials Today: Proceedings* 2021, 38, pp. 12-17, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.410>
 - [30] Wu, W.; Liu, P.; & Kang, Z. A novel mechanical metamaterial with simultaneous stretching-and compression-expanding property. *Materials & Design* 2021, 208, 109930, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109930>
 - [31] Zhu, Y.; Jiang, S.; Zhang, Q.; Li, J.; Yu, C.; & Zhang, C. A novel monoclinic auxetic metamaterial with tunable mechanical properties. *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, 107750, <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107750>
 - [32] AlQaydi, H. A.; Krishnan, K.; Oyeibanji, J.; Lee, D. W.; Alneyadi, S. A.; Ghisi, N.; ... & Aboulkhair, N. T. Hybridisation of AlSi10Mg lattice structures for engineered mechanical performance. *Additive Manufacturing* 2022, 102935, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102935>
 - [33] AlQaydi, H. A.; Krishnan, K.; Oyeibanji, J.; Lee, D. W.; Alneyadi, S. A.; Ghisi, N.; ... & Aboulkhair, N. T. Hybridisation of AlSi10Mg lattice structures for engineered mechanical performance. *Additive Manufacturing* 2022, 102935, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102935>
 - [34] Yang, X.; Yang, Q.; Shi, Y.; Yang, L.; Wu, S.; Yan, C.; & Shi, Y.

Effect of volume fraction and unit cell size on manufacturability and compressive behaviors of Ni-Ti triply periodic minimal surface lattices. Additive Manufacturing 2022, 54, 102737, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102737>

[35] Xiao, Z.; Yang, Y.; Xiao, R.; Bai, Y.; Song, C.; & Wang, D. Evaluation of topology-optimized lattice structures manufactured via selective laser melting. Materials & Design, 2018 143, 27-37, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.01.023>

[36] Osman, M. M.; Shazly, M.; El-Danaf, E. A.; Jamshidi, P.; & Attallah, M. M. Compressive behavior of stretched and composite microlattice metamaterial for energy absorption applications. Composites Part B: Engineering 2020, 184, 107715, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107715>

[37] Tan, X.; Chen, S.; Zhu, S.; Wang, B.; Xu, P.; Yao, K.; & Sun, Y. Reusable metamaterial via inelastic instability for energy absorption. International Journal of Mechanical Sciences 2019, 155, pp. 509-517, <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.02.011>

[38] Zhang, H.; Chen, P.; Zhang, Z.; Lin, G.; & Sun, W. Structural response and energy absorption assessment of corrugated wall mechanical metamaterials under static and dynamic compressive loading. International Journal of Impact Engineering 2022, 172,

104427, <https://doi.org/10.1016>

[39] Park, K. M.; Min, K. S.; & Roh, Y. S. Design optimization of lattice structures under compression: study of unit cell types and cell arrangements. Materials, 2022, 15(1), 97. <https://doi.org/10.3390/ma15010097>

[40] Truszkiewicz, E.; Thalhamer, A.; Rossegger, M.; Vetter, M.; Meier, G.; Rossegger, E.; ... & Berer, M. Mechanical behavior of 3D-printed polymeric metamaterials for lightweight applications. Journal of Applied Polymer Science 2021, 139(6), 51618, <https://doi.org/10.1002/app.51618>

[41] Unal, H., & Mimaroglu, A. Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions. Wear, 2012, 289, 132-137.

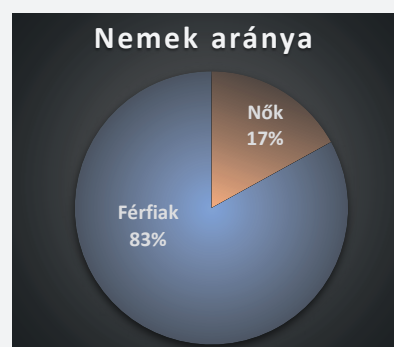
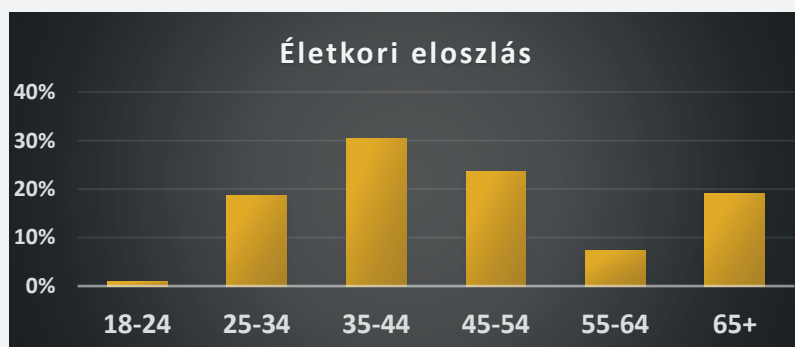
[42] Van De Velde, F., & De Baets, P. The friction and wear behaviour of polyamide 6 sliding against steel at low velocity under very high contact pressures. Wear, 1997, 209(1-2), pp. 106-114, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(96\)07500-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07500-X)

[43] Lindberg, A.; Alfthan, J.; Pettersson, H.; Flodberg, G.; & Yang, L. Mechanical performance of polymer powder bed fused objects-FEM simulation and verification. Additive Manufacturing 2018, 24, pp. 577-586, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.009>

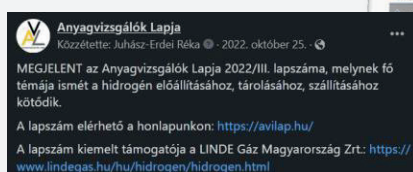


ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA - 3 ÉVE A FACEBOOKON

Facebook oldalunk 3 éves lett, mely alatt **közel 230 kedvelőnk** lett. A legtöbb olvasónk Miskolcra, Budapestre, és Debrecenre követi a facebook oldalunkat, melynek nemek közötti és életkori eloszlása a következő:



Legtöbb aktivitást mutató bejegyzésünk a LINDE által támogatott lapszámunk megjelenéséről megosztott hír.



Nincs biztonságos és versenyképes lítiumion-akkumulátorgyártás korszerű analitikai és képalkotó módszerek nélkül

Safe and competitive lithium-ion battery production cannot exist without modern analytical and imaging techniques

Kirchkeszner Csaba

UNICAM Magyarország Kft., okleveles vegyészmérnök, kereskedelmi képviselő, kirchkeszner@unicam.hu

Kulcsszavak

lítiumion akkumulátor, kromatográfia, tömegspektrometria, termikus elemzés, pásztázó elektronmikroszkópia

Keywords

lithium-ion battery, chromatography, mass spectrometry, thermal analysis, scanning electron microscopy

Absztrakt

A folyamatosan növekvő villamosenergia-igények kielégítésében, a megújuló energiaforrások villamos rendszerbe történő integrációjában és az e-mobilitásban kulcsfontosságú szerepet töltenek be az akkumulátorok mint tárolókapacitások. Azonban ahhoz, hogy ezek – főleg ma az e-mobilitás szempontjából meghatározó lítiumion-akkumulátorok – beváltsák a hozzájuk fűzött nagy reményeket, komoly K+F+I tevékenységre, megfelelő környezetvédelmi háttérre és kiválóan optimalizált gyártástechnológiára van szükség. Cikkünkben azt vizsgáljuk meg, hogy vajon mindez elegendő-e a fenntartható és biztonságos lítiumion-akkumulátorgyártáshoz.

Abstract

Batteries, as energy storage devices, play a crucial role in addressing the ever-growing demand for electricity, integrating renewable energy sources into the power grid, and driving the advancement of e-mobility. However, to fully realize the transformative potential of these batteries, particularly lithium-ion batteries, which are pivotal for e-mobility, a concerted effort in research, development, innovation (R&D+I), a robust environmental protection framework, and highly optimized production technologies are indispensable. In this article, we investigate whether all this is sufficient for sustainable and safe lithium-ion battery production.

1. Bevezetés

Napjainkban a lítiumion-akkumulátorgyártás egyre meghatározóbbá válik, ahogy a klímavédelmi célok elérésében egyre nagyobb szerepet kap az e-mobilitás. Az elektromos járművek egy jelentős része ugyanis lítiumion-akkumulátorokat használ, mert ezek más akkumulátorokkal összehasonlítva nagyobb energiasűrűséggel rendelkeznek, több töltés-kisülés ciklus valósítható meg velük, továbbá kisebb memóriaeffektus jellemző rájuk. Ugyanakkor számos olyan kedvezőtlen sajátosságuk van (pl. a túlmelegedés, robbanásveszély, gyúlékonyság), amelyek a gyártási technológiák továbbfejlesztését, optimalizálását követelik meg.

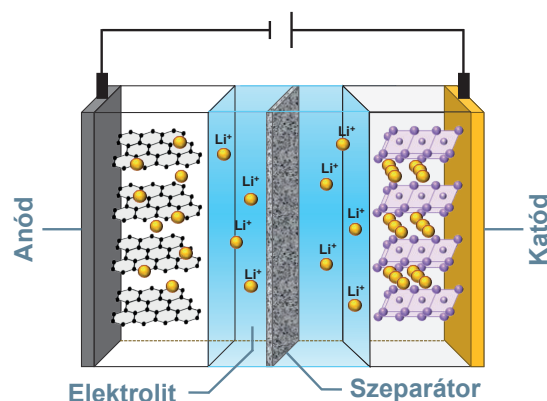
A lítiumion-akkumulátorok értékláncát mutatja be az 1. ábra az akkumulátorgyártáshoz szükséges nyersanyagok kitermelésén, feldolgozásán át a cella gyártásán és összeszerelésén túl az alkalmazásig, majd az újrahasznosításig. Az értékláncot áttekintve felmerül a kérdés, hogy hogyan, milyen analitikai és képalkotó eljárások sokaságával igazolható és biztosítható a gyártott akkumulátorok magas szintű minősége és biztonsága.

2. A lítiumion-akkumulátorok felépítése

A lítiumion-akkumulátorok több elektrokémiai cellából épülnek fel. Ezen cellákban oxidációs és redukciós részfolyamatok zajlanak le térben elválasztva, s a lejátszódó kémiai folyamatok hatására elektromos áram termelődik [1]. Az elektrokémiai celláknak alapvetően négy építőkövét különböztetjük meg, melyek az anód, a katód, a két elektródot fizikailag elválasztó szeparátor és az elektrolit (2. ábra). A lítiumion-akkumulátorokban leggyakrabban grafit alapú anódot használnak, ugyanis a grafit nagy mennyiségű lítium tárolására alkalmas, a lítiumfelvételi és -leadási folyamata reverzibilisnek tekinthető, nagy az ionos és az elektromos vezetőképessége, továbbá nagy a fajlagos kapacitása [2]. Katódként főleg lítium-vas-foszfátot (LFP) alkalmaznak, de vannak más aktív katódanyagok is, mint például a lítium-nikkel-mangán-kobalt (NMC) ötvözet. Az anód és a katód az elektrolitba merülnek, mely lítiumsókat (pl. LiPF_6 , LiBF_4), szerves oldószereket (jellemzően alkil-karbonátokat) és különböző adalékanyagokat tartalmaz. Utóbbiak között megtalálhatók különböző égésgátlók, a szerves oldószerek bomlását



1. ábra: A lítiumion-akkumulátorgyártás értékláncja



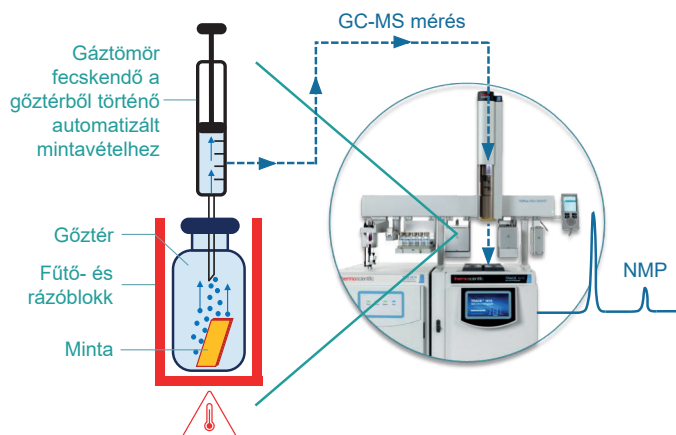
2. ábra: A lítiumion-akkumulátor felépítése

megakadályozó kémiai ágensek, anód- és katódvédők, termikus stabilitásnövelők, valamint korrózió- és túltöltés ellen védő adalékanyagok [2]. Mindezek alapján egyértelműen kijelenthető, hogy az e-mobilitásban kulcsszerepet betöltő lítiumion-akkumulátorok a belső égésű motorral hajtott járművek ólomakkumulátoraihoz képest sokkal komplexebbek. Mindez előrevetíti azt is, hogy a lítiumion-akkumulátorok gyártástechnológiája jóval bonyolultabb. Így az alapanyagok, a gyártásközi termékek és a késztermékek minőségellenőrzésére nagy hangsúlyt kell fektetni annak érdekében, hogy a hibás termékek gyártását elkerüljük, lecsökkentve ezzel a súlyos – akár emberéleteket követelő és jelentős környezeti károkat okozó – balesetek (pl. elektromos autó kigyulladás) előfordulását.

3. A katódban és az elektrolitban található illékony és közepesen illékony vegyületek elemzése

A katód gyártása során az aktív anyagot (pl. LFP) összekeverik az elektromos vezetést biztosító szénporral, különböző szerves kötőanyagokkal, majd ezekből szuszpenziót készítenek N-metil-2-pirrolidon (NMP) oldószer felhasználásával [2]. Az ekkor kapott zagyot állandó, egyenletes sebességgel mozgó speciális szalagra terítik úgy, hogy nagyon vékony (μm) összefüggő, homogén filmréteg alakuljon ki. Ezután történik a szárítás, a kalanderezés (olyan alakítási művelet, melynek során forgó hengerpár között alakítják az anyagot egyenletes vastagságúvá), majd a megfelelő alakzatú katód vágása és egy ismételt szárítási folyamat. A szárítás jelentősége abban áll, hogy az NMP-t gyakorlatilag maradéktalanul el kell távolítani a katódból, mert ez jelentősen csökkenti az akkumulátor teljesítményét, és lerövidíti annak élettartamát [2]. Így a szárítást követően nélkülözhetetlen és kulcsfontosságú feladat az oldószermaradék-meghatározás. Ezt jelenleg úgy végzik, hogy a katódból származó mintát megfelelő szerves oldószerben, ultrahanggal támogatott körülmények között extrahálják. Az extraktumot gázkromatográfiával kapcsolt tömegspektrometriás (GC-MS) elemzésnek vetik alá. Az ultrahanggal segített oldószeres extrakció időigényes folyamat, vagyis mire a mérési eredményt megkapjuk, addigra már akár több hibás sarzs is lejöhet a gyártósorról. Emellett további hátránya, hogy igen nagy az oldószer-felhasználása, ami miatt nem tekinthető környezetbarát eljárásnak, továbbá abban sem lehetünk biztosak, hogy az alkalmazott extrakciós eljárás kimerítő volt. Az ultrahanggal segített extrakció helyett célszerű használni a GC-MS-hez online kapcsolható gőztéranalitikai megoldásokat, melyek teljesen automatizáltak, az előbbieken említett minta-előkészítési technikánál nagyobb extrakciós hatékonysággal rendelkeznek. A gőztéranalitikai megoldások további előnye, hogy a szerves oldószerigényük gyakorlatilag elhanyagolható, tehát zöld analitikai kémiai megoldásnak tekinthetők [3, 4].

A GC-MS vizsgálatoknak nagy szerepe van az elektrolitoldat összetételének vizsgálatában is [5]. Ahogy korábban említettük a lítiumion-akkumulátorokban alkalmazott elektrolitok oldószerei különböző szerves karbonátok (pl. dimetil-karbonát, etil-metil-karbonát). Az elektrolitban

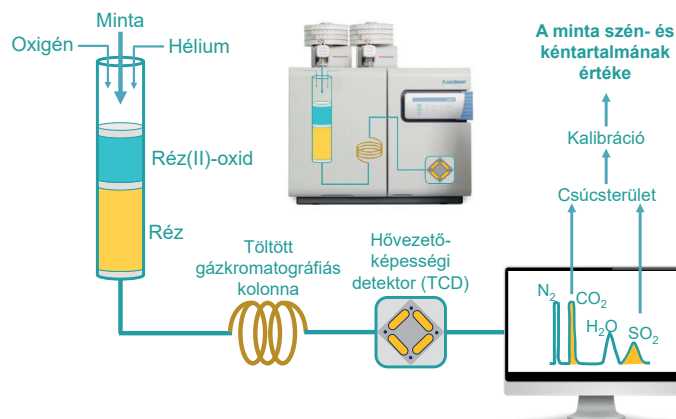


3. ábra: A katódban az NMP oldószer maradékának meghatározása gőztéranalízissel kapcsolt GC-MS technikával

megtalálható lítiumsók (pl. LiPF_6) instabilak az akkumulátor üzemi hőmérsékletén, amit a szerves karbonátok tovább növelnek. Ezért szükség van különböző stabilizátorok és egyéb adalékanyagok elektrolitoldatba történő bekeverésére. Ezek minősítésében is nagy szerepe van a modern GC-MS technikáknak [5].

4. Az elemzés szerepe a lítiumion-akkumulátor értékláncban

Az elektrolit gyártása során a szerves kémiai analízis mellett nagy hangsúlyt kell fektetni az ún. elemanalízisre. A modern elemanalitikai vizsgálatokban ma elterjedten használják az induktív csatolású plazma optikai emissziós (ICP-OES) és a kisebb kimutatási határok elérésére, valamint különböző (pl. spektrális) interferenciák kiküszöbölésére az induktív csatolású plazma tömegspektrometriás eljárásokat (ICP-MS). A LiPF_6 -tartalmú elektrolitoldat elemanalitikai vizsgálata még e modern analitikai eljárásokkal is kihívást jelent, hiszen ez az elektrolit magas szén-, só- és szerves oldószertartalmú, továbbá tartalmaz(hat) az üvegeszközöket is feloldó hidrogén-fluoridot. Így az ilyen minták esetén az ICP készülékekhez speciális kódkamrák (PTFE), nagy sótűrésű porlasztók, valamint a hidrogén-fluoridos és szerves oldószeres mátrixnak ellenálló alumíniumalapú injektorok és kerámia plazmaégők



4. ábra: A Thermo Scientific FlashSmart szerves elemanalizátor felépítése és működése

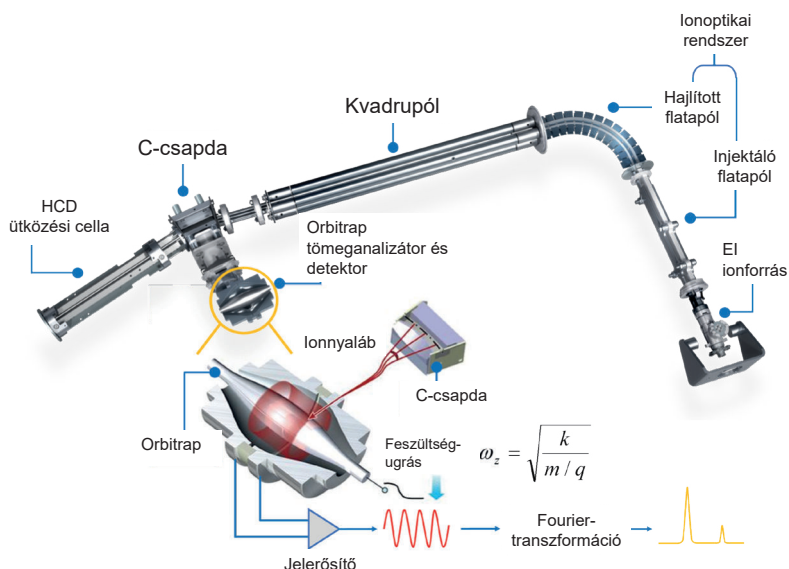
szükségesek ahhoz, hogy nagy precizitású és pontosságú, illetve reprodukálható mérési adatokat kapjunk az elektrolitoldat elemösszetételét tekintve.

Az elektrolit elemösszetételének meghatározása mellett szükséges az anód és a katód elemösszetételének vizsgálata is. Mivel az anód alapvetően grafit, ezért ebben az esetben a szén- és kéntartalom vizsgálata a leghangsúlyosabb. Az anód kéntartalmára igen alacsony határértékeket írnak elő az egyes lítiumion-akkumulátorgyártók, aminek oka, hogy a kéntartalom jelentősen csökkenti az akkumulátor élettartamát, és nemkívánt reakciók lejátszódását indukálhatja a cellában. Az anód szén- és kéntartalmának pontos, jól reprodukálható, precíz és szelektív meghatározására szerves elemanalizátorok szolgálnak (4. ábra). Ezek tartalmazznak egy magas hőmérsékletre fűthető kemencét, melynek középső hossztengelemben található egy kvarc csőreaktor. A mintát a csőreaktorban magas hőmérsékleten, oxigén és katalizátor jelenlétében elégetjük. Az égés során képződő (N_2 , NO_x , CO_2 , SO_2 , SO_3 stb.) gázokat réztölteten átvezetjük, ahol az NO_x vegyületek (NO , NO_2) N_2 -né alakulnak, az SO_3 pedig SO_2 -dá redukálódik. A redukciós oszlopról érkező gázelegy komponenseit töltetes kolonnán elválasztjuk, majd az elválasztott komponenseket hővezetőképességi detektorral (TCD) detektáljuk. A lítiumion-akkumulátorok anódjának gyártása során szükséges az alapanyag kéntartalmának nyomnyi mennyiségben történő meghatározása, ezért ekkor a TCD helyett lángfotometriás detektort célszerű használni. Így már 1-2 mg mintából, ppm koncentrációsinten jelenlévő kénszennyezést is pontosan és reprodukálhatóan mérhetünk.

5. A lítiumion-akkumulátorokban képződő degradációs termékek analízise

A lítiumion-akkumulátorok tömeges elterjedése és a gyártástechnológiák fejlesztéséhez további kutatások szükségesek, melyekhez meg kell értenünk, és meg kell ismernünk, hogy milyen folyamatok zajlanak le egészen pontosan a lítiumion-akkumulátorok elektrolitoldataiban. Erre leginkább úgy van lehetőségünk, ha a használt akkumulátorok elektrolitoldataiban – a cella működése során képződő – található degradációs vagy bomlástermékeket meghatározzuk.

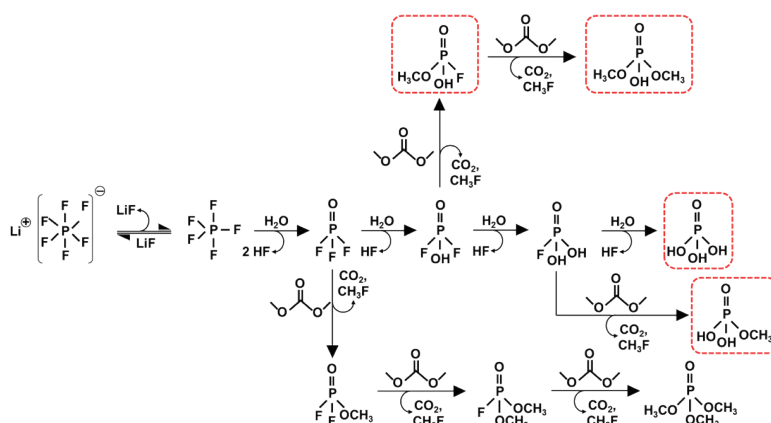
Az illékony és közepesen illékony degradációs termékek elemzésére GC-vel kapcsolt nagyfelbontású tömegspektrometriás módszerek, míg az ionos vegyületek elemzésére ionkromatográfiával kapcsolt nagyfelbontású tömegspektrometriás módszerek használatosak. A nagyfelbontású tömegspektrometria nagy segítséget nyújt abban, hogy a gáz- vagy ionkromatográfiás oszlopon elválasztott „ismeretlen” vegyületeket azonosítsuk. Ilyen nagyfelbontású tömegspektrométer a Thermo Scientific által forgalmazott Q-Orbitrap (5. ábra), melyben az ionokat azok rezonancia frekvenciái



5. ábra: A Q-Orbitrap nagyfelbontású tömegspektrométer felépítése [6]

közötti különbségek alapján választjuk el.

Az Orbitrap a piacon elérhető nagyfelbontású tömegspektrométerek közül is a legnagyobb felbontással és kiváló tömegpontossággal rendelkezik. Így az ionizált vegyület pontos tömege meghatározható vele, amiből pedig megadható a pontos elemi összetétel. További igen hasznos – a szerkezetazonosítást – jelentősen elősegítő funkció, hogy a hibrid Orbitrap rendszerek rendelkeznek az ún. HCD ütközési cellával (higher-energy collisional dissociation). Ez lehetővé teszi az ionizált vegyületek fragmentációját, majd a képződő fragmentumok pontos tömegének és elemi összetételének meghatározását. A különféle fragmentációs mintázatok alapján rekonstruálható a teljes molekulaszervezet. A nagyfelbontású tömegspektrometriás szerkezetazonosítás során a pontos tömeg mellett a megerősítést (konfirmációt) nagyban segíti az izotóposztétel és az izotópeloszlás is. A hibrid Orbitrap-ek segítségével meghatározták a $LiPF_6$ degradációs termékeit, melyek azonosítását követően sikerült feltérképezni a teljes bomlási mechanizmust (6. ábra). A kapott kémiai információk jelentősen hozzájárulnak olyan adalékanyagok



6. ábra: A lítiumion-akkumulátorok elektrolitjában található $LiPF_6$ degradációs termékei [7]

fejlesztéséhez, amelyek megakadályozzák az elektrolit összetevőinek degradációját, növelve ezzel az akkumulátor élettartamát, stabilitását és megbízhatóságát.

6. A lítiumion-akkumulátorcellák elemzése mikrokaloriméterrel

Egyre nagyobb igény mutatkozik a lítiumion-akkumulátorcellák szétszerelés nélküli vizsgálatára. Ennek egyik lehetséges eszköze a mikrokalorimetria. Az akkumulátorok töltését és kisütését hőeffektus kíséri, ha a hőmennyiség változását detektálni tudjuk az idő függvényében, akkor az így kapott eredményből számos fontos következtetés vonható le az akkumulátor állapotára vonatkozóan. Dahn és munkatársai $\text{Li/Li}_x\text{Mo}_6\text{Se}_8$ összetételű lítiumion-akkumulátort vizsgáltak mikrokaloriméterrel és a hozzákapcsolt potenciosztáttal [8]. Megállapították, hogy a teljes hőáram a következő tagokra bontható:

$$\frac{dQ}{dt} = T \cdot \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_T - \tilde{S}_0 \right] N \frac{dx}{dt} + \frac{dQ_0}{dt} + \frac{dQ_1}{dt} - I\eta, \quad (1)$$

ahol $\frac{dQ_1}{dt}$ az interkaláción kívüli reakciókból eredő hőáram, $\frac{dQ_0}{dt}$ a cella hőárama egyensúlyban (zérus áramnál), az $I\eta$ tag pedig a cellapolarizációs folyamatokat jellemző tag, míg a kapcsos zárójelben szerepel az entrópiatag, továbbá az $N \frac{dx}{dt}$ az interkaláns mennyiségének időbeli változása [8]. A $\frac{dQ_1}{dt}$ és a $\frac{dQ_0}{dt}$ együttesen megadják az ún. parazitareakciók hőtermelését [8, 9]. Parazitareakciók közé soroljuk azon vissza nem fordítható reakciókat, melyek hozzájárulnak az akkumulátor teljesítményének romlásához [8, 9].

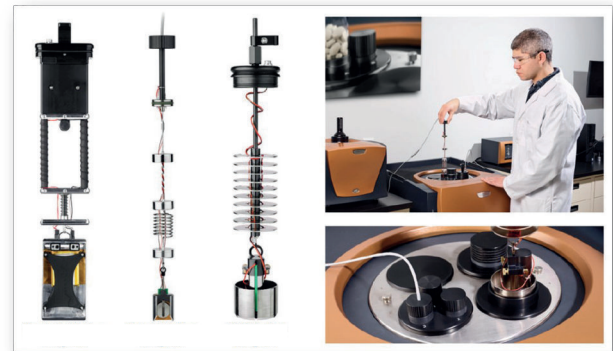
Az előbbieket alapján, ha a teljes töltési és kisülési ciklus során mérjük a cella hőteljesítményét, majd integráljuk az idő függvényében, akkor megkapjuk a töltési és a kisülési folyamatokhoz tartozó hőmennyiség értékeket [9]. A cella polarizációja során felszabaduló hőenergia meghatározható a feszültséggörbe hiszterézisének integrálásával, amit ha a töltési és a kisülési folyamatra is meghatározunk, majd kivonunk a teljes hőmennyiségből, akkor megkapjuk a parazitareakciókból származó hőmennyiséget:

$$Q_p = \left[\int_0^{t_d} \frac{dQ_d}{dt} dt + \int_0^{t_c} \frac{dQ_c}{dt} dt \right] - \left[\int_0^{t_c} I_c V_c dt - \int_0^{t_d} I_d V_d dt \right], \quad (2)$$

ahol az első kapcsos zárójelben lévő tag a kisütés (discharge) és a töltés (charge) során fellépő hőáramok, a második kapcsos zárójelben pedig a cellapolarizációra vonatkozó tagok szerepelnek a kisütéskor és a töltéskor. (A reverzibilis hőáram előjelet változtat az áram előjelének változtatásával, így ha a mért hőteljesítményt integráljuk a teljes cikluson keresztül, akkor az entrópiatag zérus lesz.) A parazitareakciók során termelődő hő és az aktív – interkalációra képes – lítiumionok koncentrációjának csökkenése között egyenes arányosság van [9].

A mikrokalorimetriás vizsgálatokkal nemcsak a parazitareakciókról nyerhetünk információkat, hanem meghatározhatók a lítáció/delítáció során fellépő

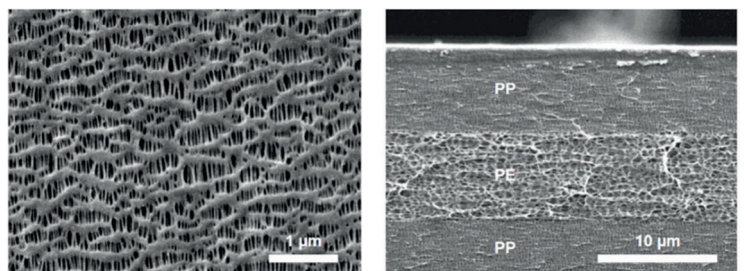
szerkezeti változások és fázisátalakulások is. Továbbá egy kiválóan alkalmas módszer arra, hogy az anód felületén kialakuló *solid electrolyte interphase*, másnéven ún. SEI-réteg kialakulását tanulmányozzuk. A SEI az első néhány töltési és kisütési ciklus során keletkezik, egyfajta passzíváló réteget képez az anód felületén, amely gátolja az elektrolit további bomlását, és biztosítja az akkumulátor hosszú élettartamát, többszöri töltését és kisütését [10]. Mindezek alapján látható, hogy létfontosságú a lítiumion-akkumulátorok „életében”, ugyanakkor igen kevés információval rendelkezünk a SEI-rétegekről. A mikrokalorimetria abban is nagy segítséget nyújt, hogy vizsgáljuk a gyártott cellák önkisülési sebességét.



7. ábra: A TA Instruments TAM IV mikrokaloriméter különböző típusú lítiumion-akkumulátorcellák vizsgálatára [11]

7. A pásztázó elektronmikroszkópia szerepe a lítiumion-akkumulátor értékláncban

Jelen cikk 2. fejezetében említettük, hogy a lítiumion-akkumulátorok „lelke” az ún. szeparátorfólia, mely egy ultravékony, porózus szerkezetű membrán. Feladata a pozitív és negatív elektródok térbeli szeparációja a cellán belül. A szeparátor mikroszerkezetének felderítésében nagy jelentősége van a pásztázó elektronmikroszkópiának (SEM, 8. ábra). Ennek oka, hogy a szeparátor fólia lehetővé teszi a lítiumionok átjárását a két félcella között, ugyanakkor biztosítja az elektródok térbeli szeparációját is. A szeparátor sérülése – pl. a dendritesedés esetén – forrópontok és rövidzárlatok kialakulását okozhatja, ami miatt az akkumulátorok kigyulladhatnak. További hasznos szerepe van a SEM-nek a lítiumion-akkumulátorok újrahasznosítása során előállított ún. black mass osztályozásában, minősítésében. A black mass minősítése alapvetően úgy történik, hogy felveszünk a mintáról egy SEM felvételt, s az EDX



8. ábra: A PP-PE-PP réteges szeparátor fólia felületi (bal oldali ábra) és keresztmetszeti (jobb oldali ábra) SEM felvétele [12]



9. ábra: Az Image-based Data Collection and Automated Phase Analysis folyamata [13]

detektorral néhány ponton elemanalízist végzünk, majd ezekről a mintavételi pontokról kapott röntgenfluoreszcens spektrumok karakterisztikus röntgensúcsai alapján elvégezzük az elemösszetétel meghatározását. Ennek a módszernek azonban van egy nagy hátránya, nevezetesen az, hogy a black mass minták sokféle különböző szemcseméretű és alakú alkotókból épülnek fel, így az egy-egy ponton végzett elemanalízis nem ad igazán reprezentatív képet a mintáról [13, 14]. E probléma megoldására dolgozta ki a Hitachi az ún. Image-based Data Collection and Automated Phase Analysis-t (9. ábra), vagyis a képalapú adatgyűjtés és automatizált fáziselemzés módszerét [13, 14]. Ennek első lépése az automatizált adatgyűjtés, melynek során a SEM-mel felvesszük a visszaszórt elektron képeket. Majd a felvételek alapján a készülék szoftveresen elvégzi a mintatartóra helyezett minta egészének szegmentálását. Ezt követően minden szegmensről felvesszük az EDX spektrumokat. A szegmensekről készített spektrumokat egy algoritmus összeveti a referenciaspektrum-könyvtárban található spektrumokkal, amelyeket korábbi black mass mintákról készítettek. Majd a szoftver egy eloszlási diagramot készít a vizsgált black mass mintában található alkotókról [13, 14].

8. Összefoglalás

Cikkünkben bemutatunk néhány főbb korszerű analitikai és képalkotó módszert, melyek nélkülözhetetlen szerepet töltenek be a lítiumion-akkumulátorokkal kapcsolatos

kutatásokban és fejlesztésekben, továbbá a gyártási folyamatokban és a gyártásközi minőségellenőrzésben, valamint a cellák újrahazsnosításában. Biztosan állíthatjuk, hogy olyan lesz a holnap lítiumion-akkumulátora, amilyen a ma lítiumion-akkumulátorgyára. Ugyanakkor be kell látni, hogy korszerű, modern analitikai és képalkotó módszerek nélkül nincs biztonságos és versenyképes lítiumion-akkumulátorgyártás, ami nélkül pedig nincs e-mobilitás sem.

Irodalomjegyzék

- [1] Kiss L., Láng Gy.: Elektrokémia. Semmelweis Kiadó és Multimédia Stúdió, 2011. ISBN: 978-9-633-31147-9
- [2] R. Korthauer: Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications. Springer, 2018. ISBN: 978-3-662-53069-6
- [3] J. Che, F. Bu, G. Riccardino, D. Cavagnino: Rapid determination of residual N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) in lithium battery electrodes by headspace gas chromatography – Application Note. Thermo Scientific, 2022.
- [4] B. Kolb, I. Ettre: Static headspace-gas chromatography – Theory and Practice (2nd ed.). Wiley, 2006.
- [5] N.A. Warner, A. Ladak, S. Nelms, D. Kutscher: Comprehensive analysis of electrolyte solutions for lithium-ion batteries using gas chromatography – mass spectrometry – Application note. Thermo Scientific, 2022.
- [6] Kirchkeszner Cs. Adalékanyagok kioldódásának vizsgálata polipropilén-alapú élelmiszerekkel rendeltetészerűen érintkezésbe kerülő műanyagokból – Doktori disszertáció. ELTE TTK Hevesy György Kémiai Doktori Iskola, 2023. DOI: 10.15476/ELTE.2023.002
- [7] R.W. Slingsby, C. Saini, C. Pohl, P. Voelker, K. Comstock: Identification of phosphorus-containing degradation products obtained from surface deposits on lithium-ion battery anodes using ion chromatography coupled to high resolution accurate mass MS/MS – Application Note. Thermo Scientific, 2022.
- [8] J.R. Dahn, W.R. McKinnon, J.J. Murray, R.R. Haering, R.S. McMillan, A.H. Rivers-Bowman: Entropy of the intercalation compound $\text{Li}_x\text{Mo}_6\text{Se}_8$ from calorimetry of electrochemical cells. Physical Review B. 32, 3316, 1985. DOI: 10.1103/PhysRevB.32.3316
- [9] L.J. Krause, L.D. Jensen, J.R. Dahn: Measurement of parasitic reactions in Li ion cells by electrochemical calorimetry. Journal of the Electrochemical Society, 157(7), pp. 937–943., 2012. DOI: 10.1149/2.021207jes
- [10] S.K. Heiskanen, J. Kim, B.L. Lucht: Generation and evolution of the solid electrolyte interphase of lithium-ion batteries. Joule, 3(10), pp. 2322–2333., 2019. DOI: 10.1016/j.joule.2019.08.018.
- [11] <https://www.tainstruments.com/battery-cycler-microcalorimeter/> (Az utolsó megtekintés időpontja: 2024. január 17.)
- [12] S. Cik Mun, J. Ho Won: Manufacturing Processes of Microporous Polyolefin Separators for Lithium-Ion Batteries and Correlations between Mechanical and Physical Properties. Crystals. 11(9). 1013, 2021. DOI: 10.3390/cryst11091013
- [13] AMICS PoC – Black Mass Battery samples Hitachi SU5000 – Application Note. Hitachi, 2022.
- [14] L. Donnelly, D. Pirrie, M. Power, I. Cofre, J. Kuva, S. Lukkari, Y. Lahaye, X. Liu, Q. Dehaine, E.M. Jolis, A. Butcher: The recycling of end-of-life lithium-ion batteries and the phase characterisation of black mass. Recycling, 8(59), 2023. DOI: 10.3390/recycling8040059

Mesterséges Intelligencia alkalmazása a képalkotó vizsgálatok értékelésében

Application of Artificial Intelligence in the evaluation of NDT imaging

Dudra Judit^a, Zsíros Zsombor^b, Margitai Péter^c, Pataki Márton^d, Szávai Szabolcs^e,
Matók Viktor^f, Balogh Csilla^g, Viczena Julianna^h, Béres Benceⁱ

^{a-e}Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.,

^avezető kutató, judit.dudra@bayzoltan.hu, ^bsenior kutató, zsombor.zsiros@bayzoltan.hu, ^cfejlesztő, peter.margitai@bayzoltan.hu,

^dMI fejlesztő, marion.pataki@bayzoltan.hu, ^eosztályvezető, szabolcs.szavai@bayzoltan.hu

^{f-g}Metalcontrol Kft., ^foperatív igazgató, matok.viktor@metalcontrol.hu, ^gmetallográfiai vizsgálatvezető, balogh.csilla@metalcontrol.hu

^{h-i}Euroil Kft., ^hprojektvezető, viczena.julianna@euroil.eu, ⁱoperatív igazgató, beres.bence@euroil.eu

Kulcsszavak

roncsolásmentes anyagvizsgálat, hegesztett kötés, radiográfiai (röntgen) vizsgálat, mesterséges intelligencia (MI), szabvány szerinti kiértékelés

Keywords

non-destructive material testing, welded joint, radiographic (X-ray) examination, artificial intelligence (AI), evaluation according to standard

Absztrakt

A jelenlegi radiográfiai hibakereső vizsgálat manuális kiértékelésen alapszik, humán erőforrás igényes, minőségbiztosítása kellő mértékben nem biztosított és súlyos kapacitáskorlátokkal is terhelt. Az eredményeket az elemzés után külön lépésben kell digitálisan rögzíteni, mely hibákat vihet a folyamatba. Ezért mind a hatékonyság, mind a megbízhatóság növelése érdekében célszerű és indokolt a folyamat automatizálása. Ennek eredményeként jelen tanulmány egy olyan egységes, az iparági elvárásoknak megfelelően megbízható és további adatbányászati megoldásokhoz csatlakozó vizsgálati rendszert mutat be, mely a fent felsorolt igényeket törekszik kielégíteni.

Abstract

The current radiographic flaw detection test is based on manual evaluation, requiring significant human resources. Quality assurance is not adequately ensured, and there are also serious capacity constraints. The results need to be digitally recorded as a separate step after analysis, which can introduce errors into the process. Therefore, for the purpose of increasing both efficiency and reliability, it is advisable and justified to automate the process. As a result, this study presents a unified examination system that meets industry expectations, is reliable, and can be integrated with additional data mining solutions, aiming to satisfy the mentioned requirements.

1. Bevezetés

A roncsolásmentes vizsgálatok kiemelt szerepet játszanak a hegesztett kötések tartalmazó szerkezetek integrálásának biztosításában azáltal, hogy lehetővé teszik azok minőségének megfelelő ellenőrzését anélkül, hogy károsítanák vagy gyengítenék a vizsgált szerkezetet. Számos iparágban és országban szigorú szabályozások és szabványok határozzák meg a hegesztett szerkezetek roncsolásmentes vizsgálatát és azok értékelési követelményeit.

A vizsgálatok lehetővé teszik a szakemberek számára, hogy például radiográfiai filmek alapján meghatározható legyen az eltérések, folytonossági hiányok geometriai mérete, elhelyezkedése és terjedelme. Ez kritikus információ a hibák súlyosságának felméréséhez és az esetleges javítások meghatározásához, kezeléséhez.

A röntgenvizsgálatokból származó nagyszámú képi adatok gyors és hatékony elemzését, majd kiértékelését támogatva célul tűztük ki egy szabványkövetelmények szerinti komplex képelemző és kiértékelő alkalmazás (szoftver) fejlesztését fémek és ötvözeik elemzésére, mely a belső-külső forrásból származó képi eredmények minél teljesebb körű mesterséges intelligencián (MI) történő kiértékelésén alapszik. Így a képelemző és kiértékelő szoftver egyedülálló módon nyújt támogatást a mezoszopikus eltérések (pl. zárványok) széles spektrumú mélyelemzéséhez.

2. Alkalmazás architektúra

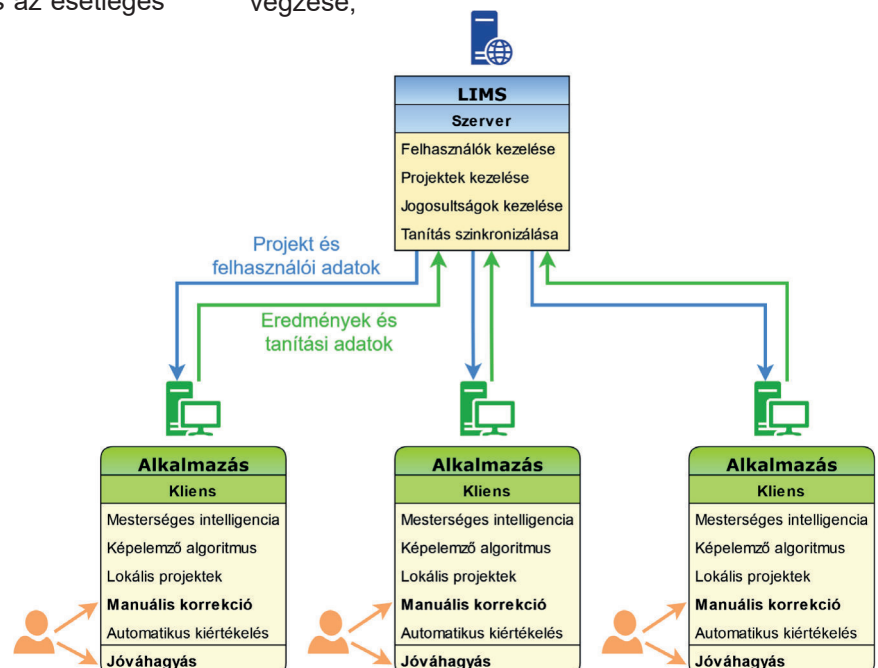
A fejlesztés során elvárás volt, hogy a képelemző és kiértékelő alkalmazás (szoftver), egy már meglévő adatbázis rendszerhez, az euris-LIMS: Euroil Global

Information System - Laboratory Information Management System Modulhoz (továbbiakban LIMS-hez) kapcsolódjon. A szoftver futásakor a LIMS látja el a felhasználók azonosítását, biztosítja a szoftver adatbázisát, kezeli a rögzített projekteket és jogosultságokat, majd tárolja a kiértékelte eredményeket.

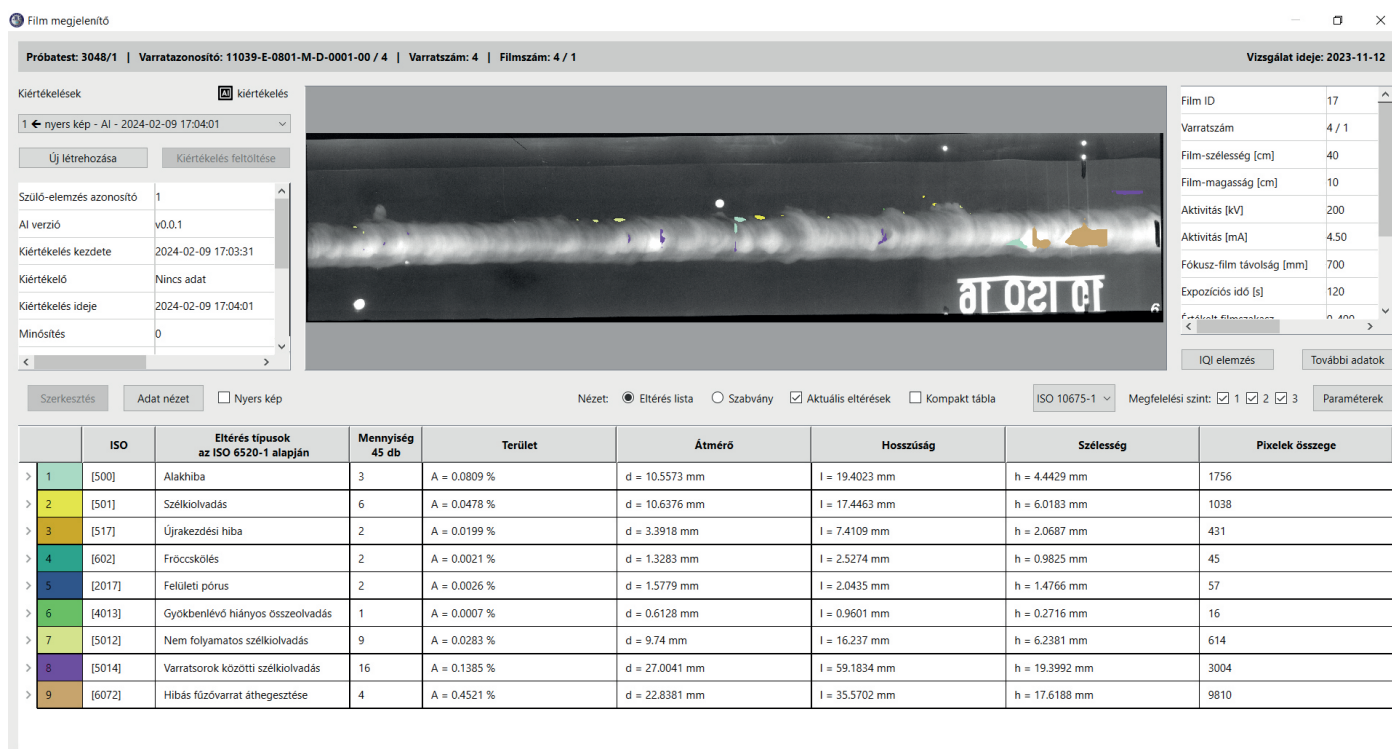
Ezzel párhuzamosan a képelemző kliens alkalmazás a LIMS rendszerrel oda-vissza kommunikációt végez, lokális gépen futtatható, így a számítógépek elemzés közben függetlenek egymástól. Ennek folyamatát szemlélteti az 1. ábra.

A kliens alkalmazás feladata a

- mesterséges intelligencián alapuló képelemzés elvégzése,



1. ábra: Képelemző és kiértékelő alkalmazás főbb funkciók



2. ábra: Röntgenfilm megjelenítő ablak MI elemzés után, eltérések

- folyamatok/adatok kezelése, kommunikáció a LIMS-szel (projektek/felhasználók letöltése, eredmények feltöltése),
- szakértő (felhasználó) által történő manuális képkorrekció végzése (szakértői szupervízió),
- szabvány szerinti automatikus kiértékelés,
- eltérések listázása, eredmények megjelenítése,
- manuális jóváhagyás és tovább tanítási lehetőség biztosítása.

3. Alkalmazás munkafolyamata – workflow

Az alkalmazás indítását követően a LIMS szerverről letöltődnek a projektek és az azokhoz tartozó próbatetek. A projektekhez rendelt próbatetekhez hegesztési varratok adatai és a varratokhoz kapcsolódó vizsgálatok információi, továbbá ezen belül a vizsgálatok röntgen képi elemei (filmek) tartoznak.

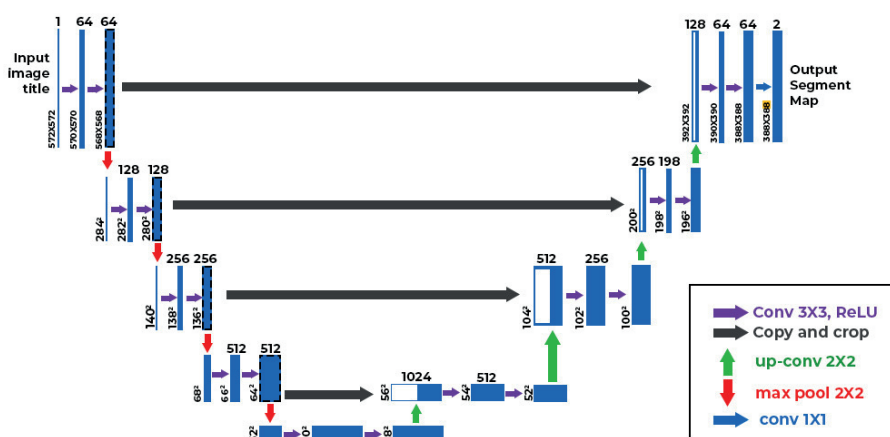
3.1 Eltérések mesterséges intelligencia alapú kiértékelése

Egy film betöltésekor megjelenik a kiválasztott röntgenkép felvétel a hozzá tartozó metaadatokkal, melyet a 2. ábra szemléltet. Ekkor a felhasználó mesterséges intelligencián alapuló képelemzést indíthat. Az MI elemzés befejezése után a megtalált eltérések kiértékelése – az eltérések geometriai paramétereivel – azonnal megjelenik (lásd 2. ábra táblázatában a különböző színnel jelölt alakhiba, szélekiolvadás stb. eltérési listát).

3.1.1 Alkalmazott mesterséges intelligencia

A képszegmentálás egy alapvető gépi látás feladat, amelynek célja egy képet több értelmes és szemantikailag egységes régióra bontani. A képszegmentálási módszerek értékes információk kinyerésére törekednek a képekből azáltal, hogy pixelenként megkülönböztetik a különböző objektumokat vagy releváns területeket. Elmondható, hogy napjainkban a gépi tanulási módszerek forradalmasították a 2D kép szegmentálását, és széles skálájú technikákat kínálnak a különböző szegmentációs kihívások megoldására.

Jelen képelemző szoftver úgynevezett U-Net és ResNet architektúrát használ a röntgenképek szegmentációjára. Előbbi nevét az U alakú hálózati felépítéséből kapta és 2015-ben javasolta orvosbiológiai képeken található alakzatok elkülönítésére Ronneberger és társai [2] (3. ábra), utóbbiról a tanítóadatok fejezet alatt számolunk



3. ábra: U-Net architektúra mintaváza [2]

be részletesebben. Az U-Net architektúra egy kódoló-dekódoló struktúra, amelyet úgy alakítottak ki, hogy kiemelkedő teljesítményt nyújtson a pixelenkénti szegmentációs feladatokban. A hálózat kódoló része hasonlít egy hagyományos konvolúciós neurális hálózathoz (CNN), és kulcs szerepet játszik a tulajdonságok hierarchikus kinyerésében. Fokozatosan csökkenti a térbeli felbontást, miközben növeli a tulajdonságcsatornák számát. Eközben a hálózat dekódoló része a felskálázást végzi, és előállítja a pixelenkénti előrejelzéseket. Fokozatosan növeli a térbeli felbontást, miközben csökkenti a tulajdonságcsatornák számát.

Az U-Net fontos újítása az úgynevezett "kihagyási" kapcsolatok bevezetése, amelyek lényeges kapcsolatot teremtenek az előfeldolgozó és visszafejtő rétegek közt. A "kihagyási" kapcsolatok a kódolóból közvetlenül átadják a tulajdonságtérképeket a dekóder megfelelő rétegeinek. Ez segít megőrizni a finom részleteket és a térbeli információt, amelyek máskülönben elveszthetnének a csökkentés és a felskálázás folyamatában.

A kódoló, amelyet gyakran a tömörítő útvonalként emlegetnek, konvolúciós rétegek sorozataként kezdődik, amelyeket aktivációs függvények (általában ReLU - rectified linear unit) és maximum-kiválasztás rétegek követnek. Ez az útvonal fokozatosan csökkenti a térbeli dimenziókat. Ellenkezőleg, a dekóder, amit a bővítő útvonalnak is neveznek, transzponált konvolúciós rétegekből (amelyeket gyakran dekonvolúciós vagy felskálázó rétegeknek is hívnak) áll, amelyek fokozatosan növelik a térbeli dimenziókat. A dekóder minden szintjén a kódoló útvonalból származó tulajdonság térképeket a dekóder által előállított térképekkel összefűzi, ami hatékonyan növeli a részletes információk megőrzését.

A fejlesztés során alkalmazott mesterséges intelligencia modell első lépésben bináris (hiba-nem hiba) klasszifikációt (osztályozást) végez, majd az elemzés során ennek a modellnek az alapjaira épül a következő lépés (architektúrális szinten), ami már kategóriákra (eltérésekre) szétbontva végzi a röntgenképek szegmentációját és elemzi az eltérések geometriai tulajdonságait.

3.1.2 Tanítóadatok – optimalizálás

A tanítóadatoknak kiemelkedő szerepük van a képszegmentálás során, mivel ezek adatai segítik a gépi látó algoritmust az értelmes és pontos szegmensek kialakításában. A megfelelő metaadatokkal jól ellátott, esetünkben

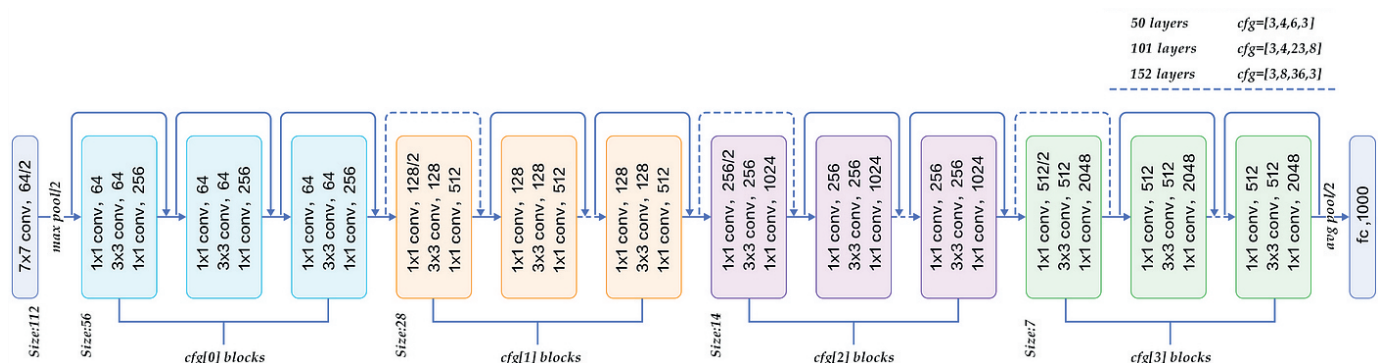
a szakemberek által megfelelően jelölt (labelezett) tanítóadatok nélkülözhetetlenek a képszegmentálási modell sikeres tanításához és hatékony működéséhez, mivel ezek az adatok adják meg a referenciapontokat a különböző objektumok és területek megfelelő azonosításához. A modell a tanítóadatok alapján tanulja meg a különböző színeket, ezzel a röntgenképen megjelenő eltéréseket és formákat. A megfelelően összeállított tanítóadatok hozzájárulnak a modell pontosságához és kiszámíthatóságához, melyek alapján a modellek teljesítménye értékelhető és javítható. Az éles és jól meghatározott tanítóadatok segítik azokat a visszajelzéseket, amelyek révén a modell tovább finomítható és optimalizálható.

A bináris klasszifikációt végző U-Net mesterséges intelligencia tanításához a rendelkezésre álló röntgenkép adatokat 256x256 pixel nagyságú kép négyzetekre bontottuk fel. Ezzel egyrészt a röntgenképek nem konzisztens mérete egységes szeletekre osztható, ezáltal a tanítóadatok mennyisége tovább nő, illetve a kis és egységes képszelet méret megfelelőbb a neurális hálózat hatékonyságának és taníthatóságának szempontjából.

Az U-Net architektúrában kódoló/tömörítő elemként a RegNet nevű konvolúciós neurális hálózatmodell került alkalmazásra [3]. Esetünkben a RegNet modell alkalmazásával a kódoló/tömörítő rész felelős a kép alacsony szintű jellemzőinek kinyeréséért és tömörítéséért. Ebben a kontextusban a RegNet konvolúciós rétegei vagy blokkjai szolgálnak a bemeneti képelemek kódolására, ami a magasabb szintű absztrakciókat tartalmazzák. Ezután az U-Net struktúrája további részekkel (dekóderekkel) dolgozik az eredeti kép részletes szegmentálásáért.

A tanítás optimalizációs algoritmus a Dice Loss volt. A Dice Loss a szegmentált terület és a valóságos (referencia) terület átfedését méri, és ennek alapján számolja ki a veszteséget, majd az optimalizáció során az eredményeket kategóriánként súlyozza az előfordulási gyakoriságukkal arányosan. Ez az optimalizációs megoldás a kategóriákra (eltérésekre) bontott tanítás során kifejezetten fontos szerepet töltött be, mivel a különböző hegesztési eltérések között nagyságrendbeli mennyiségi különbségek vannak.

Az alkalmazásban a bináris osztályozás utáni *eltérés klasszifikációt* végző modell feltanításához ResNet architektúra került alkalmazásra (4. ábra), mely mélytanulási áttörést jelent, különösen a képosztályozási feladatokban, mely 2016-ban került először publikálásra [5].



4. ábra: ResNet architektúra mintaváza [4]

A röntgenképek eltérés klasszifikációjának alapját az MSZ EN ISO 6520-1:2007 szabvány [1] által szolgáltatott eltéréstípusok nyújtják. A Microsoft kutatói által kifejlesztett ResNet a nagyon mély neurális hálózatok feltanításának problémáját oldja meg. A hagyományos mély hálózatoknál a probléma abban jelentkezett, hogy a további rétegek nem járultak hozzá a teljesítmény javulásához, néha pedig a tanítási hatékonyság csökkenéséhez vezettek. A ResNet ezt a maradék tanulás bevezetésével oldja meg, ahol a rétegek a réteg bemeneteire vonatkoztatva tanulják meg a függvényeket, ahelyett, hogy önmagukban referált függvényeket tanulnának. Ez lehetővé teszi a korábban használatnál jelentősen mélyebb hálózatok sikeres betanítását, jelentős pontossági javuláshoz vezetve.

A klasszifikációs modell bemenete 128*128 pixel méretben került meghatározásra. A tanítás során az információ veszteség mérésére szolgáló Cross Entropy Loss eljárás került alkalmazásra ADAM (adaptive moment estimation) optimalizációs algoritmussal kiegészítve.

A tanítás folyamán számos kérdés merül fel, melyek kezelése kulcsfontosságú. Gondolunk itt például a röntgenképeken látható eltérések átfedéseire, melyek pontatlan felismerése a folyamatosan gyarapodó képi adatmennyiség és tanítóadatok révén kiküszöbölhetővé válik és feltanulhatóak.

3.2 Manuális korrekció – szerkesztő modul

Az MI által készített kiértékelést az alkalmazás automatikusan feltölti a LIMS rendszerbe, ámbar annak eredményét a szoftverbe épített manuális korrekció (szerkesztő modul) funkcióval bármikor módosíthatja, felülírhatja a felhasználó. A szoftver megkülönbözteti az MI és a felhasználók által tett elemzéseket, melyek verziókövetéssel

visszatölthetőek.

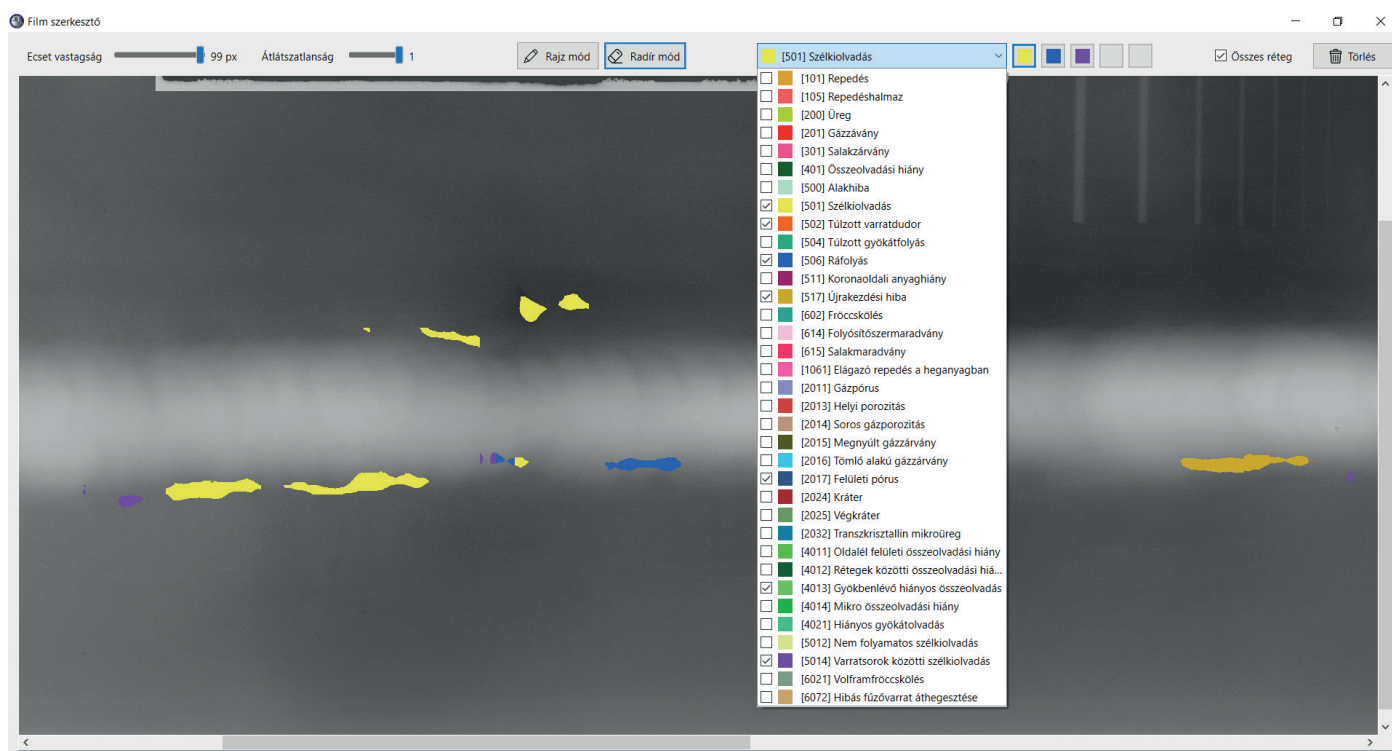
A szerkesztő modulban (ld. 5. ábra) a

- röntgenkép nagyítható és mozgatható, lehetővé téve a varrat részleteinek alaposabb vizsgálatát. Ez a funkció nem csak a röntgenképen látható különbségek szerkesztéséhez és újra rajzolásához, hanem a varratkép mélyebb elemzéséhez is hasznos.
- A röntgenképeken található eltérések átlátszósága csúszka segítségével állíthatóak, ez átfedések esetében segítség a felhasználó számára,
- illetve az eltérések rétegenként ki-be kapcsolhatók.
- A jelölések során az ecsetvastagság változtatható, míg az eltérések típusa egy lenyíló listából kiválasztható, melyen belül egy jelölőnégyzet mutatja az adott réteg röntgenképen történő láthatóságát.
- A szerkesztés során makro gombok jelzik a legutóbb használt eltérés kategóriák listáját, mely által gyors és hatékony váltás valósítható meg az eltérések közötti szerkesztések során.
- Összes jelölő négyzet bepipálása után a rétegek egyszerre törölhetők.
- A szoftverhez új eltérés kategóriák definiálhatóak esetleges új szabvány bevezetése kapcsán.

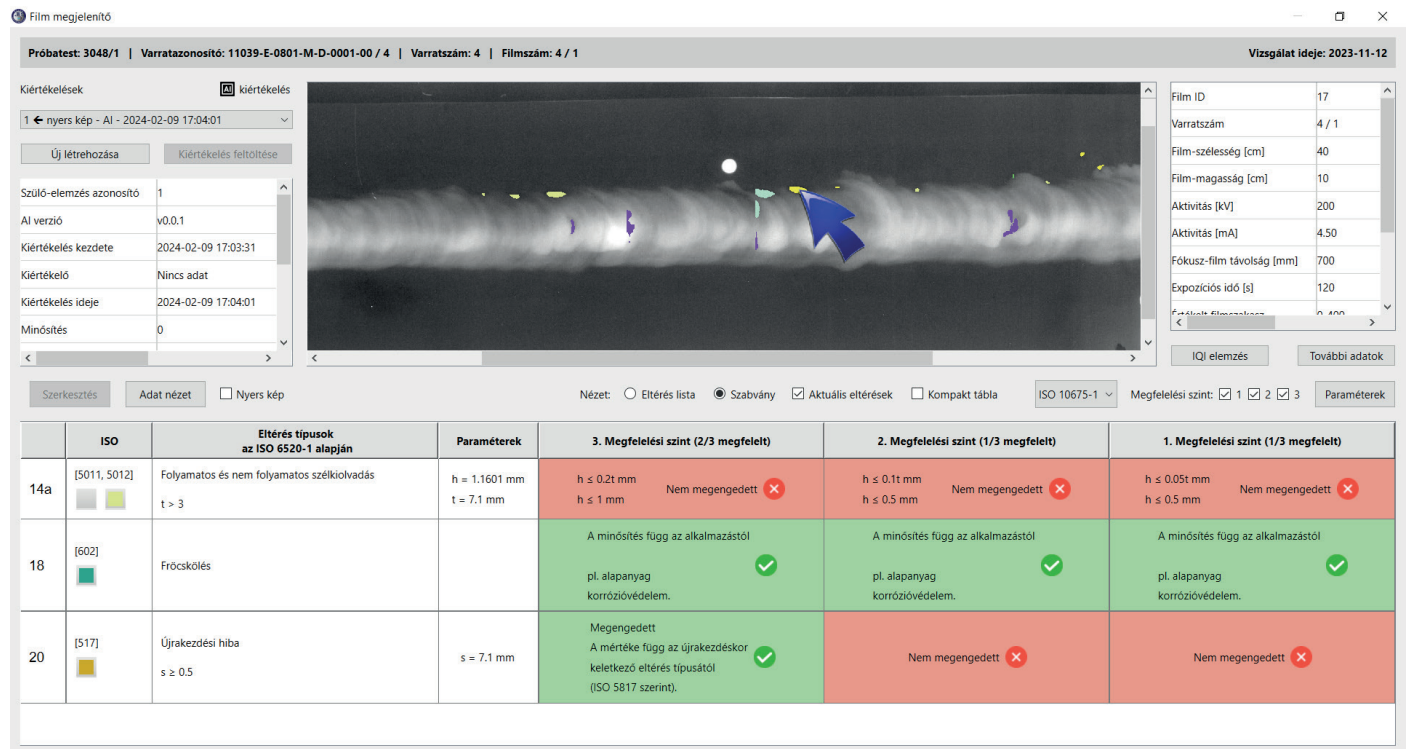
A szerkesztő ablakból való kilépést követően a módosítások automatikusan szinkronizálásra kerülnek a röntgenfilm ablak (ld. 2. ábra) megjelenítővel.

3.3 Szabvány szerinti kiértékelés

A szabvány szerinti kiértékelés indításához az alkalmazásban a Szabvány jelölő gomb bekapcsolása szükséges. A szabvány típusa egy lenyíló listából választható ki. A képelemző és kiértékelő alkalmazásban jelenleg elérhető



5. ábra: Film szerkesztő modul



6. ábra: Szabvány szerinti kiértékelés, eredmények

szabványok az alábbiak:

- MSZ EN ISO 10675-1:2022 Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átviteli szintjei, 1. rész: Acél, nikkel, titán és ötvözeik.
- MSZ EN ISO 10675-2:2022 Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átviteli szintjei, 2. rész: Alumínium és ötvözei.
- MSZ EN ISO 10893-6:2020 Acélcsövek roncsolásmentes vizsgálata, 6. rész: hegesztett acélcsövek varratának radiográfiai vizsgálata az anyaghiányok kimutatására.

Az eltérések szabványos kiértékelése az alkalmazásban teljeskörű és automatikus. A szabvány által előírt eredmények listanézetben jeleníthetők meg (ld. 6. ábra) és tartalmuk mindig frissítésre kerül a röntgenfilm szerkesztése után. A kiértékelésnek két kimenete van, ahogy azt a szabvány is definiálja: „Megengedett” és „Nem megengedett”, melyek az alkalmazásban zöld és piros színnel kerülnek jelölésre. A szabvány által meghatározott 1-2-3 megfelelési szintek a szoftverben jelölőnégyzet segítségével ki-be kapcsolhatóak, ahol értelemszerűen az 1. szint a legszigorúbb szint.

A kiértékelés során kapott eltérési lista (mely a szabvány által előírt összes eltérést listázza) az *Aktuális eltérések*re kattintva a röntgenfilm felvételen megjelenő, aktuális eltérésekre frissül.

A *Kompakt tábla* nézet gomb szabvány módban érhető el és egy kompakt, jól átlátható nézetet biztosít a kiértékelt szabvány eredményeiről.

A *Nyers kép* jelölőnégyzet bepipálásával az eltérések nélküli, eredeti röntgenkép jeleníthető meg.

A *Paraméter* gombra történő kattintással egy új ablakban

a szabvány által használt paraméterlista tűnik fel, külön jelölve az értékelés során a LIMS rendszerből érkező vagy a mesterséges intelligencia révén kapott paramétereket.

Az *Adat nézetben* nagy méretben tekinthetők meg a szabványos kiértékelés eredményei, melyek az értékelés után a LIMS rendszerbe töltődnek fel.

3.4 Tanítómodul

A mesterséges intelligencia által előzetesen kiértékelt képek a felhasználók (supervisorok, anyagvizsgáló szakemberek) esetleges javításai (manuális korrekciói) alapján új értékeket kapnak. Ezek alkotják az új tanítóadatokat a rendszerben. A korrigált képek a LIMS rendszeren keresztül kerülnek be a tanító adatbázisba. Ezáltal a rendszer a növekvő adatmennyiségnek köszönhetően tovább tanul és a képek automatikus kiértékelése tovább fejlődik.

Az alkalmazás a külső forrásból érkező, manuálisan hozzáadott képi adatokból származó tanítást is kezeli. Ekkor az alkalmazás tanító algoritmusa újabb képi adat hozzáadásával tovább bővíthető, tanítható. Ezt külön funkció biztosítja a képelemző szoftverben.

4. Konklúzió

Mind a hatékonyság, mind a megbízhatóság növelése érdekében kifejlesztésre és most bemutatásra kerülő, mesterséges intelligenciát alkalmazó képelemző és kiértékelő szoftver jelen fókuszja a röntgenképek kiértékelésére érvényes eljárások során gyűjtött adatokon van, mellyel egyedi és speciális tudásbázis létrehozása a cél. A szoftver használatával a tudásbázis egyre bővül, mely által az automatikus kiértékelések egyre pontosabbá és

gyorsabbá válnak.

Az alkalmazás szakemberek által jóváhagyott eredmények mellett gyors, hatékony és automatizált képelemzés és kiértékelés végrehajtására képes. A kiértékelésben résztvevő szabványok köre tovább bővíthető. A szoftver nemcsak röntgenképek, hanem egyéb forrásból származó, pl. mikroszkópi felvételek elemzésére is adaptálható, ami további fejlesztéseket kíván meg az ezt támogató mesterséges intelligencia és szabványos kiértékelés tekintetében.

Elmondhatjuk, hogy az élet minden területén rohamosan egyre nagyobb teret kapó MI technológia immár az anyagvizsgálat területén is új korszakot nyit, melynek egy sikeres úttörő példája a kifejlesztett képelemző és kiértékelő alkalmazás. A szoftver lehetőséget teremtett arra, hogy a nagyméretű ipari létesítmények építés-szerelési, üzemeltetési- és karbantartási tevékenységéhez megbízható, gyors és hatékony támogatást nyújtson.

Köszönetnyilvánítás

Az AKH- KomplexInno II.– 002/2022–029 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2021-1.1.2-AKH pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN ISO 6520-1:2007 Hegesztés és rokon eljárások. Fémek geometriai eltéréseinek besorolása.
- [2] O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation," in International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, 2015, pp. 234–241.
- [3] Jing Xu, Yu Pan, Xinglin Pan, Steven Hoi, Zhang Yi and Zenglin Xu, "RegNet: Self-Regulated Network for Image Classification", IEEE Xplore, Volume: 34, Issue: 11, 2023.
- [4] Xian Zhong, Oubo Gong, Wenxin Huang, Jingling Yuan, Bo Ma, Ryan Wen Liu, "Multi-scale Residual Network for Image Classification", ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2020.
- [5] Kaiming He; Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun, „Deep Residual Learning for Image Recognition” Conference: 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), (2016)
- [6] MSZ EN ISO 10675-1:2022 Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átviteli szintjei, 1. rész: Acél, nikkal, titán és ötvözetek.
- [7] MSZ EN ISO 10675-2:2022 Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átviteli szintjei, 2. rész: Alumínium és ötvözetek.
- [8] MSZ EN ISO 10893-6:2020 Acélcsővek roncsolásmentes vizsgálata, 6. rész: hegesztett acélcsővek varratának radiográfiai vizsgálata az anyagihiányok kimutatására.



ANYAGVIZSGÁLOK LAPJA
PUBLIKÁLJON NÁLUNK!

**Írjon szakmai vagy általános
témájú cikket**

az

Anyagvizsgálók Lapjába!

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

info@anyagvizsgaloklapja.hu

avilap.szerk@gmail.com

www.avilap.hu



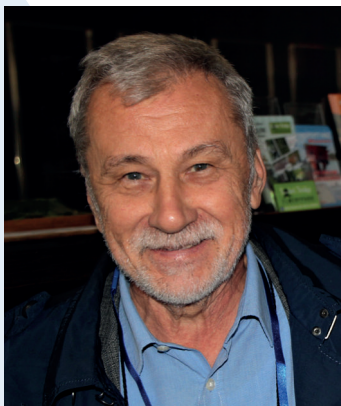
MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS ROVAT

Beköszöntő

Somogyi Sándor, rovatvezető

Megtisztelő lehetőséget kaptam. Elindíthatom és szerkeszthetem a Minőségbiztosítás állandó rovatot.

Miért éppen minőségbiztosítás? Persze, lehetne „minőségirányítás” is, de nekem ezen a területen van a legtöbb tapasztalatom. Szándékomban áll a jövőben valamikor foglalkozni a minőségbiztosítás, minőségirányítás, minőségügy, minőség-ellenőrzés és hasonló rendszerek összehasonlításával is, de kezdjük a minőségbiztosítással.



A nyolcvanas évek elején a DKV (Dunai Kőolajipari Vállalat) megbízta az AEEF (Energiafelügyelet) laboratóriumát az épülő FCC Katalitikus Krakküzem készülékeinek és csővezetékeinek gyártási és helyszíni szerelési munkáival kapcsolatos minőségbiztosítási feladatok végzésére és koordinálására. Ekkor kerültem az AEEF laboratóriumhoz, mintegy hét éves szerelőipari gyakorlattal. A szerződést néhai Becker István¹ laborvezető készítette elő, aki már korábban elkötelezte magát a minőségbiztosítás ügye mellett. Valójában ez még egy klasszikus független műszaki felügyeleti tevékenység volt, de számomra itt és ekkor kezdődött a minőségbiztosítás.

Amikor az üzem átadása után egy cikkben összefoglaltuk a gyártás és szerelés során szerzett tapasztalatokat², beleírtam néhány gondolatot a minőségbiztosításról, az akkor legkorszerűbbnek tartott minőségbiztosítási szabvány ANSI N45.2-1977³ szerinti meghatározással együtt. „*Minőségbiztosítás: Tervszerű vagy rendszeres tevékenység, amely elegendő biztosítékot nyújt arra, hogy egy termék, vagy berendezés megfelelően fog üzemelni.*” Akkor még nem gondoltam, hogy tíz évvel később e szabvány korszerűsített változata⁴ lesz a további szakmai tevékenységem meghatározó előírása. 1996-ban keresett meg az ASME (Gépészmérnökök Amerikai Egyesülete); csatlakoztam az ASME szabályzatok és szabványok szerint gyártó és szerelő, továbbá azok felügyeletét ellátó szervezetek minősítését végző szakértői csapathoz. Valahányszor leírom azt, hogy 'szakértő' mindig eszembe jut Frank Lloyd Wright neves amerikai építész, tervező, oktató és író meghatározása:

„A szakértő az az ember, aki már nem gondolkodik. Miért kellene gondolkodnia? Ő egy szakértő.”

Nos, több mint negyedszázados ASME múlttal még mindig nem tekintem magam ASME szakértőnek. Miért nem? Az ASME szabályzat egy több ezer oldalas, terjedelmes dokumentum, amelyet néha nagyon nehéz megérteni. Még nekünk is, akik napi szinten dolgozunk vele. Sokan jól ismerik egy vagy több kötet előírásait, sőt, lehet, vannak olyanok is, akik bizonyos kötetek szakértőinek számítanak, de nincs olyan, aki a teljes ASME szabályzat szakértője, akit ASME szakértőnek lehetne nevezni.

Az ASME további amerikai szabványok és előírások alkalmazását írja elő. Ezeket vagy változtatás nélkül, esetleg kisebb módosításokkal beépítik az ASME kötetek sorába. Ilyenek az ASTM (Vizsgálat és Anyagok Amerikai Egyesülete) anyag és vizsgálati szabványok. Amikor egy ASTM szabványt adaptálnak és ASME szabványként adnak ki, az eredeti jelölést kiegészítik, pl. az ASTM A370 kódja az ASME IIA 2023 kötetben SA-370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Megadják az elfogadott ASTM szabvány évjáratát (ez esetben 2021), valamint azt is, módosítás nélkül, illetve milyen módosítással fogadták azt el. Mivel ez nem feltétlenül az utolsó változat, ez sokszor gondot okoz az akkreditált laboratóriumoknál, ahol mindig az érvényben lévő szabványok szerint kell a vizsgálatokat elvégezni.

Minden ASME kötet tartalmazza a kötelező érvényű, de nem adoptált szabványok és előírások jegyzékét az érvényes változatot feltüntetve, amelyeket nem építenek be az adott kötetbe. Ide tartoznak az ASNT (Roncslásmentes Anyagvizsgálat Amerikai Egyesülete), NRC (Nukleáris Szabályozó Bizottság), továbbá ISO/IEC/EN, AWS, ASME és további szabványok.

Szándékomban áll az ASME-ASTM-ASNT rendszerről bővebben is írni. Úgy gondolom, e folyóirat olvasóinak érdeklődési körébe elsősorban a mechanikai és roncsolásmentes anyagvizsgálati rendszerek és azok előírásai, szabványai tartoznak.

Természetesen a MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS rovat nyitott más szerzők számára is, és örömmel venném az olvasók kérdéseit és javaslatait.

¹ lásd Ifjan, éretten, öregem könyvek válogatása: <https://mek.oszk.hu/html/vgi/kereses/keresesujgy.phtml?tip=gyors&cim=ifjan>

² Somogyi S. Kálmánchelyi Ö.: A Dunai Kőolajipari Vállalatnál épült Katalitikus Krakküzem készülékeinek és csővezetékeinek gyártása és szerelése során szerzett tapasztalatok (Dunai Kőolaj 1985/1. 26-35 o.)

³ ANSI N45-2-1977 Quality Assurance Program Requirements for Nuclear Power Plants

⁴ NQA-1 Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications

A Mesterséges Intelligencia az ipar jövője

Artificial Intelligence is the future of industry



MESTERSÉGES INTELLIGENCIA
Nemzeti Laboratórium



Kiterjesztett valóság (augmented reality) használata a Bosch Rexroth ipari alkalmazásában

A technológia egyik legizgalmasabb és legdinamikusabban fejlődő területe napjainkban a mesterséges intelligencia (MI). Ez a terület nemcsak a technológiai fejlődést hajtja előre, hanem jelentős hatással van a mindennapi életünkre, a munkaerőpiacra és az ipari szektorra is. Magyarországon 2020 nyarán indult el a „Nemzeti Laboratórium” program, amely célja, hogy a gazdaság vagy a társadalom számára különösen ígéretes területeken olyan tudásközpontokat hozzon létre, amelyek az egyes szakterületek kiemelkedő tudományos csomópontjává válhatnak.

A Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium (MILAB) célja Magyarország szerepének megerősítése az MI területén. Az MI nemzetközi és hazai környezetét a szakemberek megszerzéséért és megtartásáért folyó különlegesen éles verseny, a diszrupciós lehetőségek, valamint a gyors piacra viteli idő jellemzi. Az Európai Unió komoly erőfeszítéseket tesz a felzárkózásra, tartani a versenyt az Egyesült Államokbeli és kínai fejlesztési képességekkel.

A Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium (MILAB) felépítése és tevékenységei, a technológia ipari alkalmazási lehetőségei, valamint a magyar mesterséges intelligencia ökoszisztéma felépítése került bemutatásra a MILAB által a GTE Balatoni Ankét rendezvényén.

A MILAB kutatási területei

A mesterséges intelligencia térhódítása hatalmas lépéseket tett az elmúlt években. A gépi tanulás, mély tanulás és az adatelemzés terén elért eredmények lehetővé teszik a rendszereknek, hogy bonyolult problémákat oldjanak meg és tanuljanak a tapasztalatokból. A MILAB – alapozva a magyar kutatók hazai és nemzetközi tapasztalataira és eredményeire – hat kutatási tématerületet jelölt ki, amelyek lefedik a mesterséges intelligencia felhasználási területeit is:

- **MI elméleti, matematikai alapjai**
 - Információs geometria
 - Neuronhálók, mint nagy hálózatok
 - Agy-inspirált számítások
 - Optimalizáció, Big Data
- **Természetes nyelv feldolgozás**
 - Magyar nyelv fókusz
 - Közös nyílt forráskódú eszköztár fejlesztés koordinálása
- **Egészségügyi alkalmazások**
 - Képfeldolgozás: mammográfia, tüdő, mellkas CT, kardiovaszkuláris, máj
 - Egészségügyi jelentések, EESZT
- **Gépi látás és érzékelés**
 - Autonóm rendszerek támogatása
 - Orvosi képfeldolgozás támogatása



Önvezető tesztautó adatgyűjtő berendezései, illetve objektumfelismerő rendszere

• **Szenzor, IoT, telekommunikáció**

- Minőség előrejelzés, prediktív karbantartás
- Modell alapú vezérlés komplex környezetben (5G utáni mobil technológia, nagy számú autonóm eszköz)

• **Biztonság, személyes adatok**

- MI szoftverek sérülékenysége
- GDPR konform adatmegosztás
- Személyes adatokat nem felfedő adatelemzés

A Balatoni Ankéton tartott előadás mindegyik területre mutatott példákat a MILAB kutatásaiból. Kiemelni bármit is nehéz lenne, mivel elmondható, hogy az MI számos területen bizonyult nélkülözhetetlennek, új lehetőségeket teremt a mindennapi életben és az iparban egyaránt. Az adatok hatalmas mennyiségének elemzése és értelmezése, a gyors döntéshozatal, a feladatok automatizálása mind olyan területek, ahol az MI alkalmazása hatékony

és eredményes. Az emberi erőforrások, idő és energia megtakarítása mellett a mesterséges intelligencia lehetővé teszi a komplex problémák kezelését is.

A digitális asszisztens alkalmazások, a személyre szabott ajánlások, az egészségügyi diagnózisok, az oktatás területén alkalmazott adaptív tanulási rendszerek mind olyan példák, ahol az MI hozzáadott értéket teremt.

Az ipari szektorban az MI számos területen hasznosul. Az automatizált gyártósorok, a prediktív karbantartási rendszerek, az intelligens logisztika és a minőségellenőrzés területén alkalmazott rendszerek mind hozzájárulnak a hatékonyabb és pontosabb gyártáshoz és üzemeléshez. Az MI az ipari folyamatok optimalizálásában is szerepet játszik, javítva a hatékonyságot és csökkentve a hibalehetőségeket.

Összegzés

A mesterséges intelligencia fejlődése forradalmasítja a technológiát és az ipart. Az MI nemcsak a mindennapi életünk része, hanem az ipari területen is létfontosságúvá válik a hatékonyság és a versenyképesség szempontjából. A Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium célja, hogy a kutatási eredmények minél gyorsabban felhasználhatók legyenek ipari alkalmazásokban, illetve az ipari igények alkalmazott kutatási projektekként tudjanak megjelenni. Indulása óta a MILAB konzorcium számos kutatás-fejlesztési együttműködési projektet indított el és folyamatosan keresi a partnerségeket.

Érdi-Krausz Gábor

Projektkoordinátor, Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium, HUN-REN SZTAKI



A SZTAKI „Pikt-O-Bot” rajzoló robotja az AI&AUT EXPO kiállításon

Magyarország energia szerkezete a jövőben

Energy structure of Hungary in the future

A világ primer energia felhasználása 2022-ben 604 EJ volt. Az energiahordozók közül a kőolaj fogyasztás 190 EJ, a földgáz 141 EJ, a szén 161 EJ volt [1], vagyis a fosszilis energiahordozók meghatározóak az energia termelésben.

Magyarország energiahordozó termelése 468 PJ, felhasználása 1055 PJ volt, vagyis jelentős energiahordozó importra szorulunk [2]. A fosszilis energiahordozók a meghatározóak a hazai energia szerkezetben is. Az ország intenzív energia külkereskedelmet folytat, a jelentős importunk mellett exportálunk is energiahordozókat a szomszédos országokba.

A villamos energia a legjelentősebb másodlagos energiahordozó. A hazai termelés 35400 GWh volt 2022-ben, a felhasználás 47550 GWh, vagyis villamos energiából is nettó importőrök vagyunk [2].

Az energiahordozók jövője

A világ felismerte, hogy a fosszilis energiahordozók használatával a légkörbe kerülő szén-dioxid a fő oka a klímaváltozásnak, a földi légkör melegedésének. Az előrelépést a megújuló energiahordozók fokozottabb használata jelentheti, ehhez a célhoz egyre több ország rendel jelentős pénzforrásokat is. A megújuló energiahordozó potenciál eltérő az egyes országokban, ezért erősödő tendenciát mutat a megújuló energiahordozók eredetigazolása is a nemzetközi kereskedelembe.

A hazai energiahordozó felhasználásunk átalakítása is folyamatban van. A „Nemzeti Energiastratégia 2030 kitekintéssel 2040-ig” [3] és a „Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve” [4] dokumentumok áttekintést adnak az energiahordozó forrásainkról és a felhasználás átalakításának céljairól. A dokumentumok meghatározzák a feladatok teljesítéséhez szükséges pénzek mennyiségét is. A Nemzeti Energiastratégia 2030 dokumentum fő célkitűzései 2030-ig:

- a lakossági földgáz fogyasztás csökkenjen 2 milliárd m³-el,
- a földgáz a távhő termelésben 50 %-kal csökkenjen,
- a villamos energia termelés földgáz felhasználása 1 milliárd m³-el csökkenjen,
- a karbon-semleges villamos termelés 90 %-ra nőjön,
- a napelem kapacitás 2030-ra 6000 MW, 2040-re 12000 MW legyen,
- a villamos energia import 20 % alatt maradjon,
- a végső energia felhasználás 785 PJ alatt legyen.

A két program nem vázolja a Kormány elhatározását a fejlesztések finanszírozásáról.

A kőolaj és a földgáz készletünk kettős: a hagyományos lelőhelyek kőolaj és földgáz készletei szerények, a kitermelés jövője jól behatárolható. Annak ellenére állapíthatjuk ezt meg, hogy az utóbbi években találtak újabb – nem túl jelentős – készleteket is. A nem hagyományos szénhidrogén készleteinkről még nagyon kevés információ van, a kutatások még csak kezdeti fázisban vannak. Az

viszont megállapítható, hogy a nem hagyományos szénhidrogének (amelyeket általában palaolajnak, palagáznak neveznek) extrém geológiai körülmények között találhatók és termelhetők ki. A kitermelés lehetősége magas költségeket is jelent, ezért a nemzeti energia tervek sem beszélnek a nem hagyományos készletekről, mint a jövő nagy ígéretéről.

Kőolajból és földgázból jelentős importra szorulunk. Az orosz-ukrán háború kitörése után az oroszok elleni EU import szankciókból kimaradunk, az ország földrajzi fekvése és a kőolaj, földgáz szállítóvezeték adottságaink miatt.

A hazai fekete- és barnaszén mélyműveléses bányászata befejeződött az országban, a kitermelés költségei miatt. A lignit termelés ma a Mátrai Erőmű ellátását és a lakosság lignit igénye kielégítését szolgálja, a Mátra és a Bükk hegység lábánál lévő külfejtésekből. A Mátrai Erőműben a lignit tüzelést pár éven belül meg kell szüntetni, a széndioxid kibocsátás költség terhei miatt.

A megújuló energiahordozók használata az országban vegyes képet mutat. A vízenergia hasznosítás a földrajzi adottságok miatt szerény. A geotermikus energia hasznosítás is alacsony szintű, bár minden kormányzati energetikai program hangsúlyozza ennek a forrásnak a használatát. A geotermikus programok drágák, a kitermelt víz ásványi só tartalma pedig sok gondot okoz.

A szélenergia hasznosítás mintegy tíz éve megkezdett, az ipari léptékű szélgenerátorok telepítését szinte érthetetlen korlátozásokkal leállították. A napenergia hasznosítás a lakosság és a vállalkozások számára is jó befektetésnek indult, különösen a szaldó rendszerű elszámolás miatt. Jelentkezett viszont a tömeges napelem telepítések költséges vonzata is: a villamos hálózatok áram befogadó képessége erősen korlátos, a napelemek termelésének szezonálisága pedig kiegyensúlyozó erőművek teljesítményének növelését tette szükségessé. Most olyan időszak következik, amikor a napelem telepítések némi szabályozás korrekció (például energia tárolók beépítése) után újra meglendülhetnek. A napenergia hasznosítás a hazai energia iparág leggyorsabban fejlődő szegmense.

A hazai biomassza hasznosítás fejlesztése nagy lehetőség az energia források zöldítése felé. A hulladék kezelés, a mezőgazdasági szerves hulladékok energetikai hasznosítása sok feladatot ad, és viszonylag hosszú megtérülési beruházást jelent. Kormányzati, vagy EU támogatás nélkül az előrelépés nehézkes. A biomassza hasznosítás területén a bio üzemanyagok szinte teljes mértékű használatával értünk el jelentős környezetvédelmi eredményeket. Mára a bio üzemanyag termelés alapanyaga az élelmezési célra nem alkalmas gabona származék, ezzel a gabona felhasználás korszerűsítése megtörtént.

Biogáz hasznosítás

Az ország biogáz potenciálja 121...177 millió m³/év, kb. 4100...6000 TJ. Az évente biogázból nyert energia

kb. 800 TJ, vagyis szerény mértékű. A biogáz hasznosítás költsége: depóniagáz: 53...65 Eur/MWh, szennyvízgáz: 62...101 Eur/MWh, biogáz üzemekből nyert gáz: 89...108 Eur/MWh [5].

1. Hulladék kezelés

A korszerű, környezetkímélő hulladék kezelés még nagyon sok feladatot jelent az országban.

Az országban évente 3,8 millió tonna települési hulladék keletkezik, ebből szervezeten gyűjtött kb. 3,2 millió tonna. A hulladék 25,5 %-a kerül újra feldolgozásra, égetésre 2,5 %, lerakásra 57,4 %, egyéb megoldás 14,6 %-nál van [5]. Az EU célkitűzése 2035-re: legfeljebb 10 % kerüljön lerakóba. A 2575 hazai hulladék lerakó közül nem mindegyik teljesíti a környezetvédelmi előírásokat. A települési hulladék lerakók közül 21 helyen van depóniagáz szívás és hasznosítás gázmotorokban.

A lerakott hulladék oxigéntől zárt térben metán keletkezése mellett bomlik, levegővel érintkezve szén-dioxid kibocsátással. Mindkét gáz a klímaváltozás okozója.

A hulladékból, a szennyvízből kinyerhető gáz mintegy 50 % metánt tartalmaz, hőtermelésre jól hasznosítható.

Rákospalotán működik a Hulladék Hasznosító (HUHA), amely Budapest lakossági és közületi hulladékának mintegy 60 %-a égetésével 45 ezer lakás villamos energia szükségletét termeli meg, és 13 ezer lakás távhő szükségletét. Szükséges lenne minden nagyobb városban hasonló hulladék égetőre.

A települési szennyvízkezelés magas szintű az országban. Ugyanakkor a 838 szennyvíz kezelő üzemből csak 12 üzemben gyűjtik a biogázt, a keletkező metán döntő többsége a levegőbe távozik.

Jó lenne költségvetési támogatással segíteni a hulladék lerakóknál a keletkező depónia gázok gyűjtését és hasznosítását hasonlóan a szennyvízgáz befogását is.

39 biogáz üzem működik az országban, a keletkező szerves hulladék feldolgozására. Az üzemek biogáz termelése évente 3800 TJ [6].

Mintegy tíz éve kerül ismét az energia ipar figyelme középpontjába a hidrogén. A hidrogén szerepének erősödését minden energetikai prognózisban láthatjuk. A hidrogént a jövő alap energiahordozói közé az emeli, hogy környezetbarát technológiával is lehet ipari léptékben gyártani, nagyon jól hasznosítható az energia fogyasztás (napon belüli) szezonálisának kiegyenlítésére és hidrogén cellákkal közvetlen villamos áram termelés is lehetséges. A környezetbarát eljárással előállított hidrogént nevezik „zöld” és „kék” hidrogénnek. A hazai hidrogén felhasználást 2030-ban 20 millió tonnára, 2050-re 290 millió tonnára becsülhetjük [5].

2. Az energetikai fejlesztési programok

Kiemelt program a Paks II. beruházás. A nukleáris erőművek termelik a legolcsóbban a villamos energiát, ugyanakkor a legnagyobb költséggel építhető létesítmények. A Mátrai Erőműben a lignit tüzelést meg kellene szüntetni, ma 2030 körüli időpont látszik valószínűnek. Ezt

követően az erőműben új, 600 MW teljesítményű gázos blokk indul. A Tisza Erőműben 1000 MW gáztüzelésű blokkokat telepítenek.

Az egész országban szükséges a villamos hálózatok befogadó képességének vizsgálata és fejlesztése a naperőművek termelésének befogadására.

Az EU bevezette a szén-dioxid kibocsátási kvóta rendszert. Magyarországon 176 üzem tartozik a kvóta szabályozás alá. A szén-dioxid kibocsátási kvótákat évről-évre csökkentik. Megindult a kvóta nemzetközi kereskedelme is.

Már működik az országban az energia takarékoságot ösztönző Energia-hatékonysági Kötelezettségi Rendszer (EKR rendszer). A rendszer az energia kereskedőket kötelezi energia takarékoságra, és a kereskedő bevonja a felhasználót ebbe a programba.

Megindult a „zöld” tanúsítás rendszere a villamos energia kereskedelemben. A megújuló energiahordozóból termelt villamos energia eredet tanúsítványa adható-vehető.

Az energia árak jövője

Az energetikai kutató intézetek óvatos becsléseket szoktak készíteni az energiahordozó jövőbeli áairól, különösen a hosszabb távú kilátásokról. Az árak sok tényezőtől függenek. Az elemző intézetek 2022. év előtt például nem kalkuláltak több országot érintő háború hatásaival, az ezzel járó energia piacok átrendeződésével. Ma már világosan láthatjuk, hogy az energiahordozók külkereskedelme egyre aktívabb. Fontos szerepe van ebben az USA-nak, ahol 2019. év óta gyakorlatilag megszűnt a szénhidrogén nettó importja, sőt az USA egyre jelentősebb exportőr is lett. A British Petrol is készít energia-ár prognózist, és ezeket évente frissíti is [7]:

	2023	2025	2030	2040	2050
2021. évi prognózis					
Kőolaj: Brent (USD/bbl)	71	61	61	56	46
Földgáz: Henry Hub (USD/mmBtu)	4,08	3,06	3,06	3,06	2,8
2022. évi prognózis					
Kőolaj: Brent (USD/bbl)	77	70	70	58	45
Földgáz: Henry Hub (USD/mmBtu)	4	4	4	3,5	3,5

A nagy forgalmú nemzetközi energia tőzsdék árai pontosabb jövőképet vázolnak, a tőzsdék működési szabályai miatt. A tőzsdén ma megkötött nagy volumenű jövőbeli teljesítések a jövőbeli árakat jól jelzik, mert az ügyletet biztosan teljesíteni fogják: az árut leszállítják, a ma megállapodott árat ki fogják fizetni. A tőzsdei ügyletek jelentős része export és import.

A kőolaj ára mozgatja a többi energiahordozó árát is a tőzsdéken. Európában a Brent minőségű olaj ára a meghatározó, az USA-ban a WTI minőségű. A Brent minőségű kőolaj ára 2023.11.27-én 80,39 USD/barrel volt, ugyanekkor az amerikai WTI kőolaj ára 75,42 USD/barrel [8]. A kőolaj tőzsdei ára 2023-ban nagyjából ezen a szinten volt.

A legnagyobb forgalmú európai földgáz tőzsde a holland TTF tőzsde. Az itt kialakuló árak rövid időn belül megjelennek a többi európai tőzsdén is. Példának tekintsük a TTF

földgáz tőzsdén 2023.10.30-án kialakult árakat a következő évekre [9]:

2024. évi teljesítés	53,92 Eur/MWh
2025. évi teljesítés	47,24 Eur/MWh
2026. évi teljesítés	38,04 Eur/MWh
2027. évi teljesítés	30,62 Eur/MWh

A villamos energia árak jövőjét mutatja be a German Power Futures tőzsde [9] 2023. október 30-i árjegyzéke:

2024. évi teljesítés	125,06 Eur/MWh
2025. évi teljesítés	116,41 Eur/MWh
2026. évi teljesítés	105,83 Eur/MWh
2027. évi teljesítés	89,90 Eur/MWh

A budapesti HUDEX tőzsde áram ügyleteinek ára [10] ugyanezen a napon:

2024. évi teljesítés	139,44 Eur/MWh
2025. évi teljesítés	124,31 Eur/MWh
2026. évi teljesítés	111,82 Eur/MWh

A hosszú távra vonatkozó tőzsdei árak nyugodt piaci helyzetet mutatnak, a kínálat és a kereslet egyensúlyát.

Összefoglalva

Magyarország az Európai Unió tagja, az EU energetikai döntéseit mi is végrehajtjuk. Az EU eredményesen megoldotta az orosz-ukrán háborúval kiváltott energia válságot, ma biztonságos kőolaj és földgáz ellátási rendszer működik, az energiahordozók piaci ára stabilizálódott. Bízhatunk abban, hogy az arab-izraeli háború sem terjed tovább, és lényeges változásokat nem hoz az európai energia ellátásban.

Az EU határozott programokat hirdetett meg a légkör védelmére, a biztonságosabb energia struktúra

kialakítására. Ebben a programban is jelentős feladatai lesznek a hazai cégeknek, intézményeknek. Az energia piac mai jellemzői alapján bízhatunk a biztonságos energia ellátásban, az árak szintjének megőrzésében. A tennivalók sokrétűek, de megfelelő ösztönzőkkel és állami pénzforrásokkal teljesíthetők.

Dr. Szilágyi Zsombor

c. egyetemi docens,

Irodalomjegyzék

- [1] Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023 www.energyinst.org
- [2] Központi Statisztikai Hivatal: Magyarország számokban, 2022
- [3] Innovációs és Technológiai Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig 2020. január Magyar Közlöny 2011. évi 119. szám 30210-30359 oldal
- [4] Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve. 2023. évben felülvizsgált változat <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/5/54/54b>
- [5] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal www.mekh.hu 6,2 Elsődleges megújuló energiahordozók termelése és felhasználása
- [6] Központi Statisztikai Hivatal 6.1.1.1. Az energiagazdálkodás főbb adatai, 6.1.1.5. A primer energiafelhasználás szerkezete
- [7] bp Energy Outlook 2023 edition. Updated July 2023 www.bp.com
- [8] NRG Report honlapja: <https://www.nrgreport.com>
- [9] European Energy Exchange AG (EEX) honlapja: <https://www.eex.com/en/>
- [10] Hungarian Derivative Energy Exchange (HUDEX) honlapja: <https://hudex.hu/hu>

EXTENDE képzések 2024-ben

EXTENDE
CIVA
NON ■ DESTRUCTIVE ■ EVALUATION

CIVA - Bevezetés és alkalmazás (Massy, Franciaország):

- 2024 március 11-15. (UT és kiegészítő moduljai)
- 2024. június 10-14. (UT és kiegészítő moduljai)
- 2024. június 12-14. (ET modul)
- 2024. szeptember 23-27. (UT és kiegészítő moduljai)
- 2024. november 25-29. (UT és kiegészítő moduljai)
- 2024. november 27-29. (ET modul)

Megbízhatóság az NDE-ben képzés (Massy, Franciaország):

- 2024. május 14-17.

Egyéb információ a [Képzési katalógusban!](#)

SZABVÁNYMÓDOSÍTÁS – MSZ EN ISO 9712 !!!

STANDARD REVISION - MSZ EN ISO 9712 !!!

A személyzet minősítésére és tanúsítására vonatkozó szabványunk magyar fordítása sajnálatos módon hibásan, nem a 410-es Műszaki Bizottság által utoljára látott és megszavazott módon jelent meg.

Nevezetesen:

- az 1. fejezetben
- a 4. fejezet 1. táblázatában és
- az F Mellékletben, az F2. táblázat címében
- nem az eredeti angol szövegnek megfelelő 'Mágneses vizsgálat', hanem 'Mágnesezhető poros vizsgálat' volt olvasható.

Miután többen jelezték ezt a – vitákra is okot adó – problémát, helyesbítést kértem a MAROVISZ nevében az MSZT-től. Ezt, a Bizottság tavaly év végi jóváhagyó szavazása nyomán, a Szabványügyi Testület megtette, ami a szabványkönyvtárban ellenőrizhető is. (A '23 decemberi és '24 januári MSZT Hírlevél nem utal az MSZ EN ISO 9712 módosítására!)

Megjegyzés:

A szabványban így is maradt ellentmondás, de ez már magában az 'EN ISO 9712'-ben benne van. Ugyanis az F2. táblázat első sora értelemszerűen a mágnesezhető

poros vizsgálatra vonatkozik, így pedig a minimális képzési, illetve jártassági időtartamot rögzítő 2. és 3. táblázatban „MT” alatt – szemben az 1. táblázattal és az F2. táblázat címével – a mágnesezhető poros vizsgálat értendő.

Ez csak úgy oldható fel majd (a szabvány következő, 2026. évben esedékes felülvizsgálata során), ha a szabványalkotók belátják, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok területén alkalmazott mágneses vizsgálatok lényege és fizikai alapja a szórt fluxus (angol kifejezéssel: fluxus-szivárgás) keletkezése felületi és felület közeli inhomogenitásoknál. A szórt fluxust pedig kétféleképpen detektáljuk: mágnesezhető porral, illetve térérzékelő szondával (Hall-szonda stb.). Tehát a mágneses vizsgálat (MT) mint eljárás két egyenrangú módszere a mágnesezhető poros (MT-MP) és a térérzékelő szondás (MT-FL) módszer. (Egyébként az utóbbi egyik változatának tekinthetjük az MMM vizsgálatot.)

Skopál István

MAROVISZ képviselő az MSZT-ben

**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



11. AGY – ANYAGVIZSGÁLAT A GYAKORLATBAN SZAKMAI KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

2024. június 5-7., Győr

***A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete 2024. június 5–7. között rendezi meg a
11. AGY – Anyagvizsgálat a gyakorlatban szakmai konferencia és kiállítást***

Helyszín: Győr, Famulus Business Hotel****

Az előző tíz AGY konferencia hagyományához híven a 11. AGY célja: Az anyagvizsgálat szakterületén tevékenykedő szervezetek és szakemberek, különösen az ipari anyagvizsgálat területén dolgozó szakemberek, tapasztalat cseréjének elősegítése, különös figyelmet fordítva a szakterület fejlődési irányainak áttekintésére és bemutatására.

A konferencia jelmondata:

„Korszerű anyagvizsgálat az ipari és a technológiai korszakváltás szolgálatában”

A konferencia fő kitekintési irányai:

- A járműiparban zajló korszakváltás hatása az anyagvizsgálat fejlődésére.
- A digitalizáció hatása az anyagvizsgálati eljárások gyakorlati alkalmazásában.
- Az anyagvizsgálati technológiatranszfer beépülése a magyar iparba és az oktatásba.
- Az anyagvizsgálat kapcsolódási pontjai a nemzetgazdaság innovációs stratégiájához.

A 11. AGY, a hagyományai szellemében, elsősorban az ipari gyakorlatban alkalmazott anyagvizsgálati eljárásokkal és az azok terén szerzett tapasztalatokkal foglalkozik

A konferencián a szakma elismert szakértőin kívül az ipari alkalmazók, a laboratóriumok és fiatal szakemberek is bemutatkoznak, szóbeli előadással vagy poszter előadással

Az értékes szakmai eszmecsere lehetőségeinek bővítése érdekében a szakterület teljes spektrumát lefedő szakmai kiállítást is rendezünk.

Fontos dátunok:

Absztrakt beadási határidő: **2024. április 1.**

Korai regisztráció befizetés: **2024. május 1.**



Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete

Gondolatok, észrevételek a „szerkezetintegritás” és a „szakítóvizsgálat innovatív kiértékelésének” módszertanához

Reflections, remarks on the methodology of „structural integrity assessment” and „innovative evaluation of the tensile testing”

Az Anyagvizsgálók Lapjának 2023/III. számában a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont munkatársai tollából három olyan gondolatébresztő közlemény jelent meg [1-3], amely olvasatom szerint „egy töről fakad”. Ugyanebben a számban egy rövid közlemény a napjaink anyagvizsgálati eljárások központi kérdésköréhez, az ún. „mini-próbatestek” alkalmazáshoz kötődik [4]. Őszintén be kell vallanom, hogy nem voltam bírálója a beküldött kéziratok egyikének sem, de ha véletlenül az is lettem volna, akkor is alapvetően a megjelent változatokkal találkozott volna a Tisztelt Olvasó. Akkor „miért is ragadtam tollat”? - kérdezheti a Tisztelt Olvasó. Az ok viszonylag egyszerű, a következő két életszemléletemből adódik:

1. Meggyőződéssel hiszem és vallom, hogy csak nyílt, őszinte szakmai viták segíthetik a szakmai fejlődést és a „gondolat gondolatot szül” elv érvényesülését.
2. A „szakma az szakma”, a „barát az barát”, a kettő egymást nem befolyásolhatja, nem keverhető!

Ezen alapállásból kiindulva szeretnék két témakörben, a „Szerkezetintegritás” és a „Mechanikai anyagvizsgálat” gondolataimat összevetni a hivatkozott közleményben olvasottakkal.

1. Szerkezetintegritás

Örömmel és érdeklődéssel tapasztaltam, hogy e témakörben a közlemény összeállítója visszanyúlt az elméleti alapokig. Úgy is fogalmazhatok, a „tisztá forrásig”, mint ahogyan ezt Kiss Lajos [5], a Miskolci Egyetem Mechanika Tanszék docense is számtalanszor hangoztatta az Országos Törésmechanikai Szemináriumok során. Messzemenőig egyetértek e szemlélettel, hiszen én is egyike vagyok annak a 17 főnek, akik 1969-ben szereztek gépészmérnöki diplomát a Sályi István által alapított alkalmazott mechanikai ágazaton¹. A tradicionális diákmondás szerint: ha egy jó puskát csinálasz, akkor a készítés során meg is tanulod az anyagot! Ezt tanúsítja egy, 1969-ben az államvizsgára, „Kontinuummechanika alaptörvényei és a rugalmasságtan alapegyenletei” témakörből készített puskám két oldala. Rápillantva is azonnal érzékelhető, hogy sok hasonlóság fedezhető fel a hivatkozott [1-3] közleményekben – és a Fekete Tamás által is meghivatkozott Béda-Kozák-Verhás (B-K-V) „Kontinuummechanika” című könyvben [8] – között összefüggések és a „puska” nehezen olvasható oldalai között. A kissé „vájtfülűek” az „indexes”-jelölés, amelyet a vektor- és tenzorszámításoknál kiterjedten alkalmaznak. A kissé „vájtfülűeknek” viszont egyértelmű, hogy az „indexes-jelölésrendszerről” van szó, amelyet a vektor- és tenzorszámításoknál kiterjedten alkalmaznak.

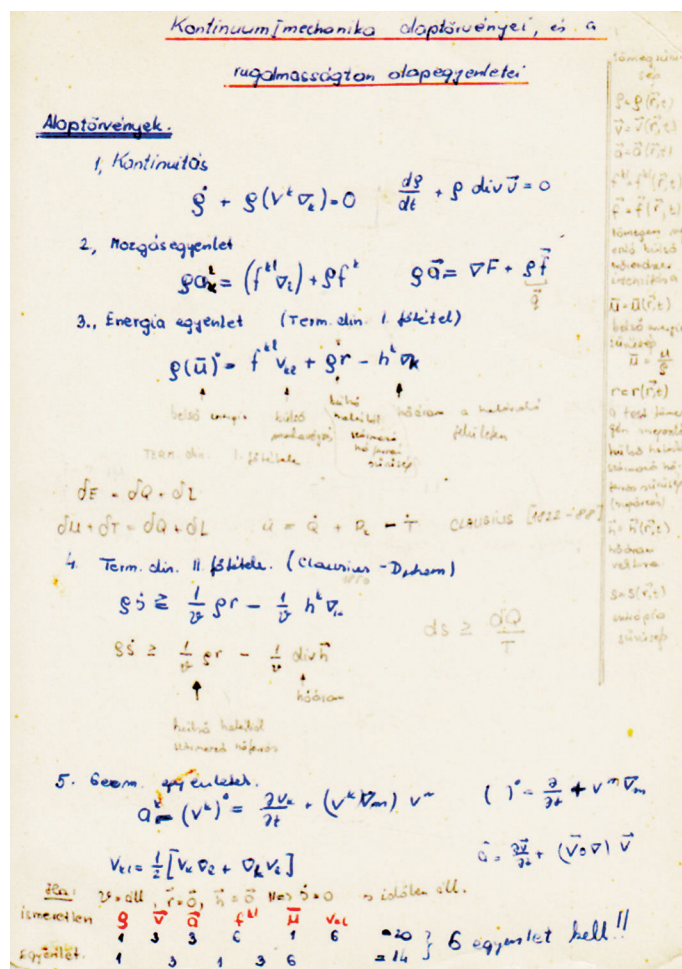
Anélkül, hogy a részletekbe bocsátkoznék, a kontinuummechanika támaszkodik az

1. ALAPTÖRVÉNYEKRE

- kontinuitásra,
- a mozgásegyenletre,
- az energiamérlegre,
- a termodinamika II. főtételeire,
- a geometriai egyenletekre és az

2. ANYAGEGYENLETRE, amely az alakváltozási mezőből a feszültségmezőt számítja, vagy egyszerűbben fogalmazva, a két mezőt jellemző tenzorok elemei közötti kapcsolatot definiálja.

Az ALAPTÖRVÉNYEKBE szereplő **változó mennyiségek** száma mindig TÖBB, mint a rendelkezésre álló **egyenletek száma**, következésképpen az ANYAGEGYENLETEK



1. ábra: A kontinuummechanika alaptörvényei (államvizsga felkészülésre készített „puska” 1. oldala, 1969)

¹ A BME-n Magyar József akadémikus az 1990-es reform periódusban irányította az Alkalmazott Mechanika Modul kidolgozását (ahol ezt a diákok „táltos-képzőnek” is nevezték). Lásd [6-7].

Rugalmasságtan alapegyenletei

Anyagegyenlet:

$$\underline{\underline{F}} = 2G \left[\underline{\underline{e}} + \frac{A_I}{m-2} \underline{\underline{I}} \right] \quad A = \frac{1}{2G} \left[\underline{\underline{F}} - \frac{F_I}{m-1} \underline{\underline{I}} \right]$$

lokális tenzorok:

$$\Delta A + \frac{m}{m-2} (\nabla \nabla) A_I = \frac{1}{2G} [\nabla (g \vec{q} - \vec{q}) + (g \vec{q} - \vec{q}) \nabla]$$

$$g^{im} \nabla_m \nabla_r Q_{ik} + \frac{m}{m-2} \nabla_k \nabla_r A_I = \frac{1}{2G} [\nabla_k (g \vec{q}_r - \vec{q}_r) + (g \vec{q}_k - \vec{q}_k) \nabla_r]$$

kompozitív tenzorok:
kompozitív tenzorok:

$$\Delta A_I - (\nabla \nabla) A - A (\nabla \nabla) A_I = 0$$

$$g^{im} \nabla_r \nabla_m Q_{ik} - \nabla_k \nabla_r Q_{ik} - Q_{ik} g^{im} \nabla_m \nabla_r + \nabla_k \nabla_r A_I = 0$$

ELMELETI EGYENLETOK NAVIER 1827 Cauchy 1827-28.

$$\left. \begin{aligned} g^{kr} \nabla_k f_{rs} + g_s = s Q_s \\ f_{rs} = 2G \left[Q_{rs} + \frac{A_I}{m-2} g_{rs} \right] \\ Q_{rs} = \frac{1}{2} [\nabla_r f_s + f_r \nabla_s] \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} g^{kr} \nabla_k f_{rs} + \frac{m}{m-2} \nabla_s A_I = \frac{1}{G} [s Q_s - Q_s] \\ \Delta \vec{t} + \frac{m}{m-2} \nabla (\nabla \vec{t}) = \frac{1}{G} [s \vec{q} - \vec{q}] \end{aligned} \right\}$$

FELTÉTELKÉPZÉS BÉTTA MI 1892

az anyagok tenzorai felírt egyenletekbe a Hodge törvények k
va ill. az $A_I = \frac{m-2}{mE} F_I - t$

2. ábra: A rugalmasságtan alapegyenletei (államvizsga felkészülésre készített „puska” 2. oldala, 1969)

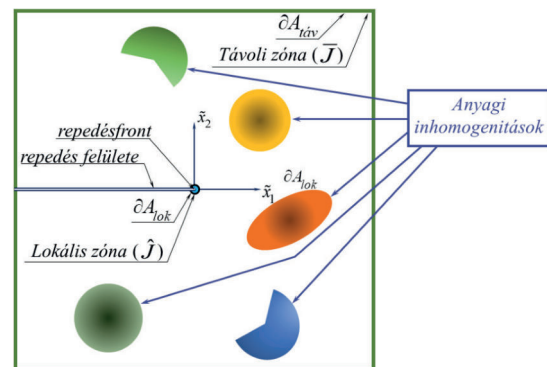
azok, amelyek biztosítják az egyensúlyt az egyenletek és ismeretlenek között. Az anyagegyenleteknek ki kell elégíteniük bizonyos, az alaptörvényekből adódó feltételeket, de paramétereiket kísérletileg meghatározzák. Az anyag-törvények vagy termodinamikailag determináltak, vagy axiómákra alapozottak (lásd a hivatkozott B-K-V könyv 10. fejezetét [8], de említhetjük a Prager-Hodge [9] vagy Mózes-Vámos [10] könyveket is).

A szerkezetintegritás elemzésének TRADICIONÁLIS metodikája külön-külön kezeli magát a szerkezetet, annak minden egyes veszélyes helyein (anyagában különböző mechanizmusokkal végbemenő károsodásait, repedések lehetséges terjedéseit, azok mechanizmusait stb.), és elemzi minden egyes veszélyes károsodási helyhez, mechanizmushoz tartozó károsodás mértékét. Ezekhez a kritikus károsodásokhoz viszonyítva képes valamilyen lokális biztonsági tényezőket definiálni, amelyekből a szerkezetre nézve definiál biztonsági tényezőt. Ezen TRADICIONÁLIS metodikán, annak „finomhangolásán” folyamatosan dolgoznak a világ nukleáris iparának szakemberei. Az így felépített biztonsági értékelési rendszerek a nukleáris iparban széleskörben elterjedtek és egységes gyakorlati alkalmazásukra szabványos előírásokat dolgoztak ki.

A mikroelektronikai és a számítástechnikai eszközrendszer robbanásszerű fejlődése magával hozta azonban az egyre szofisztikáltabb elméleti alapokon nyugvó elvek esetleges gyakorlati alkalmazásokba történő átültetésének

lehetőségeit hordozó megfontolások kidolgozását a szerkezetintegritás mérlegelése kapcsán is. Ezt az irányt jellemezze például egy Sydney-ben 2014-ben tartott szerkezetintegritási konferencia előadásainak sokszínűsége. A kiadvány címlapját szemlélv a 3. ábra, tartalomjegyzéke pedig a [11] honlapon tekinthető meg.

Ezen az úton indult el a HUNREN „csapat” is azzal, hogy ÚJ MÓDSZERTAN kidolgozásába kezdett a szerkezetintegritás értékelésében. E metodikában figyelembe kívánja venni a **lokális disszipációs folyamatokat**, amelyek adódhatnak különböző anyagi károsodásokból, lokális repedések megjelenéséből, terjedéséből. Az elgondolás lényegét igen kifejező ábrával testesíti meg, amely – jelen cikkben – a 4. ábrán látható.



4. ábra: Az „anyag inhomogenitások” és „anyaghiányok”, mint „disszipatív helyek” kezelése a szerkezetintegritás értékelésében

Amennyiben fizikailag korrekt, vagy a tapasztalat által igazolt modellekkel alátámasztottan értékelni tudja a lokális helyeken jelentkező „disszipatív” („öregedési”) jelenségeket, úgy az e helyekhez kötött koordináta-rendszereket kiegészíti az „idő koordinátaival” a folyamat lefolyásának időbeli jellemzésében. A repedések közvetlen környezetében lejátszódó „disszipációkat” pedig a J-integrál lokális nagyságával, azaz $\hat{J}$ értékével és a távoli $\bar{J}$ tagokból álló általánosított (Generalized) GJ-integrál [12] írja le. A közlemény szerzője, Fekete Tamás megjegyzi

„Az általánosított J-integrál (GJ-integrál) bemutatott definíciójából látszik, hogy egyesíti a törésmechanika klasszikus globális és lokális szemléletű (local approach) leírásmódjait; akár több fizikai mező – termikus, mechanikai stb. – együttes terhelésének kitett disszipatív vagy konzervatív, homogén vagy inhomogén anyagokban terjedő repedések viselkedésének leírására alkalmas.”

„Az általánosított J-integrál útfüggő volta nyilvánvalóan magával vonja a meghatározásához szükséges elméleti és numerikus apparátus komplexebbé válását, azonban utat nyit a repedések stabilitási viszonyainak a modern stabilitáselmélet szellemében történő tanulmányozásához.”



3. ábra: A konferenciakiadvány címlapja [11]

Az ÚJ MÓDSZERTAN elméleti alapjaival és GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGÁVAL kapcsolatban felmerült számos észrevétel közül csupán néhányat emelek ki:

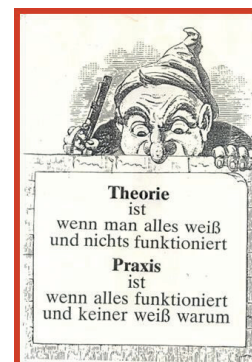
- Az ismertetett ÚJ MÓDSZERTAN mennyiben „nagyméretű nyomástartó rendszer” specifikus, mint ahogyan az a közlemény címében olvasható?
- Termodinamikailag zárt vagy nyitott rendszerhez kötődő megfontolásokat alkalmaz [13]?
- A kontinuummechanikai viszonyok tárgyalása során miképpen egyeztetni az ALAPTÖRVÉNYEK közül a termodinamika II. főtételehez és ANYAGEGYENLETHEZ (anyagtörvényekhez) kötődő megfontolásokat, hiszen ez utóbbiak is lehetnek termodinamikailag determináltak?
- Hogyan értelmezi e mondatában a kiemelt részt: „nyilvánvalóan magával vonja a meghatározásához szükséges elméleti és numerikus apparátus **komplexebbé válását**”.
- Milyen modelleket kíván alkalmazni az „**anyag** inhomogenitások irreverzibilis folyamatainak” jellemzésére?
- Hogyan jelöli ki a különböző „**anyag** inhomogenitások” geometriai tartományait, határait?
- Hogyan kezeli a különböző „**anyag** inhomogenitások” esetleges kölcsönhatásait?
- Milyen ellenőrző programokat javasolna az előző pontban említett, „**irreverzibilis folyamatok**” monitorozására?
- Hogyan, milyen mutatóval/mutatókkal/mennyiségekkel szeretné jellemezni a szerkezetintegritás mértékét/a szerkezet biztonságát?
- Ha az „**általánosított J-integrál útfüggő**” akkor milyen elveken nyugszik egy kiválasztandó, előre definiálандó integrálási útvonal, amely megjelenhet szabványokban, műszaki előírásokban?
- ...

Kérdéseimet nem kívánom sorolni, csupán egy utolsóval szeretném lezárni.

- Ismer-e a Szerző világunk nukleáris erőműi iparában olyan dokumentumot/műszaki megfontolást, amely a javasolt „ÚJ MÓDSZERTAN” elvein nyugszik? Örömmel várnám az ilyen anyagokat, dokumentumokat.

Félreértés ne essen, **műszaki** (nem politikus, jogász, közgazdász) **ember vagyok**, meggyőződéses híve voltam/vagyok és leszek az elméletileg (is) megalapozott szakmai cselekvésnek. Következésképpen személy szerint elismerem és támogatok minden olyan fejlesztést, fejlődést, amely a tudományterületünk biztosabb és mélyebb alapjain nyugszik. Ezért üdvözlöm a megjelent írásokat. Ha a gyakorlati alkalmazhatóságot mérlegelem, akkor úgy tudnám szemléletesen jellemezni az „ÚJ MÓDSZERTANT”, hogy „már forr a must, de most még csak murci és nem bor”! Ha más módon szeretnék állást foglalni, akkor azt a „szlogent idézem életemből”, amely évtizedekig a munkahelyi szobám falán „lógott” a Miskolci Egyetem Mechanikai

Technológiai Tanszéken. Ezt szemlélteti az 5. ábra.

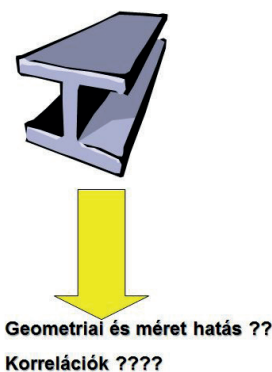


5. ábra: Az „elmélet” és „gyakorlat” viszonya a szakmai humor területén

2. Mechanikai anyagvizsgálat

A hozzászólásomban érintett problémakör a mechanikai anyagvizsgálatok „innovatív” kiértékelésének MÓDSZERTANÁHOZ, az említett közlemények közül közvetlenül [2-3], közvetve pedig a [2-4] cikkekhez kötődik. Álláspontom érzékeltetéséhez az egyetemi oktatásban több évtizede használt ábráimra támaszkodok. Mit is teszünk egy mechanikai anyagvizsgálat során, ha kíváncsiak vagyunk MÉRNÖKI szempontból egy adott anyagjellemzőre?

Az első lépésként kimunkálunk egy PRÓBATESTET, amelyen a VIZSGÁLATOT majdan elvégezzük. Az első és egyben ALAPVETŐ KÉRDÉS, hogy a próbatest maga tartalmaz olyan **geometriai paramétert**, amely befolyásolja a vizsgálat eredményeit? Ezt szemlélteti a 6. ábra.

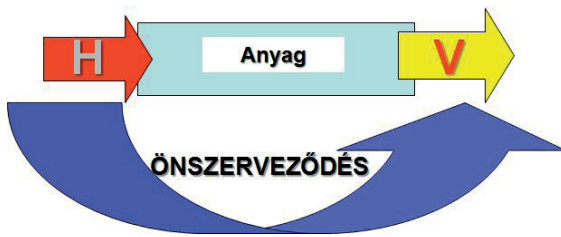


6. ábra: Az anyagtulajdonság kísérleti meghatározásának első problémaköre; a kimunkált próbatest esetleges geometriai és mérethatása

Első lépésben tételezzük fel azt az egyszerű – szinte kizárható – esetet, hogy ilyen geometriai hatással nem kell számolni. Ekkor a vizsgáló személy eldönti, hogy

- milyen terheléstörténettel (igénybevételekkel: – hajlítás, húzás, nyomás, csavarás –, milyen sorrendben, milyen terhelési sebességekkel stb.)
- milyen hőmérsékleten és
- milyen közegben

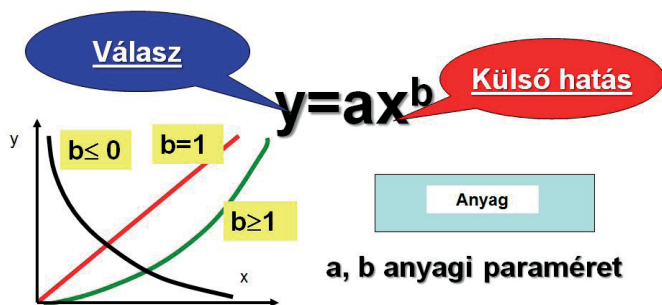
hajtja végre egy adott célból kivitelezett vizsgálatot, azaz



7. ábra: A külső hatást (H) alkalmazva a próbatesten a vizsgálat során az anyag „válaszol” (V), mint a legegyszerűbb önszerveződő rendszer

milyen anyagtulajdonságot kíván mérni. A vizsgálatot mindig a teljes károsodásig, a törésig végzik. Ezt a folyamatot illusztrálja a 7. ábra.

Ebben a V-válaszban csak az adott „anyagtulajdonság” játszik szerepet, mivel a geometriai hatást bizonyítottan kizártuk. A vizsgálatok eredményeinek értékelés során gyakran úgy járunk el, hogy feltételezünk valamilyen kapcsolatot a külső hatás és az anyag válasza között. Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: Az anyagra ható külső hatás (H) és az önszerveződő anyag „válasza” (V) közötti lehetséges kapcsolat

Ebben az esetben mindig két paraméter, az a és b jellemzi a vizsgálat anyagtulajdonságát! Kúszás esetén a 9. ábra szemléltet néhány ilyen kifejezést, míg kifáradás témakörében a 10. ábrán láthatunk hasonlókat.

KÚSZÁS:

Norton (1929)

- $d\epsilon/dt = C_1 \sigma^{n_1}$
- $t_f = C_1' \sigma^{-n_1'}$
- $d\epsilon/dt = C_1'' t^{-n_1''}$

FÁRADÁS:

Basquin (1910)

$$N_f = C_2 \sigma^{-n_2}$$

Manson (1954)

$$\epsilon_{sp} N_f^{n_3} = C_3$$

Paris (1961)

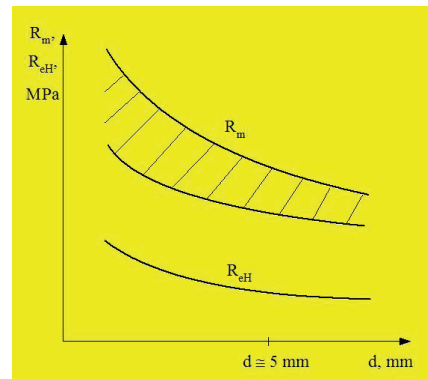
$$da/dN = C_4 (\Delta K)^{n_4}$$

9. ábra: Anyagok kúszási folyamatainak leírására használatos kétparaméteres kifejezések

10. ábra: Anyagok kifáradási folyamatainak leírására használatos kétparaméteres kifejezések

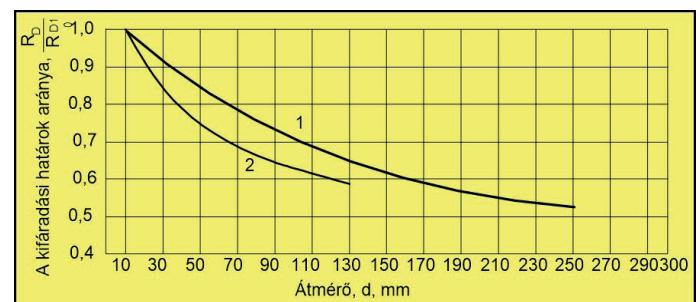
Az a kérdés jelen szempontokból messzire vezet, hogy az anyagok azon csoportjánál, amelyeknél a károsodási folyamatok azonosak, miért kell azok tulajdonságát 2 db. különálló paraméterrel jellemezni [14]?

Annak érdekében, hogy bárhol a világon végzett mechanikai vizsgálatok eredményei összehasonlíthatók legyenek – azaz a geometriai hatást kiküszöböljék – a próbatest kialakítását szabványosították. Így még mindig marad



11. ábra: A próbatest átmérőjének hatása a mért szakítószilárdság és folyási határ értékére

az ún. mérethatás, amely igenis jelentős hatást gyakorolhat a vizsgálat eredményére. Ezek közül két témakört emelnék ki, a szakítóvizsgálatot és a kifáradási jellemzők közül a kifáradási határt. Ezekre szemléltet példákat a 11. és 12. ábra.



12. ábra: A próbatest átmérőjének hatása a d és $d=10$ mm átmérőjű próbatesteken mért kifáradási határ arányára.

1 – ötvöztelen acélok
2 – ötvözött acélok

A mechanikai vizsgálatok kapcsán az észrevételekben röviden ismertetett gondolatok kapcsán nem igen találom helyét, szerepét a javasolt „digitális ikerpároknak” a szakítóvizsgálatok innovatív kiértékelésének módszertanában, sem pedig a próbatestek méretének csökkentésében, miniatürizálásában. Ennek több oka is van. Az anyagok **rugalmas viselkedésének tartományában** egy lapos próbatest felületére felvitt geometriai háló jellegzetes pontjainak $\vec{\epsilon} = \vec{\epsilon}(\vec{r}, \tau)$ elmozdulásvektora – ahol $\vec{\epsilon}$ az elmozdulásvektort és $\vec{r}$, a helyvektort, τ pedig az időt jelöli – megfigyelhető, mérhető. A rugalmassági jellemzők figyelembevételével a próbatest bármely pontjában a feszültségi és alakváltozási tenzorok elemei a rugalmasságtan elveinek, egyenleteinek felhasználásával számíthatóak. Ugyanez nem követhető az alakváltozások képlékeny tartományában, mert egyrészt valamilyen modellre van szükség az egyenértékű feszültségek számítására, a folyási feltételek megfogalmazására és a geometriai hatástól független anyagegyenlet ismeretére.

A „mini-próbatestek” alkalmazhatósági határai, korlátjai – véleményem szerint – szabványosított alak és anyag-típusonként végrehajtott kísérletsorozattal tisztázhatók.

Tóth László

ny. egyetemi tanár

Irodalomjegyzék

- [1] Fekete T.: Nagyméretű nyomástartó rendszerek szerkezetintegritási kérdéseiről, Anyagvizsgálók Lapja, 2023/III. lapszám, 22-27. old.
- [2] Fekete T.: Anyagvizsgálatok és kiértékelésük innovatív módszertana, Anyagvizsgálók Lapja, 2023/III. lapszám, 28-38. old.
- [3] Fekete T., Antók D., Tatár L., Bereczki P.: Szakítóvizsgálatok kiértékelési módszertanáról, Anyagvizsgálók Lapja, 2023/III. lapszám, 39-54.
- [4] Cinger D., Hargitai B., Csikós K.A., Szenthe I.: Mini-szakító próbatestek fejlesztése, Anyagvizsgálók Lapja, 2023/III. lapszám, 55-57. old.
- [5] Kiss Lajosné: Dr. Kiss Lajos Emlékalbum. Gazdász Elasztik Kft. 2006. 272 old.
- [6] BME Gép- és Terméktervezés Tanszék, A tanszékről: <https://gt3.bme.hu/bemutakozas.php?aloldalid=14> (Megtekintve: 2024.01.12.)
- [7] Tóth László: Képzelt beszélgetésem professzorommal Lévai Imrével, Miskolc, 2019, 67. old. <https://mek.oszk.hu/19100/19188/index.shtml> (Megtekintve: 2024.01.12.)
- [8] Béda Gy., Kozák I., Verhás J.: Kontinuummechanika. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1986.
- [9] Prager W., Hodge P. G.: Tökéletesen képlékeny testek. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1965.
- [10] Mózes Gy., Vámos E.: Reológia és reometria. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1968.
- [11] Recent Advances in Structural Integrity Analysis - Proceedings of the International Congress (APCF/SIF-2014) könyv tartalomjegyzéke: https://books.google.hu/books/about/Recent_Advances_in_Structural_Integrity.html?id=NLKYBAAAQBAJ&redir_esc=y (Megtekintés: 2024.01.12.)
- [12] Ohtsuka K.: Generalized J-integral and Its Application. Japan J. Appl. Math., 3 (1985) 329-350.
- [13] Turányi Tamás: Fizikai kémiai előadások 3. jegyzete: A termodinamika II. és III. főtétele, 2020: http://garfield.chem.elte.hu/Turanyi/oktatas/fizkem_csomag/TT3_masodik_fotetel.pdf (Megtekintve: 2024.01.12.)
- [14] L. Tóth: Materials as the Simplest Self-Organised Systems, and the Consequences of This. Springer International Publishing Switzerland 2017, G. Pluinage and L. Milovic (eds.), Fracture at all Scales, Lecture Notes in Mechanical Engineering, DOI 10.1007/978-3-319-32634-4_3 p.41-57.

EXTENDE bemutatása

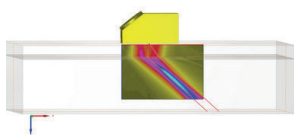


Az EXTENDE vállalat 2010-ben kezdte meg tevékenységét. Az EXTENDE a CEA LIST, a roncsolásmentes vizsgálati technikák innovációjához tartozó kutatóközpont és többek között CIVA szoftver fejlesztője, valamint legújabb terméke a TrainDE.

CIVA szoftverről:

A CIVA egy több technikát (ultrahang, örvényáram, radiográfia, ...) alkalmazó szoftvercsomag. A felhasználói felület minden modulhoz hasonló, és az NDT szakmához és annak használatához igazodik (a próbatest, a az anyagfolytonossági hiány, a vizsgálófej és mozgásai, az anyagok).

A CIVA szoftveren keresztül elérhető szimulációk lehetővé teszik a vizsgálati eljárás optimális kiválasztását. A szoftver hozzájárul, hogy figyelembe lehessen venni a vizsgálat során a legtöbb befolyásoló paramétert, ami a jelátalakítót, a vizsgált darab geometriáját vagy anyagát, de a keresett hibákat is érinti. Mindezen paraméterek finomhangolásával meghatározható a vizsgálatához legmegfelelőbb módszer, illetve értékelhető egy meglévő eljárás teljesítménye és relevanciája.



A CIVA szoftver segít:

- a vizsgálati folyamat megtervezésében,
- a vizsgálat megvalósíthatóságának ellenőrzésében,
- az eljárás optimalizálásában, validálásában,
- vizsgálófej, szonda tervezésében,
- összetett diagnózis szimulálásában,

- a befolyó és bizonytalan paraméterek eredményekre gyakorolt hatásának számszerűsítésében,
- a teljesítmény demonstrálásában (POD görbék felvételével, érzékenységi vizsgálatokkal),
- a vizualizációban a fizikai jelenségek megértéséhez.

TRAINDE-ről:

A TrainDE a virtuális oktatási eszközöknek köszönhetően javítja a roncsolásmentes vizsgálatok oktatását. Hozzájárul a vizsgálók képzéséhez, a tanúsításhoz, a folyamatos szakmai fejlődéshez és az NDT fizikájának a megértéséhez. A TrainUT egy virtuális eszköz, amely egy jeladatbázissal társítva szimulálja a valós vizsgálati körülményeket számos alkalmazáshoz, míg a TrainRT egy virtuális valóság szoftver, mely számos alkalmazás (hegezteszt csövek és lemezek, öntött minták, röntgen- és gammacsövek ...) vizsgálati körülményeit reprodukálja.



További információk a honlapon:

<https://www.extende.com/>
<https://trainde.extende.com/>

Rövid szerzői reflexió a „Gondolatok, észrevételekre ...”

Brief author's reflection on "Reflections, remarks ..."

Ezúton fejezem ki köszönetemet Tóth László Professzor Úrnak a „Gondolatok, észrevételek ...” című írásért. Külön köszönöm az írás bevezető gondolatai között az életszemléletről, a szakmai viták mibenlétéről és jellegéről szóló két mondatot. Ezekhez hasonlókat vallok magam is. A szakmai vitát – Platón nyomán – *diszkusszió*nak, nem pedig vitatkozásnak tekintem. Platón iskolájában a jóakarátú barátok közötti eszmecserét diszkussziónak nevezték, míg a vitatkozás olyan vitát jelentett, amely vetélytársak között zajlik. Ezúton is köszönöm, hogy Tóth Professzor Urat évtizedek óta szakmai jó barátomnak tekinthetem, akivel valóban nyílt, őszinte diszkussziót folytathatunk a minket egyaránt érdeklő szakmai kérdésekről.

Az alábbiakban dióhéjban szeretnék reflektálni az írás néhány lényeges gondolatára.

„A szerkezetintegritás elemzésének TRADICIONÁLIS metodikája...” bekezdésben foglaltakkal szinte teljesen egyetértek. Az utóbbi két évtizedben magunk is részt vettünk annak fejlesztésében – több nemzetközi projektben – és a fejlesztések eredményeinek hazai alkalmazásában. Azonban az említett tradicionális metodikában (pontosabban a nemzetközi jó gyakorlatban elfogadott és követett metodikák mindegyikében) található néhány olyan megoldatlan probléma, amelyre a szakma művelőinek néhány éven belül megoldást kellene találniuk. Az egyik ilyen, több évtizede nyitott kérdés a „Szerkezetintegritás” cikk végén említett „Meleg-Előfeszítés (Warm-PreStress, WPS) hatás” probléma. A WPS hatás leírásának bevonása a Szerkezetintegritási Számításokba nagyon nagy gyakorlati jelentőséggel bírna, ugyanis egy adekvát elméleti alapokra épített számítási módszertan alkalmazhatóságával a jelenleg alkalmazott magas – jórészt ismerethiányból fakadó – biztonsági tényezőket csökkenteni lehetne. A jelenleg rendelkezésre álló információk szerint azok a javaslatok, amelyek a probléma megoldására a tradicionális, szabványos metodika „finomhangolását” javasolják, mind a mai napig elégtelennek bizonyultak; ezért nem is szabványosították azokat. Többek között a WPS hatás probléma vizsgálata indította el azt a kutatást, melynek első eredményeiből néhányat az Anyagvizsgálók Lapja 2023/III. számában ismertettünk.

Ami a „Nagyméretű nyomástartó rendszerek Szerkezetintegritási kérdéseiről” című közleményt illeti, az a rendelkezésre álló terjedelem korlátozott volta miatt dióhéjban foglalja össze a nagyméretű nyomástartó rendszerek Szerkezetintegritási Számítási módszertanának tradicionális és új koncepcióját. Mivel a cikk terjedelmi korlátai nem tették lehetővé az új koncepció részletes kifejtését, továbbá ezen reflexióban még kevesebb hely áll rendelkezésre, ezért csak az Alaptörvények és az Anyagegyenletek viszonyát érintő kérdéskörrel kívánok röviden foglalkozni.

Míg Tóth Professzor Úr a kérdéseit kontinuummechanikai alapállásból fogalmazza meg, addig a közlemény

„A Szerkezetintegritási számítások új módszertana” fejezetében bemutatott metodika a *Modern Kontinuum Termodinamikára*, mint keretelméletre épül. Elméleti fizikai szempontból a *Modern Kontinuum Termodinamika* olyan kontinuum térelmélet, amelyet jellemzően térben inhomogén rendszerekben, véges állapotváltozási sebességekkel zajló időfüggő folyamatok leírására dolgoztak ki (Gyarmati [1], Muschik, Papenfuss, Ehretraut [2], Podio-Guidugli [3], Hobbs, Ord, Regenauer-Lieb [4]). Mivel a térben inhomogén rendszerek nemegyensúlyi rendszerek, amelyekben a folyamatok véges állapotváltozási sebességgel zajlanak, ezért ez a leírásmód túllép azon a statikus felfogáson, amely az „elegendő” lassú folyamatokat egyensúlyi állapotok sorozataként értelmezi. Megjegyzem, hogy a mérnöki alkalmazások sok szabványos számítási modellje még ma is erre a statikusnak tekinthető szemléletre épül, és tisztában vagyok azzal is, hogy ezek a számítások bizonyos esetekben akár kiválóan megközelíthetik a megfigyelések eredményeit.

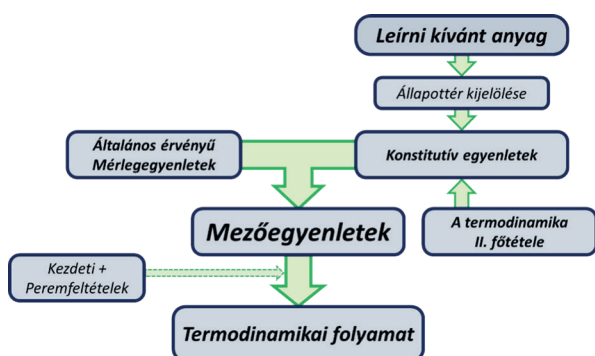
Az elmondottakon túlmenően a *Modern Kontinuum Termodinamika* alapvetően a világszemléletében tér el a klasszikus Kontinuummechanikától. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a *Modern Kontinuum Termodinamika* más paradigma, mint a klasszikus Kontinuummechanika. Ugyanis középponti hipotézise szerint „a világban az irreverzibilitás elkerülhetetlenül jelen van” (Öttinger [5]), amit Gyarmati István professzor híres Nemegyensúlyi Termodinamika című könyvében [1], évtizedekkel ezelőtt még így fogalmazott meg: „... a természetben minden makroszkopikus folyamat irreverzibilis”. A folyamatok irreverzibilis voltának oka az energiadisszipáció, ami a mérnökök jelentős hányada számára talán sokkal ismerősebb megfogalmazás. A hipotézist a disszipációra alapozva, az a következőképpen hangzik: *a világban a disszipáció elkerülhetetlenül jelen van; ez azt jelenti, hogy a disszipáció a világban minden folyamatban, minden idő- és hosszskálán, mindig működik*. A tárgyalt hipotézis plauzibilis voltát pl. Torromé azon vizsgálatainak eredményei támasztják alá, amely szerint a dinamikai rendszerek általános viselkedési formája az irreverzibilis (disszipatív) viselkedés (Torromé [6]). Nyilvánvaló, hogy egy disszipatív rendszermodellből a disszipáció mértékének $\rightarrow 0$ határátmenetében disszipációmentes (azaz reverzibilis) rendszermodellre juthatunk, azonban egy reverzibilis rendszermodellből adekvát disszipatív rendszermodellt felépíteni már sokkal nehezebb, mert ebben az esetben még meg kell keresni a disszipációs mechanizmusokat is.

Az Alaptörvények és az Anyagegyenletek viszonyát érintő kérdésre térve, a Modern Kontinuum Termodinamikában az Alaptörvényeket „Általános érvényű Mérlegegyenleteknek” nevezik (Muschik, Papenfuss, Ehretraut [2]), mert ezek a mérlegegyenletek minden anyagra érvényesek. A leírni kívánt anyag speciális viselkedését az „Állapotter kijelölésével” (azaz az állapotváltozók megválasztásával)

kezdik. Ezek birtokában alkotják meg a „*Konstitutív egyenleteket*” (vagy Anyagegyenleteket), amelyekre a Termodinamika II. főtétele olyan megszorításokat ró ki, hogy az egyesített egyenletek (a Mezőegyenletek) rendszere – a szükséges kezdeti és peremfeltételekkel kiegészítve – valós/megengedett Termodinamikai folyamat(oka)t írjon le. Ebben a felfogásban az Anyagegyenlet nemcsak az alakváltozási és a mechanikai feszültségmező, hanem az állapotteret kifesztítő összes mező között kapcsolatot teremt; annak termodinamikai konzisztenciáját a leszámraztatási eljárás biztosítja. A konkrét anyag(ok)ra vonatkozó, megfelelő paramétereket ebben a konstrukcióban is kísérletek eredményeiből származtatják le. Egy anyagi rendszer viselkedésének leírására alkalmas rendszermodell *Modern Kontinuum Termodinamika* szellemében történő konstrukcióját, az Általános érvényű Mérlegegyenletek, a Termodinamika II. főtétele és a Konstitutív egyenletek viszonyát az 1. ábra szemlélteti. Ezen felfogás szerint a *Modern Kontinuum Termodinamikában* az Anyagegyenletek tehát mindenképpen „*termodinamikailag determináltak*”.

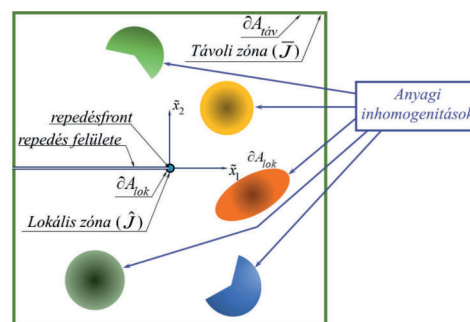
Az 1. ábrán bemutatott konstrukció már önmagában körvonalazza a választ arra a kérdésre, hogy az „*ismertett ÚJ MÓDSZERTAN mennyiben 'nagy méretű nyomástartó rendszer' specifikus*”. A módszertan – a geometriai modelleken túlmenően – annyiban (lesz) nagy méretű nyomástartó rendszer specifikus, amennyiben a Konstitutív egyenletek a megfelelő rendszerek szerkezeti anyagainak adekvát modelljei (lesznek). Első lépésben a nagy méretű nyomástartó rendszerek vizsgálatára fejlesztés alatt álló mérnöki alkalmazások Anyagegyenletei még a klasszikus folyási és kúszási modellekre épülnek. A valóban mélyebb megértésen alapuló, például a mezo- és mikrostruktúra, valamint a károsodás hatását is jobban követő modellek még intenzív kísérletekkel támogatott elméleti fejlesztést igényelnek. Az ilyen irányú – jobbra elméleti – kutatások irodalma erőteljesen gyarapszik (ld. pl. Coleman, Gurtin [7], Rice [8], A. Berezovski, Engelbrecht, Maugin [9] és Morro, Giorgi [10]), azonban az ipari használatra alkalmas mérnöki modellek eléréséig még sok kutatási és fejlesztési munka szükséges.

Ami viszont az új módszertant valóban megkülönbözteti a tradicionális módszertantól, az a termodinamikai keretelméletből következő törésmechanikai modell. Mivel a



1. ábra: Anyagi rendszer leírására szolgáló mezőegyenletek konstrukciója a *Modern Kontinuum Termodinamikában* [2]

Modern Kontinuum Termodinamika a térben inhomogén nemegyensúlyi rendszerekben, véges állapotváltozási sebességekkel zajló időfüggő/tranziens, disszipációval járó folyamatokat tárgyal, természetes, hogy a törésmechanikát is ebben a környezetben értelmezzük. Chen és Mai a [11] monográfiában részletesen tárgyalják a termodinamikai keretelméletben értelmezett, általánosított J -integrált. A termodinamikai elmélet túllép Rice híres cikkének [12] bevezető „*consider a homogeneous body of linear or nonlinear elastic material free of body forces*” félmondatán, amely az eredeti J -integrál elmélet kiindulási hipotézise. A repedés körüli viszonyok leírása ebben az elméletben is az Eshelby-tenzor köré szerveződik, de a leírás kiegészül a repedés környezetében jelenlévő inhomogenitások indukálta disszipatív folyamatok hatásának követésével; ezért áll itt az általános esetben a J -integrál a lokális $\hat{J}$ plusz a távoli $\bar{J}$ tagokból (ld. a 2. ábrát). Ez a törésmechanikai modell, bár kétségkívül komplexebb az eredetinel, de mindenképpen összhangban áll a kiindulási termodinamikai keretelmélettel.



2. ábra: A lokális $\hat{J}$ és a távoli $\bar{J}$ tagokból álló, általánosított J -integrál

A választott leírásban az anyag viselkedésének jellemzése szempontjából releváns disszipatív folyamatokat a megfelelő belső változók reprezentálják (pl. Coleman, Gurtin [7], Rice [8], A. Berezovski, Engelbrecht, Maugin [9]); a belső változók maguk is rendelkezhetnek inhomogén eloszlással. Anyagi inhomogenitásoknak ebben a modellben – meglehetősen durván fogalmazva – azokat a lokális környezeteket nevezzük, amelyekben az anyag valamilyen fizikai, kémiai, elektrokémiai vagy akár elektromágneses jellemzője/paramétere szignifikánsan eltér az őt tartalmazó reprezentatív térfogatelemre meghatározott átlagos jellemzőjétől. Ezen környezetekben a disszipáció mechanizmusa attól függ, hogy milyen típusú inhomogenitásról van szó, lokális mértéke pedig szignifikánsan eltér a jellemzőnek az adott környezetet tartalmazó, reprezentatív térfogatelemre átlagolt értékétől. A különböző anyagi károsodások, lokális repedések megjelenése, terjedése mind disszipatív folyamat, azonban pl. egy kezdeti repedés környezetében is léte(zhet)nek olyan anyagi inhomogenitások (pl. kemény másodrendű kiválások), amelyek valamely kísérlet kezdetén még nem azonosíthatók anyagi károsodással, azonban az ezen helyekről – bizonyos kritikus állapot elérése után – a kísérlet későbbi fázisában kiinduló disszipatív folyamatok már tartozhatnak az említettek közé. A jelenség tárgyalása az

önszerveződés – vagy kényszerek által befolyásolt önszerveződés – nagyon gazdag tématerületre vezet át, és szoros összefügg a kísérletekkel, valamint a kísérleteknek a keretrendszerben történő értelmezésével. A kérdéskör további kifejtésétől itt hely hiányában eltekintek, azonban a téma olyan mélységű kifejtésére, amelybe Professzor Úr eddig feltett, és a jövőben várható kérdéseire adandó, lehetőleg kimerítő válaszok beleférnek, szívesen állok rendelkezésre, amennyiben erre igény mutatkozik.

Az írás „*Mechanikai anyagvizsgálat*” fejezetében megfogalmazott gondolatokkal kapcsolatban – ugyancsak dióhéjban – szerzőtársaimmal egyetértésben annyit tudok válaszolni, hogy teljes mértékben egyetértünk a 7. ábra mondandójával, miszerint a mechanikai anyagvizsgálatok során az anyag önszerveződő rendszerként viselkedik, ám azt inkább kényszerített önszerveződésnek neveznénk. A szerkezeti anyagok termodinamikai önszerveződő rendszerként történő felfogására Professzor Úr tanulmányán [13] kívül nemigen találtunk példát a szakirodalomban. Egy kivételnek tekinthető Ivanova munkája [14]. Termodinamikai megfontolások alapján egyetértünk azzal, hogy egy anyagvizsgálat – pl. szakítóvizsgálat – során az anyag viselkedése a kezdeti és a végállapot között folyamatosan változik, azonban az ilyenfajta modellek kidolgozása még a jövő feladata.

A kutatások elején abból indultunk ki, hogy pl. egy szakítókísérlet során a próbatest – előbb vagy utóbb – mind geometriai, mind anyagi szempontból nemlineáris viselkedést mutat, és a kétféle viselkedés kísérleti módszerekkel nem szeparálható. Ugyanakkor a paraméterek átvihetősége szempontjából fontos, hogy amennyire lehet, a próbatest méretének és geometriájának hatását mégiscsak valamilyen módszerrel „*lehámozzuk az Anyagegyenlet paramétereiről*”. Erre szolgál a numerikus – elsősorban megfelelő nemlineáris problémák tárgyalására is validált Végeselemes Módszerrel támogatott – *Digitális Pár* koncepció, amelynek segítségével a próbatest geometriai és anyagi nemlinearitásai együtt vizsgálhatók. Mára addig jutottunk, hogy egy feltételezett formájú Anyagegyenleten alapuló szimulációk segítségével az Anyagmodell paraméterei úgy határozhatók meg, hogy közben a próbatest megvalósult, ideálistól eltérő, gyártási geometriájának és a tökéletlen befogásnak a hatásai elkülöníthetők az anyagi viselkedéstől. A cikkben a lapos próbatestek Digitális Párjain végzett szimulációk megmutatták, hogy a próbatest gyártási méretein alapuló modellek a kontrakció helyének a mérések során megfigyelt, igen jelentős aszimmetrikus elvándorlását képesek kimutathatni. Ehhez hasonló eredmény(ek)e)t eddig nem találtunk a szakirodalomban. A komplexebb Anyagmodellek Digitális Párokba történő bevezetése problémájának megoldását tervbe vettük.

Összefoglalva, tisztában vagyunk azzal, hogy a Szerkezetintegritás és az anyagvizsgálatok kiértékelésének módszertana még sok fejlesztést igényel. A cikkek a

„*bis dat qui cito dat*” elvét követve készültek, elsősorban azzal a célkitűzéssel, hogy a módszertan korszerű elméleti alapjait bemutassuk, továbbá az anyagvizsgálatok kiértékelésére kidolgozott rendszer működőképességét – a szakítóvizsgálatok példáján – demonstráljuk.

Fekete Tamás

főtanácsos, HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

Irodalomjegyzék

- [1] Gyarmati I., Nemegyensúlyi Termodinamika. 2. kiadás Műszaki Könyvkiadó Budapest (1976)
- [2] W. Muschik, C. Papenfuss, H. Ehrentraut, A sketch of continuum thermodynamics, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 96 1–2 (2001) 255–290. [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(00\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(00)00141-5)
- [3] P. Podio-Guidugli, *Continuum Thermodynamics*. SISSA Springer Series Volume 1, Springer Nature Switzerland AG (2019) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11157-1>
- [4] B.E. Hobbs, A. Ord, K. Regenauer-Lieb, The thermodynamics of deformed metamorphic rocks: A review, *Journal of Structural Geology* 33 (2011) 1–61. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.01.013>
- [5] H.C. Öttinger, *A philosophical approach to quantum field theory*. Cambridge University Press Cambridge New York (2017)
- [6] R.G. Torromé, General theory of non-reversible local dynamics, *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* 18 7 (2021) 2150111 <https://doi.org/10.1142/S0219887821501115>
- [7] B.D. Coleman, M.E. Gurtin, Thermodynamics with Internal State Variables, *The Journal of Chemical Physics* 47 2 (1967) 597–613. <https://doi.org/10.1063/1.1711937>
- [8] J.R. Rice, Continuum Mechanics and Thermodynamics of Plasticity in Relation to Microscale Deformation Mechanisms, In: A.S. Argon (szerk.), *Constitutive Equations in Plasticity*. MIT Press (1975) 23–75.
- [9] A. Berezovski, J. Engelbrecht, G.A. Maugin, Generalized thermomechanics with dual internal variables. *Archive of Applied Mechanics* 81 (2011) 229–240. <https://doi.org/10.1007/s00419-010-0412-0>
- [10] A. Morro, C. Giorgi, Mathematical Modelling of Continuum Physics. In: *Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology* Birkhäuser Cham (2023) <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20814-0>
- [11] X.H. Chen, Y.W. Mai, *Fracture Mechanics of Electromagnetic Materials. Nonlinear Field Theory and Applications*. Imperial College Press London (2013) <https://doi.org/10.1142/p760>
- [12] J.R. Rice, A path independent integral and the approximate analysis of strain concentration of notches and cracks. *Journal of Applied Mechanics* 35 (1968) 379–386. <https://doi.org/10.1115/1.3601206>
- [13] Tóth L., Materials as the Simplest Self-Organised Systems, and the Consequences of This. In: G. Pluvinau, L. Milovic (szerk.), *Fracture at all Scales, Lecture Notes in Mechanical Engineering* Springer International Publishing Switzerland (2017) 41–57. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32634-4_3
- [14] V.S. Ivanova, *Synergetics. Strength and Fracture of Metallic Materials*. Cambridge International Science Publishing Great Abington (1998)

A diszkussió partnerei egyetértenek abban, hogy a gondolatok és eredmények értékelése természetesen folytatódik akkor, ha a felvetett konkrét kérdésekre konkrét válaszok születnek.

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökei

Presidents of the Hungarian Association for Material Testing

Tetmajer Lajos (Ludwig Tetmajer von Przerwa; Korompa, 1850. július 14. – Bécs, 1905. január 31.) 1895 szeptemberében életre hívta a nemzetközi anyagvizsgáló szövettséget (Internationalen Verband für Materialprüfungen der Technik – Association internationale pour l'essai des matériaux). A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete 1897. június 16-án alakult meg azzal az alapvető céllal, hogy Magyarországot a nemzetközi szervezetben önállóan képviselje. A 100. évfordulón elindult kezdeményezés 2012-ben végül beért: újra megalakult a MAE. Az egyesület mindenkor elnökei emblemikus személyiségek voltak: nem egy-a-sok-közül sapkadísznek vagy pénzosztogató jószágoknak használták ezt az elnöki stallumot, hanem a lehető legtöbbet vállalták az anyagvizsgáló szakma fejlődéséért, a magyar anyagvizsgáló szakemberek összefogásáért.

Ezek voltak az Egyesület elnökei. Álljon itt a névsoruk:

1897-1904

1904-1910

1910-1914

1914-1917

1917-1924

1924-1927

1927-1930

1930-1934

1934-1939

1939-1942

1942-1944

2012-2014

2014-2019

2019 -

Czigler Győző (műegyetemi tanár)

Nagy Dezső (műegyetemi tanár)

Czekelius Aurél (minisztériumi tanácsos)

Rejtő Sándor (műegyetemi tanár)

Zielinski Szilárd (műegyetemi tanár)

Gállik István (alelnök, államtitkár)

Czakó Adolf (műegyetemi tanár)

Zorkóczy Samu (műszaki vezérig.)

Mihailich Győző (műegyetemi tanár)

Quirin Leo (műegyetemi tanár)

Misángyi Vilmos (műegyetemi tanár)

Gillemot László, PhD

Czinege Imre (professzor emeritus)

Biró Gyöngyvér, Dr. habil

A 14 nevet felsorakoztató névsorból lapunk korábbi számaiban már tizenhárom szakember életének mozzanataival találkozhattak a Tisztelt Olvasók. Most az alapító elnök, Czigler Győző (1850-1905) életébe, annak eredményeibe tekinthetünk be.

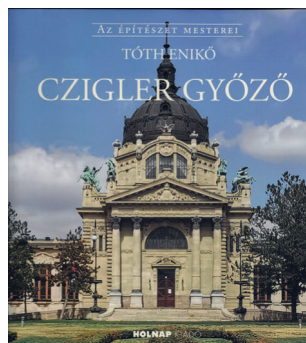
Czigler Győző (1897-1904)

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének alapító elnöke rövid, de igen tartalmas, termékeny életet élt. Hiszen mindössze 55 év alatt nehezen összeszámolható köz- és magán épületet tervezett, kivitelezett, restaurációs munkákat végzett Budapesten és szerte az országban. Rövid életrajzát lexikonok tartalmazzák [1-2], de egész életét és szakmai munkásságát átívelő, összefoglaló munka először 2010-ben jelent meg szakdolgozat formájában, majd az igazi hűzágótló mű a Tóth Enikő által írt és mindössze két éve, 2021-ben megjelent könyv foglalja először egységbe kiváló módon [3].

Az ősi Czigler család Svájból költözött hazánkba valamikor az 1700-as években. Akadnak olyan vélemények is, hogy már Czigler Győző széppapja is építészettel foglalkozott. Az azonban tény, hogy nagyapja id. Czigler Antal (1767, Cserevics – 1862, Kígyós) már széleskörű építési tevékenységet fejtett ki Békés, Arad és Bihar vármegyékben. Nevéhez 25 templom építése (közöttük a békéscsabai evangélikus templom), temérdek kúria és lakóház tervezése és elkészítése, valamint Herkulesfürdőn,



Czigler Győző (1950. július 19., Arad – 1905. március 28., Budapest)



Tóth Enikő 2021-ben megjelent könyve

a Ferenc-udvar kialakítása fűződik [1-4]. A 95 évet megélt nagyapa nyolc gyermekéből az ifj. Czigler Antal (1810.06.02., Gyula – 1872.02.11., Arad) Aradon vált elismert szakemberré a vármegye főépítészeként. Nevét Aradon máig is tér őrzi. A Titl Rózával kötött második házasságából 1848-ban született Czigler Gyula, majd 1850. július 19-én Czigler Viktor, aki – az 1848-as évek nemzeti érzületétől indítva – a Győző nevet vette fel és vált elismert építésszé. Az édesanya 1854-ben bekövetkezett halálát követően a gyermekek „szétszéledtek”.

- Az édesapa első házasságából 1837-ben született Anna Paulina (Paula) a fővárosban telepedett le és férjhez ment Kiss Gyula vasúti felügyelőhöz.

- Czigler Gyula a budai reáliskolában tanult, majd Zürichbe az ETH-n (Eidgenössische Technische Hochschule) folytatta tanulmányait és az akkori idők egyik meghatározó és jól jövedelmező ipari ágazatához csatlakozva vasútmérnök lett. E lépését feltehetően nővére férje ösztönözte.

- Czigler Győző Aradon maradt, ahol a minoriták főgimnáziumában tanult.

További életének alakulása az évszámok függvényében:

- 1869, Bécsben az Akademie der Bildenden Künste növendéke lesz építészeti szakon. Itt nagy hatással van rá professzora, a dán származású Theophil Hansen (1813-1891), aki egyben az osztrák parlament, a Musikverein épületének stb. tervezője és 1836-1846 között 10 évet Athénban töltött.
- 1871 augusztusában Dr. Pauer Tivadar a vallás- és közoktatásügyi miniszter a legnagyobb, 600 forintos művészeti ösztöndíjban részesíti.
- 1872. február 11-én édesapja elhunyt, akinek folyamatban levő munkáit bátyja helyett ő – az építész hallgató – veszi át.
- 1871-1872-es tanév második felében (1872.03.12.) záróvizsgát tesz az ókori és reneszánsz építészeti szakon.
- 1872 nyarán az Országos Magyar Képzőművészeti Társulat tagja lesz. Itt még, mint „aradi” tag szerepel, hiszen elhunyt édesapja folyamatban levő munkáit teljesíti.
- 1872 márciusában a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet helyiségében kiállítja a Margit hídhöz készült terveit, melyeket korábban, az építkezésre kiírt nyilvános pályázatra nem nyújtott be.
- 1873-ban visszamegy Bécsbe, a világkiállítás megtekintésére, majd hosszabb tanulmányútra indul Prága, Drezda, Lipcse, Berlin, Anglia, Franciaország, Belgium, Olaszország, Görögország és az Oszmán Birodalom (Törökország) célpontokkal. Utazásainak első részét gyermekkori jó barátjával, Gaál Jenővel (1846-1934) teszi meg, görög és török útját pedig Theophil Hansen társaságában.
- 1874 márciusában megválasztják az egyesített főváros szervezés alatt álló mérnöki hivatala építési és építésrendőri szakosztályának vezető mérnökévé.
- 1875-ben a Budapest Székesfőváros Mérnöki Hivatal munkatársa.
- 1878, az Andrássy úti Saxlehner-palota felépítése, amely szakmai sikerek sorozatát indította el.
- 1878 szeptemberében behívják katonának, de decemberben már újból Budapesten van, mint tartalékos főhadnagy.
- 1881-ben felvették a kereskedelmi egyének jegyzékébe építőmesteri vállalkozását, irodáját. Székhelye (egyben lakhelye) az Üllői út 25. volt.
- 1882-ben megnyeri a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet nagypályázatának aranyérmét.
- 1887-ben a Magyar Királyi József Műegyetem ókori építési tanszék tanára lett, amelyet ekkor alapítottak. Nála alkalmasabb szaktekintélyt nem is választhatnak volna, noha a bizottság egyik tagja, Steindl Imre kifejezetten ellenezte, kételkedően Czigler Győző alkalmasságában.
- 1890-1893 között az egyetem Mérnöki és Építészeti Szakosztály dékánja.
- 1894-1900 között a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet elnöke.
- 1895-ben az Országos Magyar Iparművészeti

Társulat alelnöke.

- 1897-ben a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének alapító elnöke.
- 1901-ben a Ferencvárosi Polgári Kör elnökeként „balekóstol” a politikai életbe is. E lépése nem kívánja ki a szakmai körök teljes elismerését főleg azért, mert szerepet vállalt a hatalmon levő Szabadelvű Párt népszerűsítésében.
- 1905. március 28-án, félév nagyobb szenvedést követően, csonttrákból hunyt el Budapesten. Gyermekkori barátja, Gaál Jenő, 1873-as útitársa meghatóan emlékezik az 1905-ös esztendőre.
- 1905. március 30., Czigler Győző temetése a Fiumei Sírkertben [3.1].

A gyászszertartást a Műegyetem általa tervezett CH épületében (alábbi kép) tartották délután 3-kor. Innen indult a temetési menet a Kerepesi úti sírkertbe [3.1].



A BME Czigler Győző által tervezett, épített CH épülete
(Készítette Thaler Tamás)

Haláláról többek között a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet (MMÉE) – amelynek elnöke is volt – az egyet 1905. évi 12. heti értesítője, ill. a Magyar Iparművészet is megemlékezett. Temetésén többek között az MMÉE új elnöke Hieronymi Károly, Szalay Imre miniszteri tanácsos, a Magyar Iparművészeti Társulat alelnöke mondott búcsúbeszédet [5]. Könyvtárát örökösei (nővére Czigler Paula és unokahúga Czigler Ella) az MMÉE-nek ajándékozták. Nővére 1906-ban a műegyetem gondozásában 10.000 korona alaptőkével egy alapítványt hozott létre, amelyet a Mérnöki és Építészeti Szakosztály gyűjtése egészített ki az ún. Czigler-érem bronzból készült változatának árusításával. Az ezüstből készült Czigler-éremmel pedig az adott esztendő legjobbnak ítélt előadóit jutalmazta a kuratórium. Az első alkalommal Kertész K. Róbertnek (volt tanársegédje) ítélte díj 1907-ben történt átadása kapcsán Nagy Virgil – Czigler Győzőt méltató – előadása csupán 1911-ben jelent meg nyomtatásban az MMÉE Közleményében [6]. Csupán két gondolatkört emelnék ki az elmondottakból:

„Léte a nemcsak magáért, hanem másokért és a közért folytatott szakadatlan és **becsületes munka** jegyében áll; jellemzői az **állhatatosság, következetesség és erős meggyőződés**; léte harmonikus volt, ha talán érte is csalódás az embereken, tragikuma nem lett, mert nem csalódott **önmagában** soha és nem csalódtak azok, akik benne bíztak...”

„És e pillanatban, amikor első ízben hódolunk hálával és szeretettel Czigler Győző emlékének, amikor **első ízben adtuk ki** az ő arcképével ékes érmekeket, mindannyiunk lelkében, akik tudjuk és érezzük, hogy mily odaadó ragaszkodással volt ő teljes férfiületében a mi egyesületünké, önkéntelenül megfogalmazzuk az a gondolat, hogy az ő lelke most itt van közöttünk”.

Alkotó korszakának neves szakemberei nem egyformán értékelték óriási szakmai tevékenységét. Ne feledjük, hogy a millennium periódusában hazánk építészetében gyökeres változások mentek végbe és mindezekre rendelkezésre álltak a megfelelő gazdasági források is. A pezsgő kulturális, műszaki, gazdasági, tudományos élet egyrészt kinevelte a hazai – és világszerte elismert – elitet, másrészt Budapestre vonzotta a pénzüvilágot. Nem véletlenül írta a Kanadába emigrált Vaclav Smil a Nature folyóirat egyik számában megjelent cikkében, hogy „A huszadik századot Budapesten csinálták” [7]. E környezetben pedig természetesen megindult a verseny, amelynek célja a szakmai és anyagi elismerés megszerzése volt. Egy 1929-ben megjelent összefoglaló, mintegy 1000 oldal terjedelmű könyv „Építészeti” fejezetében [8] pl. ez olvasható Lechner Jenő tollából:

„A 80-as években megnyitott Andrássy-úton előkelő ízlésű bérpaloták hosszú sora tanúskodik sok kiváló tehetségről. A palotasort Feszty Adolf hatalmas Fonciére-palotája nyitja meg. Vele szemben van a finom ízlésű Saxlehner-palota, mely Czigler Győző, a Magyar Mérnök- és Építész Egyletnek kiváló és tevékeny elnöke, hosszú időn át vezéralakja volt a műszaki közéletnek. Egész sereg bérházat és iskolaépületet épített, egy sajátos, részleteiben finomkodó, de konceptusaiban modoros eklektikus ízlésben. A műegyetem egyik tervezési tanszékének tanára volt és tanítványainak nagy száma, sajnos, nálánál kevésbé szerencsés kézzel, folytatta ezt a száraz típusú vedlett építőmodort.”

Tóth Enikő könyvének [3] 193. oldalán pedig így értékeli Czigler Győző műveit:

„Czigler Győző építészetét – főként a tervező konzervatív építészet szemléletének, politikai szerepvállalásának és állami körökben való népszerűségének köszönhetően - számos kritika érte és éri a mai napig. Ezzel együtt, jelentősége elvitathatatlan, hiszen egy hatalmas életművet, számos meghatározó épületet hagyott az utókornak, ráadásul aktívan részt vett a fiatalabb építészgeneráció képzésében. Az építészetéről alkotott nézeteit megosztotta tanítványaival, s ilyen módon hatást gyakorolt önálló stílusai kialakítására.”

Nem az „építész” szakmai körben tevékenykedőként – természetesen – Czigler Győző munkásságának értékelésében még a „partvonalon kívülről” sem nyilatkozhatok.

A közlemény összeállítása kapcsán szerzett tapasztalataimról csak annyit, hogy

- az internetes keresőbe Czigler Győző nevét beírva a kapott találatok száma 18.400 (hogy ez kevés vagy sok? – döntse el a Tisztelt Olvasó!)
- Tóth Enikő hivatkozott könyvében:
 - a jegyzetek, hivatkozások száma 824 (hogy ez az életrajz, életmű felületes, vagy részletes feldolgozására utal? – döntse el a Tisztelt Olvasó!)
 - Czigler Győző azonosított műveinek száma meghaladja a 200-at (hogy ez szorgos és kitartó munkára utal, vagy nem? – döntse el a Tisztelt Olvasó!)



Czigler Győző síremléke a Kerepesi úti sírkertben (Részlet, Thaler Tamás felvételéből).

Ha pedig az előzők alapján is döntésképtelen valaki, kattintson a [9-16] internetes bejegyzésekre. Bizonyára kialakítja mindenki a saját véleményét. Czigler Győző végső nyughelyét, síremlékét munkatársa, Dvorák Ede tervezte, Weisinger György valósította meg, az építőművész Kiss György szobrász által faragott portréval. A síremlék állagának minősítése napjainkban „veszélyben”!

Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy az „anyagvizsgálattal foglalkozó énem szólaljon meg”.

Őszintén mondom, hogy igen sok időt töltöttem azzal, hogy Czigler Győzőnek az „anyagvizsgálat” témaköréhez köthető tevékenységét, munkáit összegyűjtsem. Kudarcom teljes volt. Egyetlen egyet sem találtam. Ugyancsak sok időt szenteltem arra is, hogy rátaláljak annak magyarázatára, hogy miért lett éppen ő, aki megalapíthatta a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületét. Ennek sem találtam semmilyen dokumentumát. Ez egy kiváló feladat a jövő nemzedék tagjainak. A továbbiakban csak feltételezésekre támaszkodhatok a következő tényekből, emberi adottságokból kiindulva:

- Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét Tetmajer Lajos, az ETH tanára alapította Zürichben, 1895-ben, érdeke volt a nemzeti szervezetek gyors létrehozása.
- Németországban már a következő évben megalakult a honi szervezet.
- Az ismert Czigler család svájci gyökerekkel rendelkezik.
- Czigler Győző 2 évvel idősebb bátyja, Gyula az ETH-ban tanul és feltehetően Tetmajer Lajos is tanítja a későbbi vasúti mérnököt.
- Czigler Győző a Magyar Mérnök- és Építész Egyletnek kiváló és tevékeny elnöke, hosszú időn át vezéralakja volt a műszaki közéletnek (ahogy Lechner Jenő is fogalmaz a már idézett szövegben az 1920-as években).

Tetmajer Lajos és Czigler Győző között nyelvi problémák

nyilvánvalóan nem léteztek, Czigler Győző a hazai mérnök-társadalom aktív alakja. Egymásra találásuk részletei nem ismertek, de lehetőségének objektív feltételei megvannak.

Tóth László
ny. egyetemi tanár

Irodalomjegyzék

- [1] Révai Nagy Lexikona. V. kötet. Budapest 1912. (Hasonmás kiadás, 1990) 226. old
- [2] Új magyar életrajzi lexikon I. köt. Felelős szerkesztő. Markó László. Magyar Könyvklub. 2001. 1040. old.
- [3] Tóth Enikő: Czigler Győző. Az építészet mesterei. Holnap Kiadó. Budapest. 2021.
- [3.1] Részletek gávai Gaál Jenő visszaemlékezéseiből. 197-199 old.
- [3.2] A Czigler-díj elismerésben részesült szakemberek névsora 1907-1943 periódusban (704 sorszámu jegyzet. 220 old.)
- [4] Wikipedia: Czigler Győző: https://hu.wikipedia.org/wiki/Czigler_Győző (megtekintve: 2023.12.16.)
- [5] Czigler Győző, Magyar Iparművészet. 1905/2 szám. 161-166. old
- [6] Nagy Virgil: Czigler Győző emlékezete. MMÉE.1911 .XLV. kötet 19. szám. 250-252. old.
- [7] Fizika Szemle. 2001/1 (B4).
- [8] Technikai fejlődésünk története (1867-1927), Második kiadás, Budapest 1929. Magyar Mérnök és Építészegylet 999.old. Ezen belül „Építészet” fejezet 501-593 old.
- [9] PestBuda: Aki 27 fontos épülettel hagyott nyomot Budapest arculatán – 115 éve hunyt el Czigler Győző, https://pestbuda.hu/cikk/20200425_gonczi_ambrus_aki_27_fontos_epulettel_hagyott_nyomot_budapest_arculatan_115_eve_hunyt_el_czigler_gyozo (megtekintve: 2023.12.11.)
- [10] Művészet: Czigler Győző, <https://www.mke.hu/lyka/04/187-188-czigler.htm> (megtekintve: 2023.12.11.)
- [11] Lechner Tudásközpont: 170 éve született Czigler Győző, <https://lechnerkozpont.hu/cikk/170-eve-szuletett-czigler-gyozo> (megtekintve: 2023.12.11.)
- [12] Köztérkép: Czigler Győző síremléke, <https://www.kozterkep.hu/45071/czigler-gyozo-siremleke#vetito=479340> (megtekintve: 2023.12.11.)
- [13] Magyar Építészeti Múzeum Műemlékvédelmi Dokumentációs Központ: Kiállítás megnyitó – Czigler Győző építőművészetéről a bécsi Pázmáneumban, <https://memmdk.hu/cikkek/kiallitasok/kiallitasmegnyito-czigler-gyozo-epitomuveszeterol-a-becsi-pazmaneumban> (megtekintve: 2023.12.11.)
- [14] Félegyházi Közlöny: Titkok a levéltárból – Czigler Győző építész kutja Kiskunfélegyházán, <https://felegyhazikozlony.eu/hirek/19645/titkok-a-leveltarbol-czigler-gyozo-epitesz-kutja-kiskunfelegyhazan> (megtekintve: 2023.12.11.)
- [15] Posta: Széchenyi Gyógyfürdőt bemutató bélyegsorozat jelent meg, https://www.posta.hu/szechenyi_gyogyfurdot_bemutato_belyegsorozat_jelent_meg (megtekintve: 2023.12.11.)
- [16] Veszprém megyei életrajzi lexikon: Czigler Győző, <https://www.ekmk.hu/lexikon/talalatok3.php?beture=CZIGLER%20Gy%C5%91z%C5%91> (megtekintve: 2023.12.11.)

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



Beszélgetés Szücs Pál Jánossal

Interview with Pál János Szücs

Kérdező/Questioner: Skopál István

Több mint 50 éve diplomázott fizikusként és azóta megszakítás nélkül anyagvizsgálatokkal foglalkozik. Otthon van a mechanikai és a roncsolásmentes módszerekben, úttörő szerepe volt a hazai akusztikus emissziós vizsgálatok megalapozásában, mindemellett három évtizede oktatóként és oktatásszervezőként is tevékenykedik. Ő Szücs Pál János, akit mindannyian „SzücsPali”-ként ismerünk és emlegetünk.

Ha a nevedet említik szakmai körben, akkor a kollégák nagy többségének az „Orszak” jut eszébe Rólad. Ennél azonban jóval sokrétűbb volt a több évtizedes anyagvizsgálói tevékenységed. Foglald össze, légy szíves, nekünk!

Első munkahelyem az Erőmű Javító és Karbantartó Vállalat (ERŐKAR) Anyagvizsgáló Osztálya (EKAVI) volt. Akkor még úgy vették fel az embert, hogy először körbevezették a vállalatnál, a laboratóriumban és csak azután foglalta el a leendő helyét. Az ERŐKAR laborban olyan kollégák közé kerültem, mint első főnököm, Dr. Süle János, a kémiai részleget vezető Dr. Kéthelyi József és a metallográfiát vezető Dr. Müller Zoltánné. Az első hat hetet a roncsolásmentes (röntgen és ultrahang) vizsgálati laborban töltöttem, ahol Semadán Jenő volt a laborvezető, de én a legtöbbet Magyar Istvántól és Dr. Főzi Gyulától tanultam. Ezután a kúszás laborban kezdtem el dolgozni, miközben másféle mechanikai vizsgálatokat is végeztem. Nagyon sok anyag bizonylatait pótoltuk és közben megtanultuk a vonatkozó szabványokat. A kúszásvizsgálatok kapcsán bővíthettem Dr. Süle János híres „kék füzetét”, amiben az 50-es évek óta gyűjtötte a hazai erőművi anyagok kémiai, mechanikai és metallográfiai jellemzőit. Én a csehszlovák és szovjet melegsízlárd acélokkal folytattam a sort.

Az 1980-as években egymás után indultak az újabb – MPV, AT, ET, LT és VAT – anyagvizsgáló tanfolyamok. (Az első RT és UT tanfolyamok régebből datáltak.) Én 3-as szintű tanúsítványt szereztem VT, PT, MT, AT, LT és VAT eljárásból.

1985-ben létrehozták az Állapotellenőrző Osztályt (ÁEO), aminek vezetője lettem. Elsősorban erőművekben, de akár vegyipari üzemekben lévő berendezések állapotellenőrzésével és a kapcsolódó roncsolásos vizsgálatok tervezésével foglalkoztunk. Az elvégzett vizsgálatok alapján maradék élettartamot becsültünk. Voltak speciális berendezéseink is – videoendoszkóp, Barkhausen-zaj mérő – és replikákat is készítettünk.

Az első magyarországi akusztikus emissziós berendezések egyike az ERŐKAR ÁEO-ra került. Rengeteg mérést végeztünk ezzel az atomerőműben, a hagyományos erőművekben, az olajiparban, hűtőházakban és általában nyomástartó edények hatósági nyomáspróbája során.



Az ERŐKAR 1990. évi privatizációja után az ÁEO és a laborok többsége szétesett, megszűnt. Az anyagvizsgáló tevékenységet a R.U.M. TESTING Kft.-ben folytattam.

Kezdetektől fogva részt vettem az oktatásban, először az Ipari Szakképző és Továbbképző Intézet (ISZTI), majd annak utóda, a Szakmai Továbbképző és Átképző Vállalat (SZTÁV) keretében. 1996-ban pedig Dénes Gábornéval közösen megalakítottuk az ORSZAK Bt.-t, azóta ott tanítok.

Fizikusként végeztél az ELTE Természettudományi Karán (ELTE TTK-n).

Minek vagy kinek köszönhető, hogy ezt a pályát választottad?

Kicsit messzebből kezdeném: A XI. kerületi Soproni úti általános iskolába jártam, ahol Árkossy Júlia személyében egy nagyon szigorú, de nagyon jó matematika tanárnőm volt. A kétkötetes „Laricsev” példatár minden feladatát megoldatta velünk, a Középiskolai Matematikai Lapok gyakorlatait csináltatta és hetente szakkört tartott. Amikor beadtam a felvételi lapot a Kandóba (ami akkor nagynevű közép fokú technikum volt), napokig járt a szüleim nyakára, és végül ő személyesen vitte át a lapomat a Tavaszmező utcából a Horváth Mihály térre.

Így kerültem a Fazekas Gimnázium „1967C” matematika osztályába Kőváry Károly, „Kavics” tanár úr kezei közé. Akkoriban a matematika és az elektromosságtan (erőművek, alállomások) érdekelt. De harmadikban megjelent Fényes Imre professzor úr fizika szakkört tartani. Az osztályból hárman jelentkezünk fizikusnak.

Az ELTE TTK-n 1967-ben Kádas Sándor és Szalay Sándor társaságában megnyertem az Eötvös Loránd fizikaversenyt. Az egyetemen tudományos diákkörben Mössbauer-spektroszkópiával foglalkoztam, diplomamunkámat mag-mágneses rezonanciából írtam.

Nagyon szép példája ez annak, milyen sokat számít egy-egy kiváló tanár a fiatalok életében. De hogy-hogy nem léptél kutatói pályára, noha akkoriban még viszonylag újdonságnak számító témákkal foglalkoztál az egyetemen?

A diplomamunkámat a Központi Fizikai Kutató Intézetben (KFKI) írtam és később is kerestem az együttműködést az ottani kollégákkal. De én gyakorlatiasabb voltam, és az ERŐKAR a kúszás labort ajánlotta, amelynek munkáihoz bőven társult elmélet is. Ezen felül az ERŐKAR lehetővé tette, hogy képezsem magam: anyagtudományi szakfizikus (ELTE TTK), hegesztő műszaki szakember (Bánki Donát Műszaki Főiskola), anyagtudományi mérnök-fizikus (Miskolci Egyetem – Kossuth Lajos Tudományegyetem) végzettségeket szereztem az anyagvizsgáló tanúsítványokon túl. Változatos, érdekes szakmai pályám volt.

Bizonyára rengeteg vizsgálati tapasztalatot szerezte. Milyen fontos tanulságokat adnál át ezekből a jelen és a jövő anyagvizsgálóinak?

Erre csak Dr. Rittinger Jánost tudom idézni. Ő mondotta, hogy az anyagvizsgálat társas tevékenység. Az AEO anyagvizsgáló tanúsítvánnyal rendelkező mérnök és technikus kollégái közös munkája ért el eredményeket. A feladatot alaposan meg kell ismerni. Ki kell választani a hatékony vizsgálati módszereket. Gondosan kell elvégezni a vizsgálatot és részletesen dokumentálni a vizsgálat módját, az észlelt eltérések helyét, méretét. Nem elég csak egy vizsgálati jegyzőkönyvet kiadni, szakvéleményben részletes magyarázattal kell segíteni a megrendelőt a vizsgálati eredmény helyes értelmezéséhez.

Mi az, ami jó, és mi az, ami rossz irányban változott az anyagvizsgálat területén az elmúlt évtizedekben szerinted?

Amikor én elkezdtem az anyagvizsgáló szakmát, akkor az alkotó tevékenység volt. Elvárták, hogy otthon legyek a szövetszervezetek között, tudjam melyik ötvöző, szennyező mit okoz, ismerjem a roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat is. Tudjam, hogy egy adott problémát milyen eljárások együttes alkalmazásával lehet megoldani. Ha meg akartuk tudni a meghibásodás okát, sohasem álltunk meg a helyszíni roncsolásmentes vizsgálatnál, mindig vitünk mintát a laborba roncsolásos vizsgálatra.

Manapság általános jelenség, hogy a legegyszerűbb lépésekre bontják a munkafolyamatokat, és így az anyagvizsgálat is egy mechanikus tevékenységgé válik. Valahol valaki eldönti, hogy mit és hogyan kell vizsgálni, és az anyagvizsgáló dolga, hogy elvégezze azt. Betanított munkává silányítják a szakmát.

Persze jó is történt: Szabályozott az oktatás, a tanúsítás, vannak magyar nyelvű tankönyvek, vannak akkreditált anyagvizsgáló laboratóriumok, és van az anyagvizsgálóknak elismert szakmai szervezete.

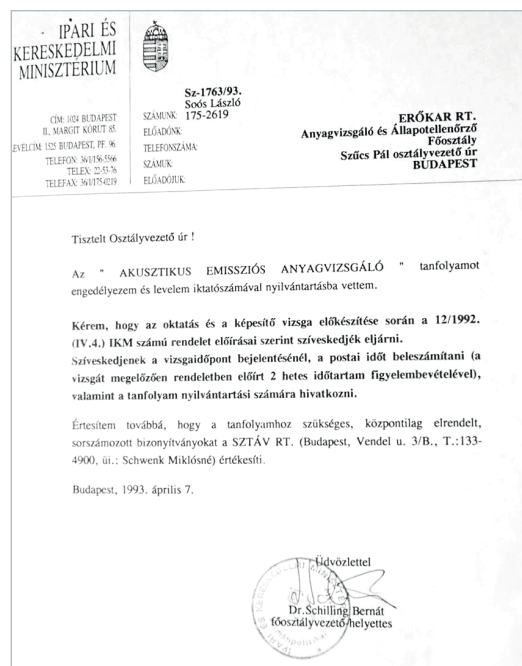
Valóban a specializáció irányában haladt a világ, aminek nyilván több oka volt. Mégis, a 2-es és 3-as szintű roncsolásmentes vizsgálatokat is betanított munkásnak tartod?

Mi itt Magyarországon anyagvizsgáló szakembereket

tanítunk, képzünk. Aztán majd a munkalehetőségei döntik el, hová tud fejlődni, mi válik belőle. Egy akkreditált anyagvizsgáló laboratóriumban biztosan több lehetőséget kap és több tapasztalatot szerez, mint egy nagyüzem gyártósorán.

Egyike vagy azon (viszonylag) keveseknek, akik már a kezdetektől sokat foglalkoztak az akusztikus emissziós vizsgálattal. Kérlek, mondd el a kevésbé jártas olvasóknak, mik ennek az eljárásnak az előnyei, korlátai, mi a „szépsége”!

Hazánkban az akusztikus emissziós vizsgálat (AT) a Paksi Atomerőmű beruházással kapcsolatban, mint a szerkezet korai meghibásodását kimutatni tudó integritásvizsgálat jelent meg. Itt név szerint meg kell említeni Fehérvári Attilát és Dr. Rittinger Jánost (Vasipari Kutató Intézet, VASKUT), Kristyák Ernőt (Erőmű Beruházó Vállalat, ERBE), valamint Dr. Pelionisz Pétert, Péter Attilát és Geréb Jánost (KFKI). Amikor az első hazai akusztikus emissziós készülékek elkészültek, a VASKUT mellett az ERŐKAR kezdte el használni azokat. Meg kell jegyezni, hogy nemzetközi viszonylatban is korán, már 1993-ban tanfolyamot szerveztünk és OKJ-s bizonyítványt adtunk a módszert használóknak.



Az első AE tanfolyam engedélye

Az akusztikus emissziós módszer nehezen volt emészthető a „hagyományos” roncsolásmentes vizsgálatot végzők számára, mivel az általa behatárolt elváltozás jóval az UT és RT érzékenységi szintje alatt van. Mi is az akusztikus emisszió? A Google ezt írja: „Az anyagok terhelés hatására különböző zörejeket bocsátanak ki. Ilyen zörejeket, azaz akusztikus eseményeket válthat ki a repedések terjedése, a kristályrácsban a hibák, azaz a diszlokációk vándorlása, a terhelés hatására kialakuló képlékeny zónák növekedése.” Tehát kicsit szakszerűbben: az akusztikus

emisszió a kristályos anyagokban lévő feszültségek leépülése során fellépő rugalmas hullám, ami néha hallható, de általában a 100 kHz - 800 kHz tartományba esik. Ha megfelelő rezonanciafrekvenciájú érzékelőket (mikrofonokat) kellően sűrűn helyezünk rá a vizsgált szerkezetre, akkor ezen rugalmas hullámok (akusztikus zajok) nem csak észlelhetők, hanem a keletkezési helyük is meghatározható.

Mi is az akusztikus emisszió forrása? Ha terhelek egy szerkezetet, és az bármely pontján kilép a rugalmas tartományból, azaz valahol helyi maradó alakváltozás, helyi megfolyás kezdődik el benne, akkor a diszlokációmozgások révén tovaterjedő rugalmas hullámok alakulnak ki. Ez még messze a szerkezet tönkremenetele előtt lejátszódik. Elég egy pontatlan illesztés szerelésekor, magasabb maradó feszültség egy hegesztés környékén, de ugyancsak forrás lehet egy, a fém mátrixnál ridegebb, makroszkopikus zárvány is.

Az akusztikus emissziós vizsgálat minden, az adott terhelési szinten aktív eltérést kimutat a szerkezetben. De ha a szerkezet olyan részén (például egy tartály emelőfülén) van repedés, zárvány, amelyik a nyomáspróba során nem kap terhelést, akkor azt ezzel a módszerrel nem fogjuk detektálni.

Napjainkban hat akkreditált laboratórium (ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft., Ecotech Nonprofit Zrt., Magyar Tartály Diagnosztikai Laboratórium Kft., MOL Petrolkémia Zrt., MTLAB eXpert Kft., R.U.M. Testing Kft.) foglalkozik akusztikus emissziós vizsgálatokkal.

Apropró „alkotó tevékenység”, nem lenne kíváncsi nagyobb mértékű, hazai kutató-fejlesztő tevékenység az RMV területén? Lehet, hogy csak a megszépítő messzeség miatt, de úgy emlékszem, 30-40 évvel ezelőtt több volt az ilyen irányú erőfeszítés.

Igen, a 70-es, 80-as években a laboratóriumok foglalkoztak kutatás-fejlesztés jellegű tevékenységgel.



Osztravai tartályvizsgálat

Köszönöm ezt az érdekes és – remélem, sok olvasónk számára – tanulságos beszélgetést, amit még tavaly kezdtünk el. Mire befejeztük nem csak új naptárt kellett nyitni, de újév napjától Te magad is eggyel több évet számlálsz, immár 75-öt. Isten éltesen, Pali! Kívánok Neked még sok órányi tanítást és számos szép, békés utazást Rahóra és mindehhez jó egészséget!

Az anyagvizsgáló laboratóriumokban többen dolgoztak, volt idő egy-egy problémát körbejárni. Nem voltunk erre a mostani kapkodásra rákényszerítve. Ez meglátszik azon is, hogy régen a konferenciákon hány előadással, poszterrel szerepeltek a laborok. Véleményem szerint az, hogy manapság nem járjuk részletesen körül az érdekes feladatokat, nem vesszük a fáradságot, hogy a kollégáinkkal megismertessük, megvitassuk az általunk választott megoldást, az a szakma kiüresedéséhez vezet. Jobban meg kéne becsülnünk a saját szakmánkat, igényesebbnek kéne lennünk a kezünkben kiadott munkákat tekintve.

Úgy emlékszem egy korábbi beszélgetésünk alapján, hogy régóta erős kárpátaljai kapcsolatokat ápolsz. Mesélnél erről nekünk?

Évtizedek óta járunk Rahóra. (Rahó neve a vízállásjelentésből lehet ismert, mert az úgy kezdődik, hogy „a Tisza Rahónál...”. Ugyanis ott egyesül a Fehér- és a Fekete-Tisza.) Rahón él egy 1700-2000 fős magyar közösség, ami vasárnapi iskolát és irodalmi kört működtetett. Ebből nőtt ki a magyar óvoda, a magyar általános iskola. A városközpontban Magyarság Háza is van. A Falvak Kultúrájáért Alapítvánnyal ezek tevékenységét támogatjuk adományokkal, jelenléttel és munkával. Sajnos az utóbbi 6-8 évben az erőszakos ukránosítás ezeket a tevékenységeket nagyon megnehezíti, az elért eredményeket tönkreteszi.

Hogyan, mikor jött létre ez az alapítvány? Milyen területeken tevékenykedtek, és miért éppen Rahón (is)?

A Falvak Kultúrájáért Alapítvány küldetése a kulturálisan hátrányos helyzetben lévő településeken és régiókban élők életminőségének fejlesztése, az együttműködő falvak kulturális örökségének ápolása, valamint a nemzet kulturális egyesítése. Az alapítvány adományozza a „Kultúra Lovagja” címet, a Jókai-díjat és tartja fenn a Kultúra Lovagjai emlékparkját. Az alapítvány tevékenységének fontos részét jelentik az alkotóházak. 1996 és 2019 között létrehozta az Adrianus Nemzetközi Alkotóházláncot, melynek tagjai a következők: Bodrogközi Kulturális és Információs Központ (Nagykövesd /Vel'ky Kamenec/, Szlovákia), Aranyossziget - Négyeshatármenti Művelődési Központ (Aranyosapáti, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), Ukrán-Magyar Kulturális, Oktatási és Információs Központ (Rahó, Ukrajna)

Hogy miért éppen Rahó? Nagypapám az első háborúban ott harcolt az oroszok ellen. Én így hallottam először Rahóról. 2000 méter magas hegyek között egy gyönyörű vidék, és ott a Fehér- és a Fekete-Tisza forrása.

Az Óbudai Egyetem Mechanikai Technológia Tanszékének rövid története az alapításától napjainkig

A brief history of the Department of Mechanical Technology at Óbuda University from its foundation to the present

Bevezetés – intézménytörténelmi áttekintés

Trefort Ágoston vallás- és közoktatási miniszter 1877. szeptember 10-én rendelte el a **Budapesti Állami Közép Ipartanoda** létesítését, mely építészeti, gépészeti és vegyészeti szakosztállyal **1879. december 7-én** nyitotta meg kapuit a Bodzafa utca 28. alatt. A tanuló létszám gyors növekedése, a hazai ipar rohamosan bővülő szakemberigényének kielégítése szükségessé tette az intézmény új épületben való elhelyezését. A József körút - Népszínház utca - Csokonai utca által határolt területen felépítendő – az iskola és az iparmúzeum elhelyezésére szolgáló – épület megtervezésére 1885-ben Hauszmann Alajos műegyetemi tanár kapott megbízást. Az épületegyüttes felavatását 1889. szeptember 15-én a tanév megnyitásával egybekötve tartották. A miniszter a Technológiai Iparmúzeum főigazgatójává **Hegedűs Károlyt**, a Közép Ipartanoda igazgatóját nevezte ki.

Az ipartanoda tantervmódosítást követően 1891-től Állami Ipariskolaként folytatta munkáját, majd 1897-ben felsőipariskola címet kapott, Budapesti M. Kir. Állami Felsőipariskola néven folytatta oktatási tevékenységét. Az intézmény fejlődésével, a tanuló létszám bővülésével az iparpolitikai döntéseknek megfelelően a következő évtizedekben számos esetben változott az iskola rendeltetése, képzési funkciója és ezzel összhangban megnevezése is, amit híven tükröz az iskola családfája (2. ábra).



1. ábra: M. Kir. Technológiai Iparmúzeum és Budapesti Állami Közép Ipartanoda közös épülete [2]

Az 1960-as évek elején a műszaki tudományok rohamos fejlődése szükségessé tette a hazai műszaki felsőoktatás fejlesztését. Az egyetemi szintű képzés mellett a szakemberképzés igényeinek kielégítése érdekében új felsőoktatási intézménytípus jött létre, a felsőfokú technikum. A felsőfokú technikumok feladata az ipar, az építőipar, a közlekedés, a mezőgazdaság, a kereskedelem és az egészségügy egyes szakterületei számára korszerű elméleti és gyakorlati felkészültségű, felsőfokú ismeretekkel rendelkező szaktechnikusok képzése. 1962. október 1-jén megalakult a Kormány rendeletére a budapesti Felsőfokú Gépipari Technikum a Bánki Donát Gépipari Technikum Népszínház utcai épületében. Egy évre rá hozták létre az intézményben az ország harmadik Mechanikai Technológia Tanszékét.

A legfontosabb szervezeti változások az alábbiakban foglalhatók össze:

- 1898-ban helyszűke miatt kivált az **Építészeti Szakosztály**,
- 1907-ben az **Iparmúzeum** teljes önállóságot kapott. A „**Technológia**” **Könyvtárból** alakult meg az Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár,
- 1912-ben a **Vegyészeti Szakosztály** vált ki,
- 1942-ben kivált a **Faipari Szakosztály**,
- 1947-től **Műszaki Középiskolaként**, illetve **Technikumként** működött,
- Bánki Donát Gépipari Technikumot 1962-ben **Felsőfokú Technikummá** szervezték,
- 1969-ben létrejött a **Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola**,
- 1991-től **Bánki Donát Műszaki Főiskola**,
- 2000. január 1-jei hatállyal létrehozták az integrált **Budapesti Műszaki Főiskolát**,
- 2010. január 1-jén megalakult az **Óbudai Egyetem**.

A rövid intézménytörténeti áttekintés végén álljon itt egy közel 110 évvel ezelőtti idézet, melyet Hegedűs Károly, a



2. ábra: Az Ipartanodától a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskoláig

Felsőipariskola igazgatója 1914-ben, nyugdíjba vonulása-kor írt jelentésében:

„Múlhatatlanul szükséges minél előbb gondoskodni az intézet mai fejlettségének és még várható fejlődésének megfelelő új épületről. Ez az intézet ebből, a már ósdivá lett szűk épületből kinőtt és a kifejlődött nagy utcai forgalom folytán környéke is annyira állandóan zajossá lett, hogy ez az épület napi 8–10 órai tanításnak – amely benne folyik – céljaira tovább nem alkalmas. Nem volna alkalmas még akkor sem, ha az iskola a Technológiai Iparmúzeum épületét is átvinné...” [3]

A Mechanikai Technológia Tanszék létesítése

A 83 évig tartó középfokú szakemberképzést követően a 12/1962. kormányrendelet megjelenése után kezdődött meg az áttérés a műszaki felsőoktatásra. A rendelet 1. §-a meghatározta a felsőfokú technikumok feladatát, ennek melléklete a Kohó- és Gépipari Minisztérium (KGM) felügyelete alá rendelte az új budapesti Felsőfokú Gépipari Technikumot (FGT). Az intézmény a Bánki Donát Gépipari Technikum Népszínház utca 8. alatti épületében kezdte meg működését. Az első tanévben esti tagozaton gyártástechnológia és üzemszervezési szakon indult meg a képzés 1962. október 1-jén. A kezdeti időszakban a Felsőfokú Technikumnak három főállású tanára volt, Gáti Zoltán igazgató, Fekete István és Selmeczi Ferenc tanszékvezető tanárok.

1963-ban kapott megbízást a Mechanikai Technológia Tanszék létesítésére és vezetésére **Dr. Vojnich Pál**, a Ganz-Mávag Mozdony-, Vagon- és Gépgyár Anyagvizsgáló és Technológiai Kutató Laboratórium vezetője másodállásban, akit 1964. áprilisában Dr. Horgos Gyula KGM miniszter mellékfoglalkozásként felsőfokú technikum tanárrá nevezett ki.



3. ábra: Dr. Vojnich Pál

Fő feladata a tanszéki oktatás megszervezése, új oktatók felvétele, a profilba tartozó szaktárgyak elméleti és gyakorlati képzésének kialakítása, jegyzetek megírása és megíratása volt.

Az FGT Mechanikai Technológia Tanszék megalakulását követően az oktatási feladatokat többségében a BME Mechanikai Technológia Tanszék oktatói óraadóként látták el, így Reé András, Czoboly Ernő, Havas István, Becker István, Skriba Zoltán biztosította szaktárgyak oktatását. Hozzájuk csatlakozott 1964-ben szintén óraadóként Márton Tibor, a KGM Oktatási Főosztály munkatársa. A tanszék első főállású oktatója Dévényi Györgyné (1964) volt, hozzá csatlakozott 1966-ban Czinege Imre, és



Dévényi Györgyné



Czinege Imre



Libertiny Gáborné



Kovács Mihály



Márton Tibor



Fücsök Ferenc



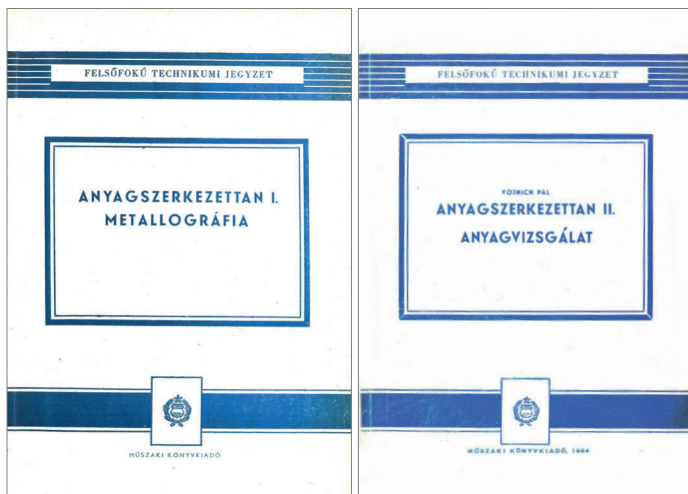
Kovács Ágoston

4. ábra: Mechanikai Technológia Tanszék első főállású oktatói [7]

Libertiny Gáborné, 1967-ben Kovács Mihály és Márton Tibor, 1968-ban Fücsök Ferenc, illetve 1969-ben Kovács Ágoston. 1966-tól néhány éven keresztül a Vasipari Kutató Intézet munkatársai is – elsősorban Verő Balázs, Bacskai Antal, Gergely Márton és Tardy Pál – tevékeny szerepet vállaltak az oktatási feladatok ellátásában.

Vojnich Pál kiemelkedő érdeme, hogy a tantervek és tananyagok, valamint a laboratóriumi háttér megteremtése során nem „kis egyetemi” programot valósított meg, hanem gyakorlatorientált képzés kialakításával az üzemi feladatok megoldására képes szakemberek képzését tűzte célul és teremtette meg. Megírta a Tanszék első „Felsőfokú Technikumi jegyzetét”, melybe bevonta a további szakterületek oktatóit is:

- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan I. Metallográfia (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.),
- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan II. Anyagvizsgálat (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.),
- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan III. Szerkezeti anyagok (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Vojnich Pál: Hőkezelés, (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Becker István: Hegesztés, (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Skriba Zoltán: A fémek képlékeny alakításának technológiája (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.).



5. ábra: Az első tanszéki jegyzetek, Műszaki Könyvkiadó, 1964

A Tanszék munkatársai a szakmai ismereteiket tanfolyami képzés keretében is kamatoztatták, évente 12-12 láng- és ívhegesztő-, illetve alumíniumhegesztő-, valamint 2-2 durvaszerkezeti röntgen és izotópos tanfolyamot szerveztek.

1967-ben a Kohó- és Gépipari Minisztérium az FGT Mechanikai Technológia Tanszék vezetésével mellékfoglalkozásban, majd később főállásban Márton Tibor felsőfokú tanárt bízta meg. A középfokú technikusképzés kifutó évfolyama 1968-ban végzett az iskolában és ezután teljesen a „felsőfokú képzés” vette birtokába az épületet. Az 1965 és 1969 között jelentős épület-átalakításokat, bővítéseket végeztek: a középiskolai osztálytermekből

előadótermeket, gyakorló-tantermeket és laboratóriumokat hoztak létre, megépítették a nagy előadótermet, több mint 20 laboratóriumot alakítottak ki. A tanszéki oktatási rendszer megerősítésével, szakok és ágazatok tanterveinek kidolgozásával, a tantárgyprogramok korszerűsítésével, a tananyagok rendszerezésével készült az intézmény a váltásra.

A Tanszék fejlődése a főiskolai képzés kialakítása

Az Elnöki Tanács 1969. évi 25. számú törvényerejű rendelete (1969. augusztus 31.) intézkedett a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola létesítéséről [4]. A rendelet szerint

„A budapesti Felsőfokú Gépipari Technikumot műszaki főiskolává kell átszervezni. A műszaki főiskola elnevezése: Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola. A Főiskola feladata

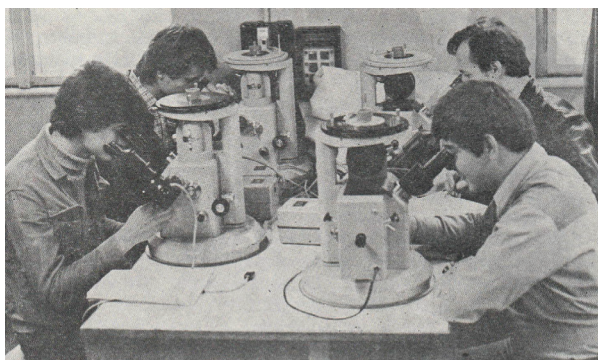
- a gépipari gyártás műszaki előkészítésének,
 - a gyártási folyamatának tervezésének,
 - az egyszerűbb gyártóeszközök tervezésének és gyártásának,
 - a gyártó-szerelő üzemek vezetésének és szervezésének,
 - a termelés programozásának és irányításának,
 - a termelést kiszolgálóüzemek irányításának és gépi berendezései üzemeltetésének
- irányítására alkalmas műszaki szakemberek képzése.”

A főiskola indításakor oktató-nevelő és a tudományos-kutató tevékenység hét tanszéken, köztük a **Mechanikai Technológiai Tanszéken** kezdődött meg. 1969. szeptember 1-től a Tanszék vezetőjévé Márton Tibor főiskolai tanárt nevezte ki Dr. Polinszky Károly művelődésügyi miniszterhelyettes.

A főiskola indításakor az oktató és a tudományos-kutató tevékenység hét egységben, – így a Gépgyártástechnológia-, a Gép- és Gépszerkezetan-, a **Mechanikai Technológia**-, a Műszaki Alaptárgyi-, a Rendszerszervezési-, a Természettudományi-, valamint a Társadalomtudományi **Tanszéken** – kezdődött meg. A képzés **gépgyártástechnológia**-, általános gépész-, rendszerszervező-, és műszaki tanár szakon folyt. A Tanszék fő oktatási területe a gépgyártástechnológia forgács nélküli alakítás ágazatos hallgatók képzése. A **sza-**
kon oktatott tárgyak:

- Anyagszerkezetan I. – Metallográfia,
- Anyagszerkezetan II. – Anyagvizsgálat,
- Anyagszerkezetan III. – Szerkezeti anyagok technológiája,
- Hőkezelés,
- Hegesztés (technológiája),
- Forgácsnélküli alakítás technológiája,
- Forgácsnélküli alakítás gépei voltak.

Az általános gépész szakon a „Fémek technológiája” tantárgy keretében került ismertetésre a „Metallográfia”, az „Anyagvizsgálat”, a „Szerkezeti anyagok” és a „Hőkezelés”. A rendszerszervező és a műszaki tanár szakon „Anyagismeret és technológia” tantárgy összegezte az ismereteket.



6. ábra: Hallgatói gyakorlat a metallográfiai laborban

1972-ben kezdődött a **Hegesztő Műszaki Szakemberek Továbbképző Tanfolyama**, melynek során 252 elméleti és 64 gyakorlati foglalkozást követően a résztvevőknek 5 óras írásbeli, majd szóbeli vizsgát kellett tenniük három tantárgyból: anyagismeret-anyagvizsgálatból, hegesztéstechnológiából és hegesztett szerkezetekből. A képzés iránti igényt jelezte, hogy 1972 és 1975 között 20 tanfolyam került lebonyolításra, melyen 700 fő vett részt, ebből 564 fő (80%) szerzett képesítést.

A főiskola 1979-ben, az intézmény alapításának 100. évfordulója alkalmából kiadott évkönyve az alábbiakban foglalta össze a Tanszék tevékenységét [5].

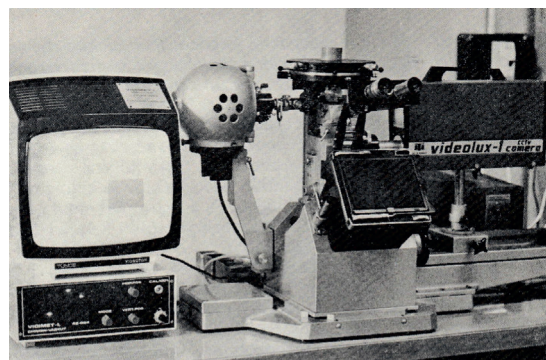
„A tanszék a főiskola hallgatóival a hároméves képzési idő alatt kontaktusban van. A hallgatók az első félévtől az utolsóig minden szemeszterben hallgatnak valamilyen tantárgyat a tanszék előadásában. A tanszék célja, hogy oktatásának hat féléven keresztül alapos elméleti és gyakorlati felkészültséget nyújtson a főiskola hallgatóinak a fém anyagok szerkezetét, ezzel összefüggő tulajdonságait, kezelhetőségét és gazdaságos felhasználását illetően.

További feladatként megismerteti a hallgatókkal a korszerű hőkezelési, hegesztési, képlékeny alakítási folyamatokat, ezek tervezését, valamint gyakorlati kivitelezését.”

1979-ben a Mechanikai Technológiai Tanszék oktatói: Berecz András tanársegéd, Dr. Czinege Imre docens, Dévényi Györgyné docens, Fücsök Ferenc adjunktus, Horváth László tanársegéd, Dr. Kisfaludy Antal docens, Kovács Ágoston docens, Kovács Mihály adjunktus, Libertiny Gáborné tanár, Dr. Márton Tibor tanszékvezető tanár, Dr. Poprócsi István docens, Rozsnoki László tanársegéd, Dr. Sárossy György adjunktus, meghívott előadók: Skriba Zoltán nyugdíjas főmérnök, Dr. Vojnich Pál főmérnök, Mátay László főmérnökhelyettes.

A felsőoktatás fejlesztéséről szóló kormányzati intézkedések eredményeképpen a főiskola a szakosodási rendjét megtartva 1983-84-es tanévtől kezdődően új tanterveket vezetett be. A Mechanikai Technológiai Tanszék munkatársai a *Fémten és hőkezelés*, a *Fémten és technológia*, a *Forgácsnélküli alakítás technológiája*, a *Hegesztés*, valamint a *Forgácsnélküli alakítás gépei* tantárgyakat oktatták.

Az 1985-86-os tanévben lezárult az új tanterv első ciklusa, a tapasztalatok, a felsőoktatás távlati fejlesztési



7. ábra: Vidimet típusú szövetelem mérő berendezés

konceptiója és a főiskola hosszú távú fejlesztési terve alapján kidolgozott képzési tagozódás valamennyi szakot érintette, így a Gépgyártástechnológia szak korábbi két ágazata hatra bővült az alábbiak szerint

- Forgácsoló ágazat,
- **Forgácsnélküli alakító ágazat**,
- Gyártóeszköz-szerkesztő ágazat,
- NC technológus ágazat,
- Gyártásszervező ágazat,
- **Hőkezelő-hegesztő ágazat.**

1987. július 1-jétől átalakult az intézmény szervezete, a korábbi kilenc tanszék helyett négy **vertikális intézet** kezdte meg működését. A Mechanikai Technológia Tanszék megszűnt, a Gépgyártástechnológiai Intézet szervezetén belül – a korábbi tanszéki szakosodási rendszernek megfelelő – két szakcsoport Dr. Kisfaludy Antal vezetésével a **Fémteni**-, és Dr. Czinege Imre intézeti kutatási igazgatóhelyettes irányításával a **Forgácsnélküli alakítási Szakcsoport** jött létre. Dr. Angyal Béla főigazgató Dr. Márton Tibor főigazgató-helyettségé, Dr. Gáti Józsefet Pusztai Ferenc, a Művelődési Minisztérium miniszterhelyettese, a főiskola főtitkárává nevezte ki.



8. ábra: Dr. Czinege Imre
intézeti kutatási
igazgatóhelyettes



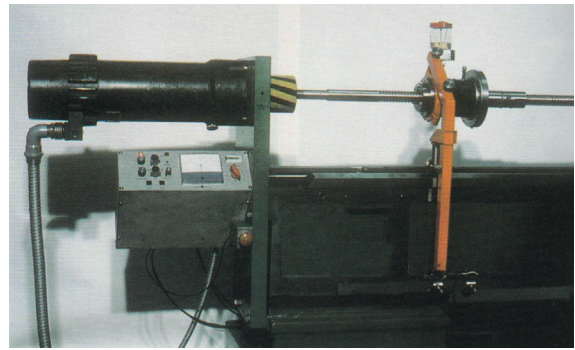
9. ábra: Dr. Gáti József
BMF főtitkár

A Fémteni szakcsoport keretében a Metallográfiai-, a Hőkezelési-, a Fárasztó-, valamint a Hegesztő laboratórium, míg a Forgácsnélküli alakítási Szakcsoportéhoz a Képlékeny alakítás-, a Méréselőkészítő-, a Műanyag-, a CAD számítógép laboratórium, és a Szerszámlőkészítő műhely tartozott.

A tanszéki szervezet kialakítása, a főállású oktatók alkalmazása, a képzési programok és a tananyagok, a tankönyvek kidolgozása mellett az 1970-es évektől egyre bővülő kutató-fejlesztő tevékenység folyt, melynek eredményei megmutatkoztak a szabadalmi tevékenységben. 1970. és 1990. között az alábbi találmányok születtek (az Lsz. számmal jelzettek szabadalmi oltalmat is kaptak):

- Eljárás golyóscsapágyacélok minősítésére különleges felületi fásasztó-berendezéssel (1972). Lsz.: 161419.
- Eljárás gyorsacélok termomechanikus kezelésére (1975). Lsz.: 170697.
- Betétedzett alkatrészek minősítése mechanikai anyagvizsgálatokkal (1977). Lsz.: 171531.
- Berendezés gördülő felületi igénybevételnek kitett alkatrészek élettartam tulajdonságainak vizsgálatára (1978). Lsz.: 177550.
- Berendezés sík lemezek vágására oldalirányú elfolyatással (1978). Lsz.: 177170.
- Berendezés munkadarabok gyártására hidegfolyatással, alakításkor záródó üreges szerszámban (1978). Lsz.: 176750.
- Univerzális anyagvizsgáló berendezés (1983).
- Mérőberendezés volfrám huzalok üzem közbeni alakító erő vizsgálatára (1984).
- Képlékeny alakító eljárás és szerszám (1986). Lsz.: 202648.
- Eljárás és berendezés energiatermelő atomreaktorban besugárzott próbatest tartó tokok bontására (1987).

Az oktatási profil bővítésével 1991-ben az intézmény nevéből a "gépipari" jelző kimaradt, a Bánki Donát Műszaki Főiskola átszervezésével visszaállításra került a **tanszéki oktatási rendszer**, az önálló szervezet az **Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék** nevet vette fel. A Főiskola főigazgatójának **Dr. Czinege Imrét** nevezték ki, a Tanszék vezetését **Dr. Kisfaludy Antal** vette át, aki 1971-ig a Vasipari Kutató Intézet laborvezetője volt. 1997-es nyugdíjba vonulását követően a Tanszék vezetője **Dr. Czinege Imre** lett.



11. ábra: A Tanszéken kifejlesztett golyósorsó fásasztó berendezés [6]

A szerkezeti és szerszámanyagok, valamint a technológiák fejlődése a fémek anyagokra koncentrált oktatás kiterjesztését igényelte a polimerek, a kerámiák és a kompozitok irányába. Emellett a szakok köre is bővült, bevezetésre került a műszaki menedzser, a biztonságtechnikus, valamint az informatikus képzés, melyek a hagyományos mechanikai technológia oktatás tematikájának átdolgozását, új tananyagok kidolgozását tette szükségessé.

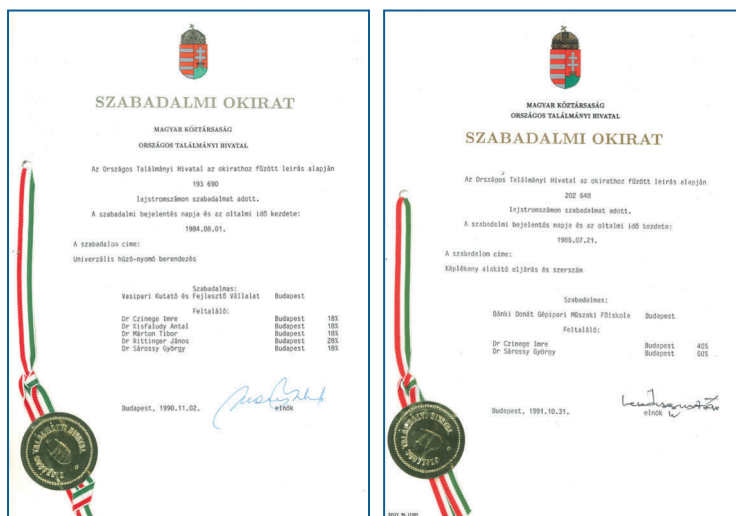
Tárgy neve	Tárgyfelelős
Anyagtudomány I-II.	Dr. Réger Mihály
A gyártástechnológia alapjai I.	Dr. Kisfaludy Antal
Kötés- és alakítástechnológia	Dr. Kovács Mihály
Kötéstechnológia	Dr. Sárossy György
Alakítástechnológia és gépei	Dr. Gáti József
Anyagtechnológiák számítógépes tervezése és irányítása	Dr. Horváth László
Termelési folyamatok I.	Dr. Réti Tamás
Gyártási eljárások	Bagyinszki Gyula
Anyag- és gyártásismeret	Dr. Gáti József
Anyagtechnológiai informatika	Dr. Kovács Mihály
Anyag- és gyártásismeret I-II. (angol nyelvű képzés)	Dr. Réti Tamás
Mérnöki anyagok (angol nyelvű képzés)	Dr. Czinege Imre
Anyag- és gyártásismeret III. (angol nyelvű képzés)	Dr. Réger Mihály
	Dr. Réti Tamás

12. ábra: A tanszéki képzési program új tárgyai és tantárgyfelelősei

A korszerűsített tananyagok megkövetelték az új főiskolai jegyzetek megírását és kiadását.

Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réger Mihály, Tóth László: Szerkezeti anyagok I-III., 1994.
Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réti Tamás, Tóth László: Anyagtechnológia I., 1994.
Dr. Gáti József, Dr. Horváth László, Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réger Mihály, Tóth László: Anyagtechnológia II., 1994.
Dr. Horváth László: Képlékenyalakító technológiák elméleti alapjai, 1998.
Bagyinszki Gyula: Anyagismeret és minősítés, 1996.
Bagyinszki Gyula: Forgácsolási anyagtechnológiák, 1999.
Dr. Horváth László: Képlékenyalakítási alapfeladatok elemzése a képlékenységtan módszereivel, 1997.
Dr. Gáti József, Dr. Kovács Mihály: Kötéstechnológiák, 1999.

13. ábra: 1990-1999. között készült új jegyzetek [6]



Univerzális húzó-nyomó berendezés Képlékeny alakító eljárás és szerszám
10. ábra: Szabadalmi okiratok

Ezen időszakban meghatározóvá vált a nemzetköziesítés térnyerése, mely a kétoldalú kapcsolatok fejlesztése mellett új képzési modell bevezetésére, illetve az intézményi menedzsment fejlesztésére irányuló nemzetközi projektekkel valósult meg. Az 1990-es évek nemzetközi projektjei az alábbiak:

- **Implementation of Integrated Engineering Degree Programme at Hungarian Higher Education Institutes. 1993-1996.** TEMPUS SJEP 3145. Az Integrált Mérnök képzés főiskolai (BEng) szintjének bevezetése a BDMF, GAMF, SZIF főiskolákon és egyetemi (MEng) szintjének adaptálása a BME-n. Külföldi partnerek: The Nottingham Trent University, Polytechnic Milano.
- **Strengthening Inter-College Cooperation in Hungary. 1993-1995.** Holland-magyar felsőoktatás menedzsment program és szeminárium sorozat. Külföldi partner: HOBEON Group.
- **Implementation of Quality Assurance System in Three Hungarian Polytechnics. 1994-1996.** TEMPUS SJEP 08006-94. Minőségbiztosítási rendszer kidolgozása a BDMF-n, GAMF-on és a SZIF-en. Külföldi partnerek: Dalarna University, Groningen Polytechnic, Polytechnic Madrid.
- **Integrated Undergraduate Training for Engineers. LEONARDO HU/97/1/43003.** Tantervek, minőségbiztosítási rendszer és technológiai felmérés a gépész- és informatikai főiskolai mérnökképzéshez. Külföldi partnerek: Dalarna University, Mayo Institute of Technology, The Nottingham Trent University.

Ezekkel párhuzamosan folyt az angol nyelvű képzési programok, tananyagok kidolgozása és az idegennyelvű képzések beindítása. Az évtized utolsó éveiben a főiskola átlagos hallgatói létszáma 985-1110 fő között mozgott.

1993-ban – az Európai Hegesztési Szövetség irányelvei alapján – a hegesztő műszaki szakember képzés tanterve átdolgozásra került. Az óraszám 340 órára emelkedett és a képzés **hegesztőtechnológus** néven bekerült az Országos Képzési Jegyzékbe.

Az Európai Hegesztési Szövetség (EWF) akkreditációja és felhatalmazás alapján 1999-től **elsőként indult európai hegesztő technológus (European Welding Technologist - EWT)** képzés a Tanszéken. 2023-ig 24 tanfolyam került megszervezésre, melyen 570 fő szerzett képesítést [10].



15. ábra: Hazánk első Európai Hegesztőtechnológus diplomát szerzett szakembereinek csoportja Dr. Kovács Mihály tanfolyamvezetővel [6]

Az integrált intézményi modell – a Budapesti Műszaki Főiskola

A Magyar Országgyűlés a felsőoktatási intézményhálózat átalakításáról hozott 1999. évi LII. törvényének megfelelően - a Bánki Donát Műszaki Főiskola, a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola és a Könnyűipari Műszaki Főiskola integrációjával - 2000. január 1-jével megalakult a Budapesti Műszaki Főiskola.

Az integrációs folyamattal egyidejűleg zajló, tisztán szakmai alapon megvalósuló kari akkreditáció eredményeképpen a főiskola ötkarú oktatási intézménnyé alakult át, így a képzési és kutatási tevékenység a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar, a Kandó Kálmán



14. ábra: Az európai hegesztő technológus képzés EWF tanúsítványa

A Budapesti Műszaki Főiskola Alapító Okirata

A Budapesti Műszaki Főiskola (a továbbiakban: intézmény) részére az államháztartásról szóló 1992. évi XXXVIII. törvény 88. §-a, valamint a felsőoktatásról szóló 2005. évi CXXXIX. törvény (a továbbiakban: Ftv.) 16. §-ának (1) bekezdése és a 115. § (2) b) pontja alapján az alábbi alapító okiratot adom ki.

A felsőoktatási intézményhálózat átalakításáról, továbbá a felsőoktatásról szóló 1993. évi LXXX. törvény módosításáról szóló 1999. évi LII. törvény rendelkezései alapján 2000. január 1-jei hatállyal létrehozott intézmény három, több mint 100 éves iparoktatási múlttal rendelkező jogelődje:

- a Bánki Donát Műszaki Főiskola, amely a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola létesítéséről szóló 1969. évi 25. sz. tvr. és a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola irányításáról, képzési idejéről, valamint a budapesti Felsőfokú Gépipari Technikum átszervezésével kapcsolatos átmeneti intézkedésekről szóló 1033/1969. (VIII. 31.) Kormány számú határozat alapján létesült – Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola néven –, a budapesti Felsőfokú Gépipari Technikum átszervezésével;
- a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, amely a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola létesítéséről szóló 1969. évi 6. sz. tvr. és a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola kari tagozódásáról, képzési idejéről és irányításáról szóló 1007/1969. (III. 4.) Kormány számú határozat alapján jött létre – Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola néven –, a Felsőfokú Híradás- és Műszeripari Technikum és a Felsőfokú Villamosgépipari Technikum egyesítésével; és
- a Könnyűipari Műszaki Főiskola, amely a Könnyűipari Műszaki Főiskola létesítéséről szóló 1972. évi 16. sz. tvr. és a Könnyűipari Műszaki Főiskola irányításáról, képzési idejéről, valamint a Felsőfokú Könnyűipari Technikum átszervezésével kapcsolatos átmeneti intézkedésekről szóló 1035/1972. (VIII. 27.) Mt. h. számú határozat alapján létesült, a Felsőfokú Könnyűipari Technikum átszervezésével.

16. ábra: A Budapesti Műszaki Főiskola Alapító okiratának részlete [7]

Villamosmérnöki Főiskolai Kar, a Keleti Károly Gazdasági Főiskolai Kar, a Neumann János Informatikai Főiskolai Kar, valamint a Rejtő Sándor Könnyűipari Mérnöki Főiskolai Kar keretében folyt. A hallgatói létszám 2000-ben 9077 fő volt, melyből a Gépészmérnöki Főiskolai Karon 1096-an folytattak tanulmányokat [8].

A főiskola a Bologna folyamat megvalósításának első lépéseként megkezdte a felkészülést az új kétciklusú felsőoktatási képzési rendszerre történő áttállásra. Kidolgozásra kerültek a kredit-tantervek, megtörtént a Neptun egységes tanulmányi rendszer bevezetése, a 2002/2003. tanév indításával az új tantervek alkalmazásával indult meg a képzés.

A Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Karon az oktatás **gépészmérnöki, mérnök-tanár**, valamint **biztonságtechnikai szakon** folyt. A képzés időtartama általában 6 félév, a biztonságtechnika szakon 7 félév, a mérnök-tanár szakon 8 félév. A gépészmérnöki szakon autotechnika-, CAD/CAM, gépszerkesztő-tervező, és üzemeltető szakirányon folyt képzés. A mérnöki szak mellett 2 éves gépipari mérnökasszisztens szak is indult, melynek sikeres elvégzése után, továbbtanulás esetén egy év a főiskolai képzésbe beszámításra került.

A kari szervezet intézeti rendszerben került kialakításra. A gépészmérnöki szak **CAD/CAM szakirányát** gondozó **Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet** keretében – tudományterületi tagozódásnak megfelelően – két intézeti tanszék tevékenykedett. Az **Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék** oktatási tevékenysége az anyagtudomány, a kötés- és alakítástechnológia, az alakítástechnológia és gépei, az anyagtechnológiák számítógépes tervezése területére terjed ki. Kutatási területei közül kiemelhető a kvantitatív metallográfia, a kristályosodási folyamatok vizsgálata, az anyagvizsgálati célú eszközök fejlesztése és gyártása, a fémtani, hőkezelési és hegesztési folyamatok számítógépes tervezése témakörök.

2002-ben indította a Tanszék az első 222 óraszámmú európai hegesztő specialista (European Welding Specialist - EWS) képzést. 2023-ig 18 tanfolyamon 310 fő kapott képesítést.



17. ábra: ÓE-BGK-CLOOS Robothegeztő Laboratórium

Az integrált főiskola főtitkára Dr. Gáti József főiskolai docens, az Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet igazgató-helyettese Dr. Réger Mihály főiskolai tanár, Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék vezetője Dr. Sárossy György lett. 2002-ben Dr. Czinege Imre egyetemi tanárt a Széchenyi István Egyetem rektorának nevezték ki. Az **Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék főállású oktatói** (2004.07.01.):

- | | |
|------------------------|---------------------|
| • Dr. Bagyinszki Gyula | főiskolai docens |
| • Borossay Béla | tanszéki mérnök |
| • Dr. Czinege Imre | egyetemi tanár |
| • Dr. Gáti József | főiskolai docens |
| • Dr. Horváth László | főiskolai docens |
| • Dr. Kisfaludy Antal | főiskolai tanár |
| • Dr. Kovács Mihály | főiskolai docens |
| • Kovács Tünde | főiskolai adjunktus |
| • Dr. Réger Mihály | főiskolai tanár |
| • Dr. Réti Tamás | egyetemi tanár |
| • Dr. Sárossy György | főiskolai docens. |

2007-ben a tananyag korszerűsítés során új tantervek készültek, a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar képzési kínálatát az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat: A főiskolai kar képzési programja

Szak	Szakirányok
Biztonságtechnikai mérnöki MSC	biztonságtechnikai-rendszer tervező biztonságvédelmi-rendszer szervező
Gépészmérnöki	CAD-CAM-CNC Géptervezés Járműtechnika
Had- és biztonságtechnikai mérnöki	Biztonságtechnikai
Mechatronikai mérnöki (angol nyelven is)	Nanotechnika Robot rendszerek
Mérnök-tanári 9 vagy 10 féléves képzés – a szakiránytól függően	Had- és biztonságtechnikai mérnök szakos tanár Gépészmérnök szakos tanár Könnyűipari mérnök szakos tanár Műszaki informatika szakos mérnök-tanár Műszaki menedzser szakos tanár
Kiegészítő mérnök-tanár (távoktatási formában)	
Műszaki szakoktató (csak levelező tagozaton)	
Gépipari mérnökasszisztens	

A mesterképzés megindításával 2007. januárjától a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar új megnevezése Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar lett. Dr. Gáti József kancellári kinevezést kapott, Dr. Réger Mihály a Kar dékánhelyettese lett. Az Anyag- és Alakítástechnológiai Tanszék Szakcsoportként folytatta tevékenységét, vezetője Dr. Bagyinszki Gyula, majd 2010-től Dr. Kovács Mihály [9].



Dr. Sáróssy György



Dr. Bagyinszki Gyula



Dr. Kovács Mihály

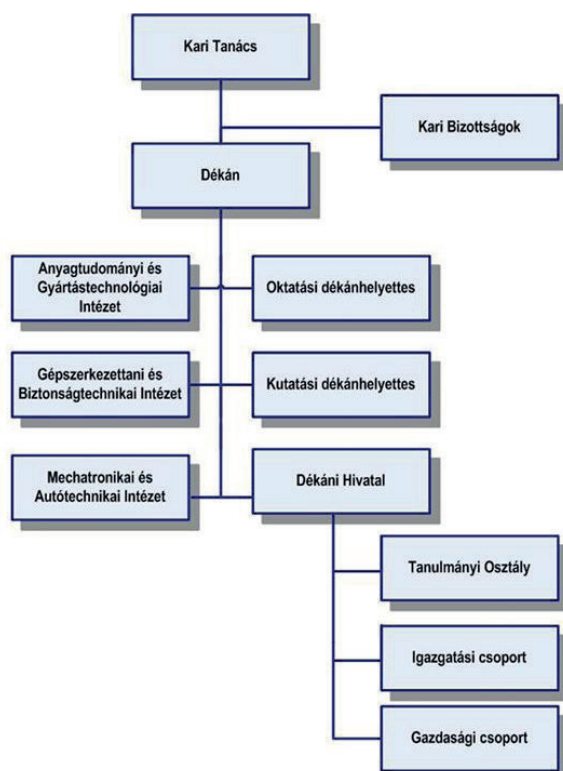
18. ábra: Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék/Szakcsoport vezetői

Óbudai Egyetem 2010. január 1.

Az Országgyűlés 2009. november 23-án elfogadta a felsőoktatásról szóló 2005. évi CXXXIX. törvény módosításáról szóló törvényjavaslatot, miszerint

45. § „Az Ftv. 1. számú mellékletében az „Állami egyetemek” alcím az „Óbudai Egyetem, Budapest”, továbbá ... szövegrésszel a magyar abc által meghatározott felsorolás rendje szerint egészül ki.”

49. § „Hatályát veszti az Ftv. 1. számú mellékletében az „Állami főiskolák” alcím „Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest”... szövegrésze.”



19. ábra: A Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar szervezete

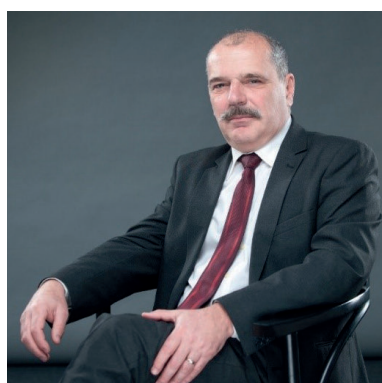
A megalakuláskor az Egyetem oktatási-kutatási és tudományos szervezete öt karból, két oktatási feladatok ellátó központból, két tudásközpontból, valamint egy

doktori iskolából (Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola) állt. A Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar továbbra is intézeti rendszerben biztosította a képzés és tudományos kutatás feltételeit. Az Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet szakcsoportokra tagozódott, nevezetesen

- Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport, és
- Gyártástechnológiai Szakcsoport keretében folytatta tevékenységét.

2015-ben az intézeten belül a szakcsoportok intézeti tanszékké szerveződtek, majd 2022-ben az intézet megnevezése is megváltozott Gépészeti és Technológia Intézetre.

Napjainkban feladatainkat a Gépészeti és Technológia Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék keretében látjuk el. Az Anyag- és Gyártástudományi Intézet igazgatói feladatait 2011. és 2015. között Dr. Réger Mihály professzor látta el, aki egyben az Egyetem tudományos rektorhelyetese volt 2016-ig. Réger professzor 2016-2019 között az Óbudai Egyetem rektora, 2020-tól az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola vezetője.



20. ábra: Prof Dr. Réger Mihály rektor 2016-2019



21. ábra: Dr. Gáti József általános rektorhelyettes 2016-2019



22. ábra: Dr. Rác Pál az Anyag- és Gyártástudományi Intézet igazgatója 2015-2016 között, aki egyben ellátta az Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport vezetését is



23. ábra: Dr. Pinke Péter 2016-tól az Anyag- és Gyártástudományi Intézet, majd 2022-től a Gépészeti és Technológia Intézet igazgatója napjainkig



Dr. Kovács Tünde Anna
2016-2020



Dr. Ráthy Istvánné
2020-2023



Gonda Viktor
2023. szeptember 1-től

24. ábra: Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék/Szakcsoport vezetői

Az integrált intézmény létrehozása óta alap- és mesterképzés tantervei folyamatos fejlesztés alatt állnak, a szervezeti egységek által megfogalmazott változtatási igények alapján átdolgozott egyes változatokat betűjelzéssel jelzik. Az új tantervek felmenő rendszerben kerülnek bevezetésre. Az E-tanterv szerinti képzés az első évfolyamon 2017. szeptemberében indult. Az Anyagtechnológiai

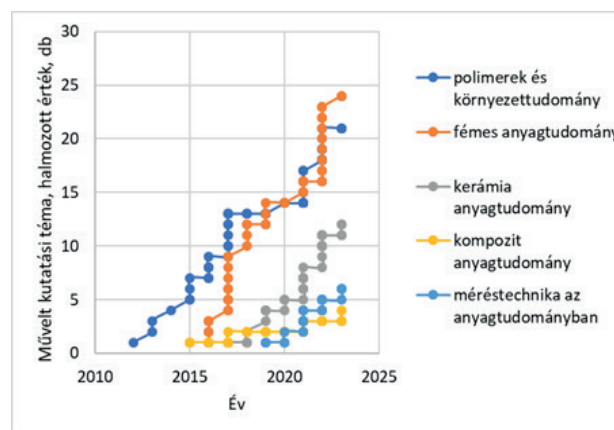
2. táblázat: Az ATT által oktatott tárgyak és tárgyfelelősök

Tárgy neve	Tárgyfelelős
Gépészmérnöki BSc szak	
Anyagtechnológia alapjai	Dr. Pinke Péter
Anyagok és technológiák I.	Prof. Dr. Réger Mihály
Anyagok és technológiák II.	Dr. Pinke Péter
Autóipari kötés- és alakítástechnológia	Dr. Kovács Tünde
Alakítástechnológia és gépei I.	Dr. Gonda Viktor
Alakítástechnológia és gépei II.	Dr. Gonda Viktor
Kötéstechnológia	Dr. Kovács Tünde
Kötés- és Alakítástechnológia	Dr. Kovács Tünde
Anyagtechnológiák számítógépes tervezése	Dr. Mucsi András
Hegesztés gépesítése és automatizálása	Dr. Bagyinszki Gyula
Hegesztett szerkezetek tervezése	Dr. Kovács Tünde
Különleges megmunkálások	Dr. Gonda Viktor
Korszerű technológiák	Dr. Gonda Viktor
Korszerű felületnemesítő eljárások	Dr. Bagyinszki Gyula
Gépészmérnöki MSc szak	
Anyagtudomány	Prof. Dr. Réger Mihály
Korszerű anyagtechnológiák	Dr. Pinke Péter
Hegesztéstechnológiák I.	Dr. Bagyinszki Gyula
Hegesztéstechnológiák II.	Dr. Bagyinszki Gyula
Hőfolyamatok és modellezésük	Dr. Felde Imre
Hegesztetőség és anyagvizsgálat	Dr. Kovács Tünde
Termikus vágás és bevonatolás	Dr. Bagyinszki Gyula
Különleges hegesztő-eljárások	Dr. Kovács Tünde
Hegesztett szerkezetek és méretezésük	Dr. Barányi István
Korszerű felületnemesítő eljárások	Dr. Bagyinszki Gyula
Mechatronika mérnöki BSc	
Mérnöki anyagok	Dr. Bagyinszki Gyula
Anyagtechnológia alapjai	Dr. Bagyinszki Gyula
Anyagtechnológia	Dr. Bagyinszki Gyula
Mechatronika mérnöki MSc	
Anyagtudomány	Prof. Dr. Réger Mihály
Biztonságtechnikai mérnöki BSc szak	
Anyagismeret	Dr. Fábíán Enikő Réka

Intézeti Tanszék által az **E-tanterv szerint magyar nyelven oktatott tárgyakat** és azok tantárgyfelelőseit a 2. táblázat foglalja össze.

A fentiek mellett közreműködünk a felsőoktatási szakképzés tárgyainak oktatásában is. A 3. táblázat a tanszék által angol nyelven oktatott tantárgyakat és tantárgyfelelőseit mutatja be.

Az Óbudai Egyetem két tudományterületen három doktori iskolát működtet: 2009-től az Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola, 2012-től az **Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola**, és a Biztonságtudományi Doktori Iskola, illetve 2013-tól az Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola kezdte meg működését. Ez utóbbi létesítésével megszűnt az Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola.



25. ábra: Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola kutatási témái

2011-től azon mérnökök részére, akik IWT diplomával rendelkeznek és további kritériumoknak is megfelelnek, 112 órás **nemzetközi hegesztőmérnök** (International Welding Engineer - IWE) **különbözeti képzés** indult. A csak elméleti képzés tananyaga az IWE és IWT tematika közötti különbségeket dolgozza fel, rendszerező áttekin-téssel kiegészítve. A 13 IWE különözeti képzésen 362 fő vett részt.

Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék az elmúlt évtizedben tovább folytatta K+F tevékenységét a korszerű anyagok és anyagtechnológiák kutatása, fejlesztése terén.

3. táblázat: Az angol nyelven oktatott tárgyak és tárgyfelelősei

Tárgy neve	Tárgyfelelős
Fundamentals of Materials Technology	Dr. Pinke Péter
Forming Technology and Machines I.	Dr. Gonda Viktor
Forming Technology and Machines II.	Dr. Gonda Viktor
Joining Technology	Dr. Kovács Tünde
Computer-aided Design of Materials Technologies	Dr. Mucsi András
Engineering Materials	Dr. Kovács Tünde
Material Science	Dr. Mucsi András

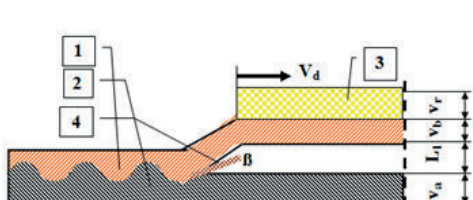
A témakörben közel két évtizedes kutatási tevékenység eredményeként különféle anyagtudományi modellek és szimulációs eljárások kerültek kidolgozására, így

- az anyagtudományi modell és szimulációs eljárás a lézeres felület felrakás (cladding) folyamat-paramétereinek optimalizálására irányult (közös kutatások az Instituto Superior Tecnico Egyetemmel, Portugália);
- a kinetikai modell kidolgozása DP és TRIP acélok interkritikus hőmérsékletű tartományban végbemenő átalakulási folyamatainak leírását jelentette (közös kutatás a Jiao Tong University, Shanghai egyetemmel).

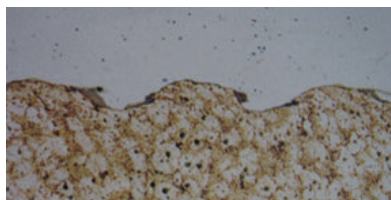
A Tanszék egyik hagyományos kutatási területe a **kristályosodási, öntési folyamatok kísérleti vizsgálatára és matematikai modellezésére irányult**, különös tekintettel az acélok folyamatos öntési technológiájára. A kutatások fő feladata a folyamatos öntés során végbemenő összetett folyamatok tisztázása, azok matematikai modellezése, elsősorban a technológia optimalizálása és a gyártott termék minőségjavítása érdekében.

A TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 **Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt**, "Öngyógyító Rendszerek" alprogram keretében került kidolgozásra

- a **robbantásos fémmunkálás** témakör, mely két- és többretegű fémlamezek gyártási technológiáinak kutatás-fejlesztésére irányult. Kiterjedt a két és többkomponenses fém-fém és fém-kerámia porkompozíciók, valamint a speciális alakú fémcső és fémlamez alkatrészek gyártási technológiáinak vizsgálatára is;
- az **elektrodinamikus megmunkálások** témakör, melynek keretében elemeztük az alakváltozási sebesség hatását az anyagok alakíthatóságára, kidolgozásra került az elektromágneses alakítás alkalmazása csőkötések készítésére, valamint az elektrohidraulikus alakítás szerszámozása és a technológia fejlesztésének lehetőségei;
- a **tulajdonság módosító eljárások** kutatása, mely elsődlegesen a gép-, a jármű-, a hadiipari alkatrészgyártás termékei használati tulajdonságainak, így pl. az élettartam, a terhelhetőség növelésére irányult. A kutatásba bevont eljárások (PVD, CVD, lézer, plazma, vákuum hőkezelés) nem csak új termékek gyártásában, hanem a használt, kopott alkatrészek minőségének növelésére, javítására is alkalmazhatók.



26. ábra: Robbantásos fémmunkálás



Az anyagtudományi fejlesztések terén további kutatási projektekbe kapcsolódtak be konzorciumi tagként a Tanszék munkatársai, így a kutatás

- a NVKP_16-1-2016-0038 a **fröccsönthető poli-propilén alapú tapadást közvetítő kompozitok**

fejlesztése járműtechnológiai alkalmazásokhoz projekt keretében az optimális anyagösszetétel meghatározására, a roncsolásmentes és a roncsolásos anyagvizsgálati kísérletsorozatra, az üveggyöngy eloszlás mérésére komputer-tomográfiai anyagvizsgálat-sorozat elvégzésre irányult;

- a 2018-1.3.1-VKE-2018-00041 projektnél az **intelligens, prediktív szerszámfelügyeleti eljárások kidolgozására és rendszer kialakítására, valamint a fejlesztés fenntartására alkalmas kutatási együttműködés létrehozására** irányult;
- a 2019-1.1.1-Piaci KFI-2019-00462 pályázat esetében az **öntvény-mikrohibákat kimutató, gyártásba integrálható, robotizált, új minőségellenőrzési technológia és berendezés kifejlesztése** című kutatás a nyomásos öntéssel készült alumínium öntvények lehetséges szivárgás útvonalainak és mechanizmusainak anyagvizsgálati feltárására, az impregnálás hatékonyságának elemzésére, javítására vonatkozott.



27. ábra: Dr. Fábián Réka vizsgálatot végez az FXE 160.51 típusú multifókuszú röntgen berendezéssel

Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék munkatársai közreműködtek „**Az atomenergia biztonságos alkalmazásának hatósági ellenőrzését szolgáló műszaki megalapozó tevékenységben**”, melynek keretében a reaktortartály gyártástechnológiáját bemutató dokumentáció felülvizsgálatával értékelték a reaktortartály gyártástechnológiáját. Részletes elemzésre került a tartályelemek gyártástechnológiája, az acélgyártási technológia, a kovácsolás, mint alaptermés, valamint a hidrogén okozta pelyhesedés elkerülését célzó technológia lépéssor.

Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék emlékezete

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke 2023-ban ünnepelte jogelődje, a Mechanikai Technológia Tanszék alapításának 60. évfordulóját.

Ebből az alkalomból, 2023. november 16-án – a Magyar



28. ábra: A jubileumi emlékülés résztvevői

Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat keretében – az „ESB 2023 Mérnöki Szimpózium a Bánkiban” konferencia részeként, az ATT60 Jubileumi Szekciójában emlékeztek a résztvevők az eltelt évtizedekre. A szimpóziumra meghívást kaptak a társtanszékek vezetői, képviselői, a tanszék jelenlegi és korábbi munkatársai, a doktori iskola vezetői, a szakmai partnerek.

Az ünnepi szekciót **Dr. Gonda Viktor** tanszékvezető nyitotta meg, majd a Gépészeti és Technológiai Intézet igazgatója, **Dr. Pinke Péter** köszöntötte a megjelenteket. **Dr. Gáti József** az Mechanikai Technológia Tanszék alapításától Anyagtechnológiai Intézeti Tanszékgig eltel 60 év történetét mutatta be. A fő szakterületek, az anyagvizsgálat, a hőkezelés, az alakítástechnológia és a hegesztéstechnológia, tevékenységének ismertetésére **Dr. Kovács Tünde**, **Dr. Gonda Viktor** és **Dr. Bagyinszki Gyula** vállalkozott. A Tanszéki kutatásokhoz szorosan kapcsolódó Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola bemutatására Prof. Dr. Réger Mihály készült.

A társtanszékek képviselőinek előadását **Prof. Dr. Hargitai Hajnalka**, a Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszék vezetője nyitotta meg ismertetve az együttműködésünk kereteit, tanszéke szakmai munkáját. **Dr. Béres Gábor**, a Neumann János Egyetem Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékének vezetője az egyetemi változásokról tartott gondolatébresztő előadást. **Dr. Lukács Zsolt**, a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet intézetigazgatója a Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszéket mutatta be, míg **Dr. Pázmán Judit**, a Dunaújvárosi Egyetem tudományos és kutatási rektorhelyettese Gépészeti és Anyagtudományi Tanszék életébe adott betekintést. A társtanszékek képviselőinek hozzászólását **Dr. Reé András**, a Budapesti Műszaki Egyetem Anyagtudomány

Dr. KOVÁCS MIHÁLY

Hegesztő Labor

Dr. SÁROSSY GYÖRGY

Képlékenyalakítás Labor

Dr. VOJNICH PÁL

Metallográfia Labor

29. ábra: ATT Laborok névadói

és Technológia Tanszékének docense zárta, utalva arra az együttműködésre, melyet a felsőfokú képzések elindításánál nyújtottak intézményünknek.

A jubileumi program részeként a tanszék alapítójáról, valamint egykori kiemelkedő tanáiról, volt kollégáinkról emlékeztünk meg, és második otthonukként szolgáló oktató-kutató műhelyeket róluk nevezzük el. A **Metallográfia Laboratórium Dr. Vojnich Pál**, a **Hegesztő Laboratórium Dr. Kovács Mihály**, a **Képlékenyalakítás Laboratórium Dr. Sárossy György** nevét viseli. A laborok ajtajára réztáblák kerültek (29. ábra), valamint a névadó életútjának bemutatását szolgálják a kifüggesztett poszterek.

Dr. Gáti József

c. egyetemi docens, Óbudai Egyetem

Irodalomjegyzék

- [1] A Magyar Forradalmi Munkás-Paraszt Kormány 12/1962. (V. 5.) rendelete a felsőfokú technikumokról
- [2] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve, 1879-2009. BMF, 2009, ISBN 978-9632-7154-91-1
- [3] Jesch László: A Budapesti M. Kir. Állami Felsőipariskola emlékkönyve, 1879-1939. Budapest, 1939.
- [4] Elnöki Tanács 1969. évi 25. számú törvényerejű rendelete (1969. augusztus 31.)
- [5] Dr. Király József szerkesztő: Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Centenárium évkönyve 1879-1979. BDGMF, 1979.
- [6] Dr. Gáti József szerkesztő: Bánki Donát Műszaki Főiskola 1879-1999. Jubileumi emlékkönyv. Állami Közép Ipartanoda- Bánki Donát Műszaki Főiskola, BDMF, 1999.
- [7] A Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola jubileumi táblója 1969.
- [8] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve 1879-2004. Budapest, 2004. ISBN 963 7154 28 0
- [9] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve 1879-2009. Budapest, 2009. ISBN 978-963-7154-91-1
- [10] Dr. Gáti József, Dr. Kovács Mihály: A hegesztő műszaki szakembertől a nemzetközi hegesztőtechnológus képzésig az Óbudai Egyetem Bánki Donát Karán, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19-21.

Volodymyr Vasyliovych PANASYUK (1926 – 2023)

A világhírű ukrán mechanikai iskola ikonikus egyéniségének elvesztéséről egy nagyon rövid közleményben már az előző lapszámunkban megemlékeztem¹. A lapzárta előtt kapott szomorú hír tudósítását így fejeztem be:

„Meggyőződéssel hiszem és vallom, hogy a közös élmények, események nem zuhanhatnak a feledés sötét vermébe, azokat célszerű az utánunk jövő generáció(k) „információs asztalára tenni”. E célt szolgálja következő lapszámban megjelenő részletesebb nekrológ.”



A mostani folytatást tekintve már előjáróban is kijelenthetem, hogy bármilyen terjedelmű is lesz visszaemlékezésem, abban biztos vagyok, hogy sok dolog terjedelmi kötöttségek miatt nem kerül a „jövő generáció(k) információs asztalára”. A majdnem egy évszázadot (98 évet) átívelő aktív élet egyes eseményeit, szakmai pályafutás állomásait bemutatni, avagy annak csupán egyes lépéseit megemlíteni önmagában is merész vállalkozás. Ezt a dilemmát igyekszem úgy áthidalni, hogy megemlékezésemben előbb az életéhez, szakmai pályafutásához kötődő, „száraz tényeket” próbálom időrendben összefoglalni, majd pedig az emocionális kapcsolatot formáló eseményekből ragadok ki néhányat, messze nem a teljességre törekedve.

Tanulmányait és munkaköreit, beosztásait tekintve:

- 1926. február 26-án született, az akkor még Lengyelország Lublin régiójában fekvő Kraśnikban,
- 1947 - 1951, egyetemi tanulmányok Lvivben az Ivan Franko Állami Egyetem Matematika-Fizika Karán (a város neve a Szovjetunió fennállásának periódusában Lvov),
- 1951-1954, továbbképzések az Ukrán Tudományos Akadémia (UTA) Gépészeti Tudományok és Automatikai Intézetében, Lvovban (ma ez az UTA Karpenko Fizika-Mechanika Intézete UTA-KFMI, amelynek alapítója Karpenko Heorhiy V.),
- 1954-1962 között előbb kutató, majd tudományos munkatárs, később laboratórium vezető,

- 1962-től az UTA-KFMI osztályvezetője,
- 1971-től az UTA-KFMI igazgatója,
- 2014 - 2023 között az UTA-KFMI tiszteletbeli igazgatója.

A tudományos életben betöltött szerepe:

- 1955, kandidátus a fizikai és matematikai tudományok területén,
- 1956, tudományos főmunkatárs.
- 1967, a tudományok doktora szilárd testek mechanikája területén,
- 1968, egyetemi tanár (professzor),
- 1972, az UTA levelező tagja matematika, mechanika és kibernetika területén,
- 1972-1993, az Orosz Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Nemzeti Bizottság tagja,
- 1978-tól az UTA rendes tagja, az UTA az Anyagtudomány Fizikai és Műszaki Osztályának anyagtudományi és szilárdsági kérdéskörében,
- 1999-től az UTA Anyagtudomány Fizikai és Műszaki Osztályában különböző feladatokat lát el,
- 2020-tól az UTA Karpenko Fizika-Mechanika Intézet tudományos tanácsának tagja.

Hazai és nemzetközi elismerései, tevékenysége:

- 1971-től Lviv városi és regionális tanácsainak tagja,
- 1974, az UTA Dynnyk-díja² (másodikként részesült e díjban),
- 1977 és 1995, Ukrajna Állami Díja,
- 1978, a „Physicochemical Mechanics of Materials” (Ukrajna) nemzetközi szakmai folyóirat felelős szerkesztője,
- 1985-től a „Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures” (UK) tanácsadó testületének tagja,
- 1986, Szovjetunió Állami Díja,
- 1989-1993, az ICF8 Nemzeti Szervező Bizottságának elnöke és megnyitó előadója (Kiev, 1993. június 8-14.),
- 1992, A Sevcsenko Tudományos Társaság tagja (Lviv). A szervezet életéről, munkásságáról 400 oldalas kiadványt jelentetett meg³ 80. születésnapjára,
- 1993, Az Európai Szerkezetintegritási Társaság (ESIS) tagja,
- 1993-tól a Nemzetközi Törési Kongresszus (ICF) alelnöke,

¹ V.V. Panasyuk (1926-2023). Anyagvizsgálók Lapja. 2023/II. p. 42.

² Az UTA Dynnyk Oleksandr M.-ről (1876.01.31. – 1950.09.22.) elnevezett díjat a mechanika és gépészet területén végzett kiemelkedő munka elismerésére alapította. Első alkalommal 1973-ban került átadásra (Savin Guriy Mikolajovics) <https://www.nas.gov.ua/EN/PersonalSite/Pages/Biography.aspx?PersonID=0000003656> (Megtekintve: 2023.11.29.)

³ Proceedings of the Sevchenko Scientific Society. Vol. XVI. Materials Science and Mechanics of Materials. Lviv. 2006.

- 1993-tól az Ukrán Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Nemzeti Bizottság tagja,
- 1993-tól az Ukrán Törésmechanikai Egyesület elnöke,
- 1994, az UTA Paton-díja.
- 1994, Ukrajna tiszteletbeli Tudósa a Tudomány és Mérnökség területén,
- 1995, Ukrán Állami Díj a „Fizikai-Kémiai Mechanika az Anyagok Törése és a Szerkezetintegritás” témakörben szervezett tanfolyamért,
- 1997, a Wroclawi Egyetem tiszteletbeli doktora (Doctor Honoris Causa),
- 2000, „ESIS Griffith Medal” kitüntetés, a törésmechanika témakörben végzett kiemelkedő tevékenységért.

Intenzív szakmai tevékenysége igen jól jellemezhető az általa összeállított 11 könyv és az 550 publikáción⁴ keresztül. E számok haláláig 19-re és több mint 600-ra bővültek. A társszerzőkkel benyújtott és elfogadott találmányainak száma meghaladja a 30-at.

Az emocionális kapcsolatunkat természetesen mindketten önállóan éltük meg. Visszagondolva találkozásainkra, a szakmai és személyes beszélgetésekre, valamint ezek kézzelfogható, – máig is élő eredményeire – nyugodt lelkiismerettel mondható, hogy a „rezonanciánk” kölcsönös volt. E mondat hiteles mind a személyeink, mind pedig az általunk képviselt csoportok tekintetében. Munkatársait messzemenően támogatta abban, hogy a nemzetközi „szakmai színpadon” elismerést szerezhessenek. Visszagondolva a Miskolcon szervezett nemzetközi rendezvényekre az első személyes találkozásunk emlékeim szerint Mályiban, 1983-ban volt, amelyet Terplán Zénó, a nemzetközi rendezvény elnöke is feljegyezt⁵. Sajnos a rendezvényen készült fényképek nincsenek birtokomban, de az tény, hogy a „V.V. Panasyuk, I.V. Ratücs, I. N. Dmytrakh: Szerkezeti anyagok ciklikus törési szívóssága korróziós közegekben” c. előadás elhangzott és a rendezvény kiadványában szerepelt⁶. Utolsó két találkozásunkra Lvivben (2018 és 2019) pedig örömmel gondolok vissza, mert mindkét alkalommal szellemileg igen friss, logikus gondolkodású, 90 év feletti

korú emberrel társaloghattam. 2018. évi találkozásunk során ünnepelhette az UTA alapításának centenáriumát. Ennek keretében az UTA Nyugat-Ukrajna nemzetközi együttműködéseit és a további bővítésének lehetőségeit tekintette át bemutatva e régió tudományának szervezeti struktúráját és akadémiai intézeteit⁷. Ez alkalomból együttműködésünk eredményeiről beszélhettem. 2019-ben pedig a Lvivben szervezett nemzetközi konferencián búcsúzhattam barátaimtól. Emlékként álljon itt két fénykép, amelynek egyike a munkához, másik pedig az utolsó koccintásunkhoz kötődik.



6th International Conference „Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity”
Lviv, June 3-6, 2019.

Középen az ukrán zászló előtt V.V. Panasyuk, balra Z.T. Nazarcuk (a Karpenko Intézet jelenlegi igazgatója),
közöttük hátrébb I. Lobanov (a Paton Intézet igazgatója), jobbra: Emmanuel Gdoutsos, mellette hátul Tóth L.



V.V. Panasyuk köszöntése a nemzetközi konferencia bankettjén

Gondolataim ide-oda ugrálnak az emlékek birodalmában, de azt is érzem, hogy visszaemlékezéseimből nem kerülhet minden a minket követő generációk „információs asztalára”. Hosszas vajúdasomat és elhatározásomat követve csupán a következő három eseményt, ténytet emelem ki röviden közös emléktárunkból:

⁴ V. V. Panasyuk Bibliográfiája. UTA-KFMI, Lviv, 2011 (85. születésnapjára összeállítva).

⁵ Terplán K., Tóth L.: Terplán ZÉNÓ CENTENÁRIUM. Miskolc, 2021. „Megnyitó beszéd német nyelven. (GTE, MAB, NME "7th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals" elnevezésű rendezvénye. Mályi, 1983. szept. 6.

⁶ Publication of the Technical University for Heavy Industry. Series C, Machinery, Vol. 34. Series 1-4. Proceedings of "7th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals". VOI- 1-2- Miskolc, 1983.

⁷ Akademichni ushtanovi zahidnovo naukovo centru NAN Ukrainy i moh Ukrainy. Juvelejnie vidavija. Lviv, 2018.

- a fiatalabb generációk, a szakmai utánpótlás nevelésének szükségessége és módszere,
- a Griffith Medál 2000-ben,
- Csernobili katasztrófa emlékezete.

Az első témakört elintézhethetném azzal is, hogy viszszaidézem életrajzából, ill. UTA sajtóközleményéből a következő mondatot:

„A tudós nagy figyelmet fordított a magasan képzett szakemberek képzésére. Tanítványai között több mint 60 doktor (DSc) és a tudomány kandidátusa van.”

Mindez igaz és követendő a közvetlen környezet szerepének megtartására és erősítésére. Panasyuk professzor azonban ennél távolabb tekintett. Régióban és „világszinten” gondolkodott. A törésmechanika tudományterületének kialakulása, gyors fejlődése a XX. század második felének terméke. Ezt a gyorsulást csak növelte a számítástechnikai eszközrendszer hihetetlen fejlődése. Így igazán nem is maradt idő az elméleti megfontolások „megkövesedésére”, hanem azonnal a gyakorlati, ipari alkalmazásokra kellett koncentrálni. Ne feledjük, a XX. század második fele a „rakétakorszaknak” is teret biztosított, amelyet az egyre növekvő szilárdságú – de egyre törékenyebb – hagyományos anyagokkal próbáltak megoldani. E tény pedig gyorsította az anyagok törési halmazával foglalkozó tudományterület fejlődését szerte a világon. Ő ezt tökéletesen látta, érezte és tenni akart a „mindennapi törésmechanika” ipari alkalmazásáért. A helyi reguláris oktatás színvonalát emelő nyári iskolák szervezését régiós jellegre erősítette és jelentőségét elismertette európai szinten is. Az 1995-ben először „Lengyel-Ukrán-Német” összefogással szervezett „Törésmechanikai Nyári Iskolát” folyamatosan bővítve 2007-ig 10 alkalommal sikerült megszerveznie. Az ESIS szintű elismertetésben fontos szerepet játszott a „Törésmechanikai Nyári Iskolák” tudományos tanácsa tagjainak és az ESIS elnökének eszmecseréje

Wroclawban 2002. szeptember 6-7-én. Jómagam az ESIS oktatással és képzéssel foglalkozó TC13 vezetőjeként is részt vehettem, nem csupán a nyári iskolák rendszeres szervezőjeként és előadójaként. A megbeszélésen elhangzottakat híven foglalja össze a V.V. Panasyuk és W. Kasprzak által összeállított és 2007-ben kiadott könyv⁸ 87-96. oldalain. Álljon itt emlékül egy olyan fénykép, amely nem látható a hivatkozott dokumentumban.



„Törésmechanikai Nyári Iskolák” és az ESIS érintett tisztségviselőinek megbeszélése

balról-jobbra: W. Kasprzak (Lengyelország), Keith Miller (az ESIS elnöke), V. V. Panasyuk (Ukrajna), L. Tóth (a z ESIS TC13 vezetője)

A találkozó röviden összefoglalható eredménye az, hogy a „Lengyel-Ukrán-Német Törésmechanikai Nyári Iskolák” az ESIS közép-európai rendezvényeinek tekinthetők, amelyek, noha folytatódtak, de egyre inkább a „helybeliek dominanciájával”. A 2013-ban Trzebnicában szervezett 13. nyári iskola résztvevőit még rendkívül friss és energikus V.V. Panasyuk irányította. A 14. Ternopilban (Ukrajna) 2015-ben szervezett rendezvény résztvevőit pedig az alábbi kép mutatja.



A 13. Törésmechanikai Nyári Iskola résztvevői (Trzebnica)



A 14. Törésmechanikai Nyári Iskola résztvevői (Ternopil)

⁸ V.V. Panasyuk, W. Kasprzak: Summer Schools on Fracture Mechanics. SPOLOM, Lviv-Wroclaw. 2007. 294. old.

Az alapító „atyák” itt is középen láthatók, de az első sorban állók közül a második az egyetem rektora (P. Yasniy), a harmadik V. V. Panasyuk és jobbról az első A. J. Krasowsky már megelőzött azon határ átlépésében, amelyen a sors kegyetlen, de általános törvénye szerint nekünk is át kell lépni.

A második kiragadott közös emlék lehet a Griffith Medal története. Az ESIS működési rendje értelmében bármelyik kitüntetésre a Technical Committee (TC) vezetői tehetnek javaslatot felkarolva az ESIS tagjának hozzá eljuttatott gondolatát, ötletét. A már említett TC13 vezetőjeként törekedtem arra, hogy a nemzetközi szakmai életben is ismert, elismert kelet európai szakemberek is legalább a jelöltségig eljussanak. Jelöltjeim közül D. Francois, A. Pineau és K. Miller professzorok támogatásával az ESIS Díj bizottsága V.V. Panasyuk-nak ítélte a Griffith Medal-t 2000-ben. A díj átadására a San-Sebastianban megtartott ECF13 keretében került sor. Az indoklásban helyt kapott az a történelmi eseménysorozat, ahogyan a repedéscsúcs modellek kialakultak, amelyet elméletileg G.I. Barenblatt alapozott meg (1959) és V.V. Panasyuk definiálta (1959) az anyagjellemzőt rugalmas, míg Dugdale (1960) lineárisan rugalmas-ideálisan képlékeny anyagokra.



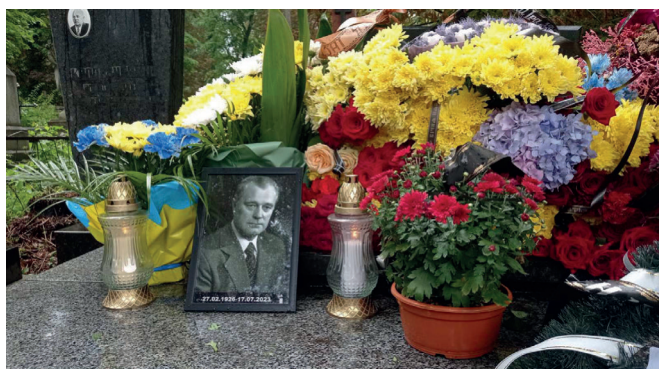
V.V. Panasyuk nemzetközi szakmai elismerése,
a „Griffith Medal”

Miskolcot tekintve V.V. Panasyuk és jómagam is azt tartottuk, hogy e város egyeteme, a Miskolci Egyetem és kutatóintézete, a korábbi néven ismert „BAY-LOGI” (népszerűen fogalmazva) a „kelet-nyugati kapcsolatok nyitott kapuja”. Ennek látványos „termékei” jelentek meg a brüsszeli K+F források megnyílásával 1992-től (TINKA, LIMATOG, RIMAP, NOTCH EFFECT stb.) projektek a PECO, COPERNICUS, INCO-COPERNICUS stb. programokban. Panasyuk professzor mindig és mindenkor értő és nyitott támogatója volt a fiatalabb generáció bekapcsolásában. E gyümölcsöző együttműködés nem csupán az érintett két földrajzi régió közös

hasznát szolgálta, hanem lényegesen közelebb hozta egymáshoz Európa különböző szemléletű szakembereit. E folyamatban V.V. Panasyuk professzor keleti szomszédunk egyik kiváló szereplője volt.

A folyamatos együttműködés zuhatagából kiemelésre méltó a Csernobilban 1986. április 26-án 0:23-kor bekövetkezett események 20. évfordulóján Miskolcon szervezett nemzetközi részvételű szakmai rendezvény is, amelyen az IEA (Bécs) és az EU Energia Intézetének (Petten) képviselőin kívül Nyugat-Ukrajna meghatározó akadémiai intézeteinek vezetői és munkatársai is részt vettek. A Kievből, Harkovból és Lvivből érkezett 15 fő – közülük hét fő az UTA tagja – jelentősen bővítette mind a szakmai ismereteket, mind pedig a személyes kapcsolatokat. Kettőnk viszonylatában ez azt is jelenthette, hogy az általa szerkesztett két, ukrán nyelvű könyvben több fejezetet is írhattam^{9,10}, ukrán barátaimmal, ill. az intézet által kiadott, angol nyelven is megjelenő, 1965-ben alapított szakmai folyóirat nemzetközi szerkesztő bizottságának tagja lehetek¹¹.

A sors megkerülhetetlen törvénye mindig és mindenkinek diktálja a „kezdet és a végét” dátumait. V. V. Panasyuk professzornak ezeket 1926. február 27. és 2023. július 17. jelölik. A két dátum között eltelt 35.569 nap nyújtotta azt a keretet, amelybe egy sikeres alkotó élet eredményei megszülethettek. A több 3 milliárdot meghaladó szívdobbanás nem csupán a szív rettenetes erejére, energiájára utalhat, hanem arra a teljesítményre is, amelyet hordozója, V. V. Panasyuk szakmai munkásságával felmutatott. Engedd meg, hogy az általad ismert szakemberek és jómagam nevében búcsúzzak Tőled! Nyugodj békében végső nyughelyeden!



V.V. Panasyuk sírhelye

Tóth László
ny. egyetemi tanár

**Anatolij Dubov
(1945 – 2024)**

Mély sajnálattal szeretném tudatni, hogy Dr. Anatolij Dubov 2024. január 26-án, 79 éves korában kórházban elhunyt.

1972-ben a Moszkvai Energetikai Intézetben szerzett hőerőgépész mérnöki diplomát. 2003 februárjában Anatolij Dubov sikeresen megvédte doktori disszertációját „Berendezések és szerkezetek élettartamának előrejelzése a fémek mágneses memóriájával” (MMM) témában.

Szakmai pályafutásának nagy részét a veszélyes ipari berendezések biztonságának növelésére, illetve e veszélyforrások felderítésére fordította.

Dr. Anatolij Dubov a roncsolásmentes vizsgálatok alapvetően új technológiájának – a fémek mágneses memória technikának – szerzője volt. Jelenleg Oroszországon kívül a világ 46 országában vezették be az MMM technikát és ehhez a megfelelő ellenőrző berendezéseket. Itt természetesen nincs szó a „fémek memóriájáról”, hanem azért választotta ezt az elnevezést, hogy élesen meg lehessen különböztetni a mágnesezhető poros eljárástól, ahol külső mágneses teret használunk a fémes szerkezetek anyagfolytonossági hiányának kimutatására, amíg itt a fémes berendezések külső erőhatásra létrejövő saját mágneses tér torzulását vizsgáljuk.

Dr. Dubov 7 könyv¹ és 385 cikk szerzője volt, amelyek tudományos és műszaki folyóiratokban jelentek meg Oroszországban, Kínában, az Egyesült Államokban, Nagy-Britanniában, Lengyelországban és más országokban.

Legjelentősebb alkotása a Physical bases of The Metal Magnetic Memory Method könyv 2004-ben jelent meg, több kiadást ért meg, angolul és oroszul elérhető. A 2013-ban kiadott Physical Theory of the „Strain-Failure” Process komoly nagyléptékű alkotás, mely ennek a területnek átfogó elemzését adja.

Anatolij Dubov 32 évig volt az Energodiagnostika Co. Ltd. vezérigazgatója. 50 éves tapasztalattal rendelkezett erőművi, olaj- és gázipari vállalatok vizsgálatában.

Saját erőből építette fel anyagvizsgáló cégét, amely az MMM módszeren alapulva mutatta ki a berendezések veszélyes pontjait. A világ legkülönbözőbb helyeiről kapott megrendeléseket. Soha nem szorította háttérbe a tudományos kutatási területet, mindig az ipari problémák kezelésének elméleti és gyakorlati megoldását kereste.



Létrehozott egy igen korszerű független oktató bázist, mely jelenleg is kiemelkedő helyszíne az MMM és egyéb roncsolásmentes eljárások oktatásának. Évente több száz hallgató fordul meg itt a világ legkülönbözőbb pontjairól.

A vizsgálóberendezéseinek gyártására egy másik vállalatot alapított, mely napi kapcsolatban áll a helyszíni vizsgálatokat végző szakemberekkel, így ez a visszacsatolás a műszergyártás folyamatos fejlesztését tette lehetővé

Elnöke volt az Orosz Hegesztési Társaság, Hegesztés Minőség Ellenőrző Bizottságának és az Orosz Föderáció Szövetségi Műszaki Szabályozási és Metrológiai Ügynöksége Műszaki Bizottsága „Stress-Strain State and Lifetime Control” Koordinációs Tanácsának.

Dr. Dubov kilenc nemzetközi ISO és orosz GOSZT szabvány kidolgozásában vett részt. Szabadalmi oltalma volt Németországban, az Orosz Föderációban és Lengyelországban a fémek mágneses memória technika elméletére és ennek gyakorlati alkalmazására szolgáló műszerekre vonatkozóan.

1994 óta Dr. Dubov részt vett a Nemzetközi Hegesztési Intézet tevékenységében, amikor kezdetben csatlakozott a XI. „Nyomástartó berendezések, kazánok és csővezetékek”, majd később az V. „Roncsolásmentes vizsgálatok és Hegesztett Termékek Minőségbiztosítása” bizottságokhoz.



2019-es MMM konferencia

¹ Az egyik legújabb könyvének ismertetője (Metall Magnetic Memory Method. Purpose and practical capability. Moszkva. 2022.) az Anyagvizsgálók Lapjának 2022/II. számában jelent meg (70-71. old)

Dr. Dubov több mint tíz szakmai cikke jelent meg az igen neves Welding in the World folyóiratban. Tevékenységének fő területei az MMM technika fejlesztése és nemzetközi szabványosítása voltak.

Magyarországhoz sok szállal kötődött. Én 2006-ban egy IIW konferencián ismerkedtem meg vele, mely során rögtön megfogott a közvetlensége és a műszaki problémák gyors felfogása és megoldásuk egyedisége. Állandóan új kérdésekkel foglalkozott, mindig azt mondogatta, hogy mennyi megoldatlan feladata van még hátra, mely területeken kellene még új nemzetközi szabványt alkotni.

A TÜV Rheinland InterCert vállalattal kötött szerződése keretében Budapesten 2010-ben az MMM első validálási eljárását rendelte meg a TÜV szervezettől, mely hasznos kapcsolat az utolsó évekig megmaradt.

A 2010-es évektől kezdve szorosan együttműködött a Trans Lex Work hazai céggel is, amely később a Nemzeti Akkreditációs Hivatalon keresztül akkreditáltatta laboratóriumát az MMM eljárás hazai végzésére. Több alkalommal részt vett és előadást tartott a komoly létszámú TÜV Rheinland InterCert éves balatoni szakmai napjain.

Ő és munkatársai felszólaltak Budapesten a közép-kelet-európai első MMM konferencián 2014 májusában, valamint I. és II. International Conference "Diagnostics of structures and components using the metal magnetic memory method" szintén budapesti rendezvényein, 2016-ban és 2018-ban, amelyeket az European Federation for Non-Destructive Testing keretében szervezte meg a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség.

Számos magyar anyagvizsgáló szerezte meg az MMM egyes és kettős fokozatát az Energodiagnostika tanfolyamain, Moszkvában, illetve kihelyezett tanfolyamokon Varsóban és Prágában, használva az ő jegyzeteit és könyveit.

A közel húsz éves kapcsolatunkban büszke vagyok rá, hogy barátomnak tekinthettem. Munkatársai elmondása szerint az élete utolsó napjáig aktívan dolgozott, vezette cégeit.

Emléke továbbra is motiváljon és inspiráljon bennünket, hogy tovább fejlesszük az ipari biztonságot szolgáló ötleteit és találmányait.

Kedves Anatolij, nyugodj békében!

Dr. Ladányi Péter



2022

2023



2024

Lánc, lánc, eszterlánc...

Chain, chain, Ester's chain¹

Szívós növényindákból, egybesodrott hosszú rostokból már a legősibb időkben is készültek kötelek. Az összekapcsolt, elmozduló fém elemekből alkotott lánc az i.e. III. századtól ismeretes. A XIX. század elterjedt konstrukciója a láncokból készített függőhíd volt.

A millennium időszakára rohamosan növekvő magyar főváros három közúti hídja már kevésnek bizonyult a mind nagyobb forgalom lebonyolítására. Elengedhetetlenné vált két újabb átkelő megépítése.

Az Eskü-téri (Erzsébet) hídra 1894-ben meghirdetett nemzetközi pályázat első díját egy stuttgarti csoport egyenlős kábelhíd terve nyerte meg. A kábelekre függesztett konstrukció helyett Budapest a világ akkor legnagyobb fesztávú lánchídjához jutott.

A vasszerkezetek gyártására kiírt pályázat sikertelen volt. A legnevesebb nehézipari üzemek, az Essen-i Krupp², a Le Creusot-i Schneider³ és a Duisburg-i Harkort⁴ cégek egyike sem vállalta a lánctagok elfogadható áron és az előírt szűk határidőre történő legyártását.

Az extra nagy méretű láncelemek megmunkálására sehol sem voltak alkalmas berendezések. A különleges célgépeket egyedileg kellett megtervezni és legyártani úgy, hogy azokat más munkákra használni aligha lehetséges.

A kiviteli pályázat kiírását és a láncelemek gyártását érdekes részletességgel ismerteti az [1] cikk. A szerző, Seefehlner Gyula (1847-1906) államvasúti mérnökként kezdett a budapesti összekötő vaspályánál, majd a Magyar Állami Vasúti Gépgyár (MÁVAG) főmérnöke, végül főfelügyelője lett. Számos vasúti pálya és híd tervezésében, kivitelezésében dolgozott, a budapesti Ferencz József (Szabadság) és az Erzsébet hidak építését ő irányította.

A magas kitüntetésekkel elismert, napjainkra azonban csaknem teljesen elfeledett Seefehlner pályafutásának bizarr eleme volt a magyar hídépítés kiemelkedő szakemberével, Feketeházy Jánossal (1842-1927) folytatott, folyamatos rivalizálása, eredményes közös munkálkodásaik mellett durván elmérgesedő vitáik [2].

Az Erzsébet híd láncait megmunkáló célgépeket a budapesti Vulkán gépgyárban fél év alatt tervezték és gyártották le. A láncelemek a diósgyőri állami vasgyárban 1879-ben bevezetett Martin-féle eljárással finomított acélból készültek. Ilyen anyagot korábban csak a – máig Skócia nemzeti büszkeségének számító – Forth Rail Bridge szerkezetébe építettek.

„...A lánctagokat hegesztés nélkül – bazikus Martin folytattott acélból egy darabban teljesen egyenesre, egyenlő vastagra és simára hengerelt, külső felszíni hibáktól, jelesen a széleken szálkáltól és repedésektől mentes lemezekből kellett készíteni.

Előírták a kellő szívóságot a világosszürke fémfényű törést és a finom egynemű szövédéket is. Olyan lemezeket, melyeken szakadások, hólyagok vagy zsugorodások, salakrészek mutatkoznak, melyek rétegekben lehámlók és pikkelyesek vagy pedig a lyukasztásnál vagy vésővel való megmunkálásnál sérülést (például szakadást vagy kitöredezést) mutatnak, felhasználni nem szabad. Kizárták azokat a lemezeket is, melyeken sűrűen egymásután következő kisebb hullámok vagy egyéb egyenetlenségek vannak, melyek nagyobb mechanikai megmunkálás nélkül ki nem egyenesíthetők. A szakadás felszíne, egynemű, finom szemcsés és kellő tömörség mellett, halavány-szürke színt és kissé selymes fényt mutasson; a szakadás helyén hólyagszerű elválások ne forduljanak elő.

A lemezekhez felhasználandó Martin-acélnak a hengerlés hosszanti irányában igénybe véve, cm²-kint 5000 és 5500 kg közt változó szakítószilárdság mellett, legalább 20 %-nyi nyúlással kell bírnia. Ezek a feltételek 5.0 cm²-nél nem nagyobb keresztmetszetű próbapálcákra vonatkoznak; ennél nagyobb keresztmetszetnél, a kinyúlásnak aránylagosan nagyobbnak kell lennie, olyformán, hogy a területnek egy-egy cm²-rel növekedése esetére, a kinyúlás is egy %-al nagyobb legyen.

Az acélanyagoknak a következő hajlítási próbákat kell kibíniuk.

- sértetlen – hideg – állapotban valamely 5-8 cm széles próbászalagnak 180° hajlítást kell szakadás nélkül kibírnia, ha oly rúd körül hajlítják, melynek átmérője egyenlő, a próbadarab vastagságának kétszeresével;*
- vörös izzó vagy kék – meleg – állapotban levő próbapálcának, éles sarok körül áthajlítva és kalapálva nem szabad beszakadniuk.*

A diósgyőri vas- és acélgyárban a láncok részére gyártandó lemezek Martin-anyagát a következőképpen állították elő: vajdahunyadi szürkevas 4500 kg, ócskavas és forgács 2500 kg, acélhulladék 4500 kg, nyers mészke 800 kg.

A Martin-pestben ömlesztett anyag vegyi összetételére nézve megemlítjük, hogy 0.12-0.15 % C-t, 0.15-0.20 % Si-t, 0.90-1.00 % Mn-t és 0.06-0.08 % P-t tartalmaz.

Ily összetétellel az előírt szakító szilárdságot is elérték. Az ingót felső részéből, mintegy 250-300 kg-nyi darabot levágnak és a megmaradt részt, először egyszer hosszanti irányban a hengereken átbocsátják, ezután pedig keresztirányban nyújtják – szélesbbitik – míg csak a lánctag készítéséhez szükséges méretet el nem érik. Az összes ingót súlyának megállapításakor már előzetesen tekintetbe veszik, hogy a kihengerelt lemeznek két végéből megfelelő hosszú részeket vághassanak le, úgy hogy a lánctag csakis az ingót, illetőleg lemez legjobb részéből készül.” [1]

¹ Title of one of the most popular Hungarian child song

² A maga korában Európa legnagyobb vállalata 1587-től a Krupp család tulajdonában volt, 1999-ben a Thyssen AG-vel egyesült.

³ Az egyik legnagyobb francia iparvállalat 1836-1999 között működött.

⁴ A XVII. században alapított családi vállalat 1932-ben csődbe ment, majd a jelenleg is működő Demag cég vásárolta fel.

Az előgyártmányok metallográfiai és mechanikai jellemzőit folyamatosan ellenőrizték. A minőségbiztosítás érdekes eleme volt, hogy a gyártás és átvétel során használt speciális mérőeszközöket is – a hőmérsékletváltozások okozta méretváltozások azonossága érdekében – a lánc anyagából készítették el.

A hengerelt lemezeket egyengették, előrajzolták, majd a csapfuratokat nagyolták és a csapfejek belső íveit alakították ki. A forgácsoló műveletet két együttműködő, három-három függőleges orsóval dolgozó, közös villanymotorral hajtott fúró-marógép végezte. A csapfejek külső íveit két összekapcsolt marógép munkálta meg. A csapfejek közötti keskenyebb, párhuzamos kontúrt speciális hosszgyalugép forgácsolta le. A lánc jellegzetes körvonala ezzel elkészült. Az utolsó művelet egy vízszintes orsópárral dolgozó gépen a furatok pontos tengelytávolságra és kész átmérőre történő befejező fúrása volt. A XIX. század végének műszaki lehetőségeihez ötletesen illeszkedő technológia lépéseit a lenti ábra szemlélteti. A vonalkázott tartományok az egy műveletben leválasztott ráhagyásokat jelzik.

A különleges gépcsoport az Erzsébet híd lánclemezeinek legyártása után a Széchenyi Lánchíd felújításában kapott ismét szerepet. 1913-14 között az összes, még 1848-ban felszerelt angol gyártású láncszem újakra cserélték. A Budapesti Műszaki Egyetem Központi épületének magas földszinti folyosóján kiállított látványos műtárgyak a régi és új Lánchíd, valamint az Erzsébet híd eredeti lánclemezei.

A legkorábban épült, a gépjármű forgalomban azonban mindmáig használt lánchíd a skót-angol határt kijelölő Tweed folyó fölött 1820-ban emelt Union Bridge. Tervezője és építője az ipari forradalom érdekes alakja, Sir Samuel Brown (1776-1852) tengerészkapitány [3, 4].

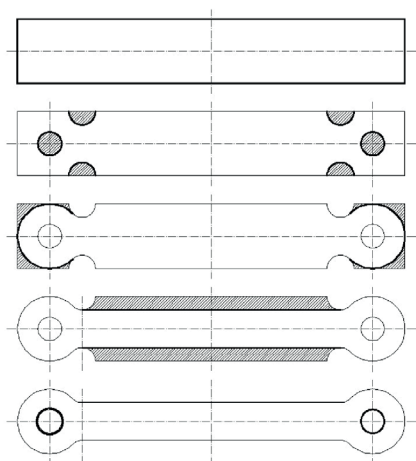
Az ifjú Brown 1795-ben lépett a brit hadiflotta szolgálatába, tevékenyen részt vett a napóleoni háborúban, 1811-re kapitányi kinevezést kapott. Az ambiciózus fiatal tengerésztiszt sokat foglalkozott a vitorlás hajók köteleinek problémáival. A kenderből készült kötelek gyakran elszakadtak, a hajókat rögzítő kötelek különösen nagy igénybevételt szenvedtek. Horgonyvetésnél a gyorsan lefutó, erősen sűrűlő és felhevülő horgonykötelek olykor kigyulladtak, szakadásuk több hajó pusztulását okozta.

Brown egy újfajta szemes láncot talált fel – ezt az alakot mindmáig használják a nagy hajók horgonyláncjaiban. A közepén keresztcsappal merevített láncszem terhelhetősége 20 %-al nagyobb volt a hasonló méretű, de keresztcsap nélküli láncra megengedett igénybevételénél [5].

Brown kapitány 1812-ben kilépett a flotta szolgálatából és unokatestvérével társulva megalapította a Brown Lenox & Co. céget. A láncok, horgonyok és tengeri bóják gyártásával foglalkozó vállalat 1812-1916 között a brit Admirális kizárólagos beszállítója volt. A cég monopol helyzetét idővel ugyan elveszítette, 2000-es bezárásáig azonban eredeti gyártmányprofiljával működött.



Alexander Nasmyth⁶ festménye az Union Chain Bridge-ről



Az Erzsébet híd lánclemezéinek gyártási fázisai



A Széchenyi lánchíd eredeti angol lánclemeze a BME K épületének folyosóján⁵

⁵ A felvételt Dr. Póka György készítette

⁶ Alexander Nasmyth (1758-1840) kora elismert skót portré- és tájképfestője volt. Liberális elkötelezettsége miatt arisztokrata megrendelőit idővel elveszítette, tájképeinek érdekességei az ipari forradalom alkotásai. Sokoldalú aktivitásának része volt egy népszerű festő- és rajziskola alapítása és vezetése, továbbá számos épület és híd tervezése. Egyik fia, James (1808-1890) a modern szerszámgépek kialakításában szerzett komoly érdemeket, nevéhez fűződik a gőzkalapács (1842) feltalálása.

Brown számos láncokkal kapcsolatos találmányt jelentett be. Az egyik legjelentősebb szabadalma egy új függőhíd konstrukció volt, amelynek ötletét – állítólag – egy pókháló látványa sugallotta.

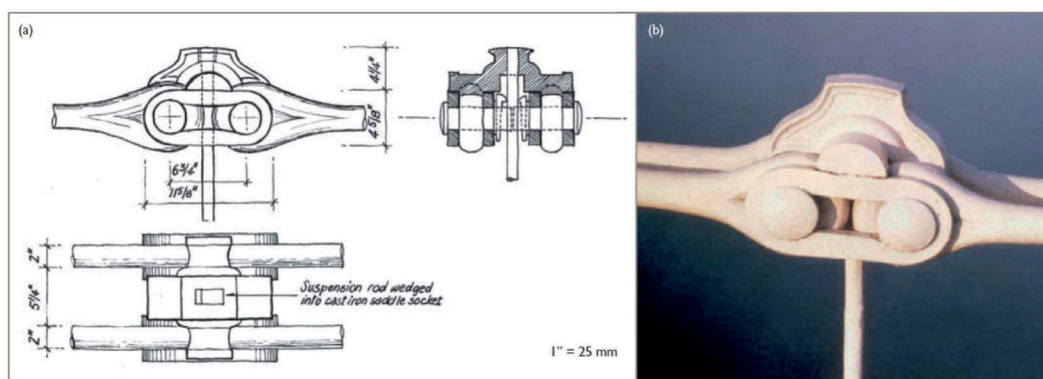
A leleményes tengerész először az általa feltalált, az alábbi ábra szerinti láncokra függesztett híd 32 méter hosszú modelljét építette meg. A legkülönbébb próbaterhelésekre is megfelelően stabil modell igazolta a konstrukció helyességét. 1820-ban avatták fel az egy év alatt megépült, a maga korában egyedülálló műszaki csodának számító hidat.

A súlyosan megterhelt járművek részére jól használható remekműről szóló [6] tanulmány a reformkori magyar szakirodalom fontos emléke. Szerzője Széchenyi Istvánt megelőzve, éppenséggel a Union Bridge sikerére hivatkozva, elsőként javasolta a Budát Pesttel összekötő lánchíd megépítését.

sohasem volt, grandiózus méreteket kereste. Atyai barátja és kollégája, George Stephenson (1781-1848) a vasúti nyomtávot 4 láb 8 ½ inch⁷ távolságban határozta meg, a tőle rendelt vaspályákat, mozdonyokat és vagonokat ezzel építette. Brunel 7 láb ¼ inch nyomtávval készítette járműveit és a Great Western Railway vasútvonalait. Kísérletekkel igazolta, hogy a széles nyomtávú mozdonyok lényegesen gazdaságosabban dolgoznak – ám 1892-re a brutálisan széles sínpályák utolsó szakaszát is felszámolták.

Másik, bizzar fejlesztése a vákuum hajtású vasút volt. Az ígéretesnek indult, majd néhány kudarcot követően, gyorsan felhagyott rendszer megőrzött részletei máig láthatók [10].

A zseniális mérnök igen nehezen nyerte el a Box vasúti alagút tervezésének és építésének megbízását. A példás gyorsasággal elkészült műtárgyról mihamar elterjedt, hogy a gáncsokodó ellenfelek bosszantására úgy tájolták, hogy a felkelő nap éppen az alkotó születésnapján, április 9-én világítsa végig – a maga korában természetesen legnagyobb, 1 egész és ¾ mérföld hosszú – nyílegyenes alagutat. A legenda újabb csavarja, hogy a felkelő nap valójában április 3-án, Brunel nagyon szeretett kishúga születésnapján sűt végig a sínek fölött [10].



A Union Bridge két láncszemének csatlakozása [7]

2002-ben a BBC „Great Britons” című műsorában Nagy Britannia történetének legfontosabb személyeit kereste. A telefonon, e-mailben és interaktív televízió leadott sok százezer szavazat alapján az első helyezett Sir Winston Churchill, a második Isambard Kingdom Brunel (1806-1859) lett [8].

Brunel a viktoriánus kor legkiválóbb mérnöke [7] már igen fiatalon bizonyította elképesztő munkabírást és alkotó tehetségét. A sokáig megvalósíthatatlannak tűnő londoni Temze-alagút tervét apja, az idősebb Sir Marc Isambard Brunel (1769-1849) készítette, míg az építkezést a 18 éves fiú vezette. A lassan készülő alagút többször beomlott, a bezúduló víz és iszap számos áldozatot követelt. A dögletes levegőjú mélységből az ifjú Brunel hetekig nem jött a felszínre, ám valamennyi katasztrófát szerencsésen túlélte, sőt az omlások nyílásainak eltömítését is személyesen irányította.

Első, önálló remekművét, a lenyűgöző Clifton lánchídat száznál több alagút, híd és vasútvonal terve és építése követte. Brunel minden alkotásában az új megoldásokat, a

André Galle (1761-1844) 1828-ban feltalált csuklós lánc lassú mozgások átvitelére és nagy húzó igénybevételek felvételére mindmáig használatos⁸. Brunel statikus teherviselő és mozgó konstrukcióiban előszeretettel alkalmazott láncokat.

Első hajója, az Atlanti óceánt átszelő Great Western lapátkerekes gőzös 1838-as forgalomba állásakor a legnagyobb utasszállító volt. Méreteit csak a következő, 1845-ben elkészült Great Britain múlta felül. A hajó gőzgépe óriási Galle-lánccal hajtotta meg a tengerjárókon – ugyan csak elsőként – alkalmazott propeller csavart⁹. A nagyszerűen helyreállított óceánjáró ma Bristol első számú látványossága.

Brunel harmadik, a minden korabeli hajónál hatalmasabb Great Eastern gőzöst rengeteg szerencsétlenség sújtotta. Egy közkeletű városi legenda szerint két szegecselő munkást véletlenül bezártak az épülő óriás hajó fenekébe, az ő átkuk okozta a sok balesetet, tragédiát.

⁷ A világ vasútjainak túlnyomó többsége ezt a nyomtávot használja.

⁸ DIN 8160

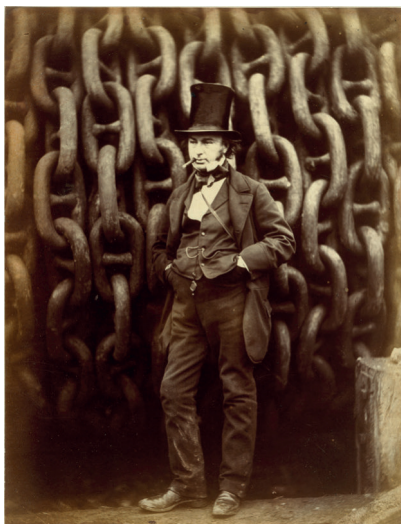
⁹ A hajócsavar alakját Brunel alapos kísérletekkel határozta meg.

¹⁰ Robert Howlett (1831-1858) készítette a szabadtéri fényképezés egyik első remekét. A brit fotózás legfontosabb úttörőjének tragikusan korai halálát – a korabeli legendákat cáfolva – nem a munkájához használt rengeteg kollódium vegyszer, hanem tifusz fertőzés okozta.

A zsebre vágott kézzel, hetykén szivarozó Brunel leghíresebb fényképén a brit úriemberek szokványos öltözkékét viseli. Az elegáns cilinder, nyakkendő, az óraláncos mellény folytatásaként a foltpettyes nadrág, az otromba, sáros bakancs, s mögötte legnagyobb hajójának – éppenséggel a Brown Lenox & Co. vállalat készítette – félelmetes láncra mindent elmond erről a fantasztikus személyről¹⁰.

Brunel születésének bicentenáriumát Nagy-Britanniában fényesen ünnepelték. Az évfordulóra a nagy mérnök jellegzetes portréjával 2£-os pénzérméket bocsátottak ki, és a nevét viselő londoni műszaki egyetemen életnagyságú szobrát állították fel.

Az érmék ritka verethibáik okán komoly numizmatikai értékkel bírnak. Az emlékmű nagy vihart váltott ki, mivel az alkotó művész a közismerten láncdohányos Brunelt elengedhetetlen szivarja nélkül mintázta meg [11]...



Isambard Kingdom Brunel és a Great Eastern láncai [12]

Laczik Bálint

Irodalomjegyzék

- [1] Seefehlner Gy.: A budapesti eskü-téri Duna-híd láncosainak gyártása, Magyar Mérnök XXXIV. kötet, III. füzet, 1900. évf. 49-69. o.
- [2] <https://tudas.hu/ket-mernok-osszecsapasai-kozepette-epult-fel-budapest-ket-hidja/>
- [3] G. Miller: Union Chain Bridge: linking engineering, Proceedings of ICE Civil Engineering 159 May 2006 Pages 88-95. Paper 13981

<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/epdf/10.1680/cien.2006.159.2.88>

- [4] Union Chain Bridge honlapja: <http://unionchainbridge.org/> (megtekintés: 2023.12.27.)
- [5] C. Bach: Die Maschinen-Elemente, Stuttgart, 1897, Verlag von Arnold Bergsträsser, 488. o.
- [6] Petrőzai Trattner K.: Egy függő-hidnak felállításáról Buda és Pest között, Tudományos Gyűjtemény 12. évf. 2. szám, szerk. Vörösmarty Mihály, 1828, 60-90. o.
- [7] L.T.C. Rolt: Isambard Kingdom Brunel, Penguin Books 1989, ISBN-13: 978-0-140-11752-3
- [8] The Guardian: Churchill wins BBC battle of Britons: <https://www.theguardian.com/uk/2002/nov/25/bbc.artsandhumanities> (megtekintés: 2023.12.27.)
- [9] The Guardian: New twist in mystery of Brunel's birthday sunrise: <https://www.theguardian.com/culture/2020/apr/05/new-twist-in-mystery-of-brunels-birthday-sunrise> (megtekintés: 2023.12.27.)
- [10] The vintage news: Brunel's atmospheric railway was one of the most visionary engineering projects of 19-th century England: <https://www.thevintagenews.com/2017/03/23/brunels-atmospheric-railway-was-one-of-the-most-visionary-engineering-projects-of-19-th-century-england/> (megtekintés: 2023.12.27.)
- [11] BBC News: Missing Brunel cigar sparks row: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/england/london/5194478.stm> (megtekintés: 2023.12.27.)
- [12] The MET Museum: Isambard Kingdom Brunel Standing Before the Launching Chains of the Great Eastern: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283083> (megtekintés: 2023.12.27.)



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Előfizetés

A 2024-es előfizetés

a 2023-as,

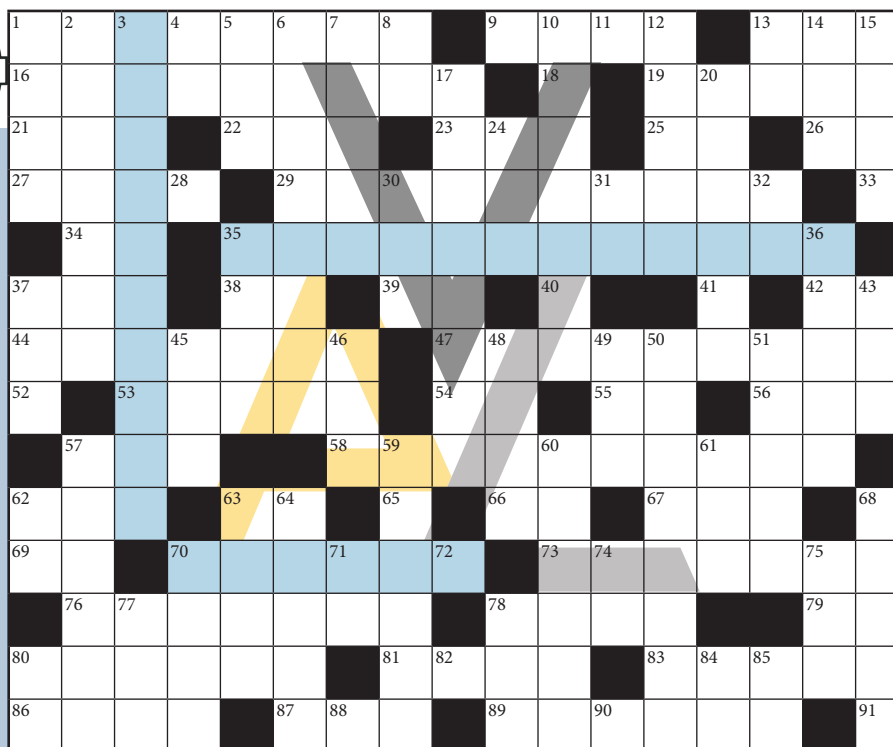
32.000 Ft + 5% áfa

áron elérhető.

Előfizetési szándékát a MAROVISZ-nál jelezze:

marovisz@marovisz.hu

Anyagvizsgálók Lapja keresztrejtvény



Vízszintes

1. Tudományos társaság
9. Zenei irányzat
13. Após
16. Német viziló
18. Római ötven
19. Famunkát végez
21. Autó márká
22. Lapka közepe!
23. Olasz közszolgálati média cég
25. Pályaudvar rövid.
26. Görög betű kiejtve
27. Vájat
29. Egy termodinamikai fogalom
33. Luxemburg autójel
34. Audi típus
35. **Megfejtés I, A Lánchíd tervezője**
37. Német épület
38. Pest közepe!
39. Csoki fajta
40. Spanyol autójel
41. Rádus
42. Álmosít
44. Hirtelen keresztül húzó
47. Átalakító
52. Röntgen rövid.

53. Jegyzetelő
54. Fekete István legye
55. A Gangesz kezdete!
56. Azonos betűk
57. Nem kívánt
58. Csillagkép
62. Férfi elegáns felsőrész
63. Elektronikai márká
65. Ló része!
66. Kettős betű
67. Középen rikoltó!
68. Fontos vitamin
69. ...móg
70. **Megfejtés II, Az első működőképes lézer megalkotója**
73. Női név
76. Község Heves megyében
78. Juhok lakhelye
79. Magam
80. Hegyen közlekedtet
81. Latin egyenes, helyes
83. Becézett női név
86. Betakarít
87. Angol igen
89. A párkák egyike
91. A levegő egyik összetevője

Függőleges

1. Női név
2. Megszüntet
3. **Megfejtés III, Az informatika megalapozója**
4. Palládium
5. Tréfa vége!
6. Szabó István filmje
7. Jegyzetelget
8. Juttat
9. Ábécénk harmadik betűje
10. Honorál
11. Névelő
12. Etet
13. Szintén
14. Apró részecskék halmaza
15. Alábról
17. Szentpétervári képtár
20. Brit hajózási vállalat
24. Ceruza elem fajta
28. Alfa latin megfelelője
30. Örök közepe!
31. Személyi számítógép
32. Török autók jele
35. Német ha
36. Szlav név
37. Lokál

43. Feleségem
45. Bajt okoz
48. Váltásdíjat kérek érte
49. Latin én
50. Hajnal
51. Bronté keresztneve
57. Kárpátjai város
59. Formával bír
60. Igyekszik
61. Szélhárfá
62. Vakáció vége!
63. Hon
64. Kistermetű madár
68. Nyugat-afrikai ország
70. Szabványokkal foglalkozó testület
71. Meredély eleje!
72. Semleges gáz vegyjele
74. Sok kétharmada!
75. Vágó szerszám
77. Íme, a Halotti beszédben
78. Atka része!
80. Jelenleg
82. Sugár
84. Rhesus faktor
85. Végén izzó!
88. Erme
90. Régi

A helyes megfejtők között a **MTDL - Magyar Tartály Diagnosztikai Laboratórium Kft.** által felajánlott ajándék kerül kisorsolásra.

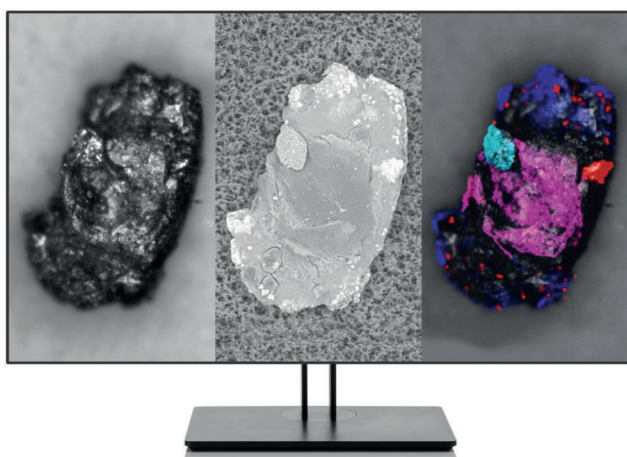
A megfejtéseket az avilap.szerk@gmail.com email címre várjuk, ahol a tárgy mezőbe tüntesse fel a "Keresztrejtvény" kifejezést.

Beküldési határidő: **2024. április 5.**

A 2023/II. lapszám keresztrejtvényének nyertese: Pusztai-Spisák Bernadett

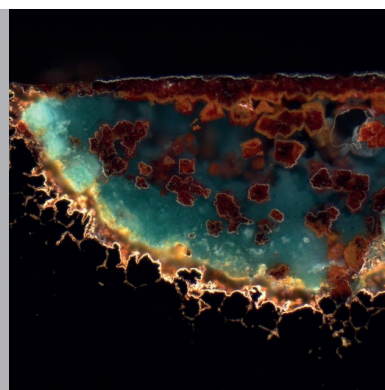
Millimétertől nanométerig

A ZEISS termékei az anyagvizsgálatban



A ZEISS innovatív megoldásokat és szolgáltatásokat kínál az anyagtudományi kutatás és a gyártói minőségbiztosítás területén.

A belépő szintűtől a csúcskategóriáig, a mm-től a nanométerig ideális mikroszkóp és szoftver megoldásokat kínálunk feladatai megoldására a piacon elérhető legszélesebb választékból.

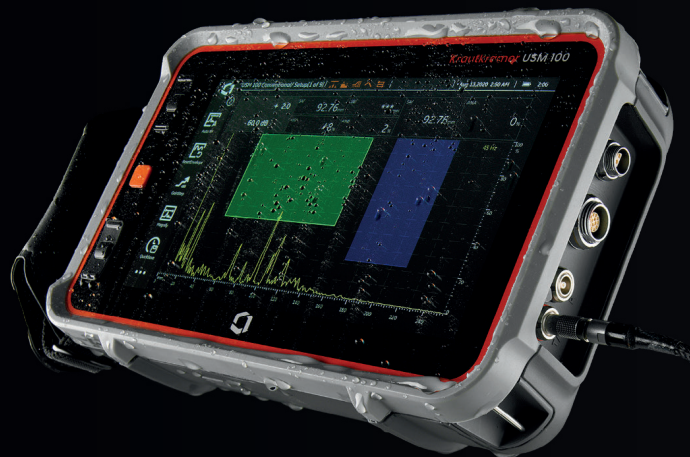


ULTRAHANGOS ANYAGVIZSGÁLAT



ÚJRAGONDOLVA

- Intuitív, érintőkijelzős kezelés
- Egyedi vizsgálati programok készítése pillanatok alatt.
- B- és C-kép felvétel; szkennelés bemenet
- Falvastagság méréshez adatrögzítő
- Beépített vizsgálófej adatbázis (DGS), DAC/TCG, DGS, AWS D1.1/1.5 görbék
- PC és iOS app. Műszer flotta felügyelet.
- Elfordítható kijelzés, mágneses készülékállvány, IP 67 szintű védetség, WiFi, USB-C.
- Hazai szerviz háttér, akkreditált kalibráló laboratórium.



Smarter decisions, faster.
Krautkrämer USM 100



**Waygate
Technologies**
a Baker Hughes business

Forgalmazó:



www.ketech.hu