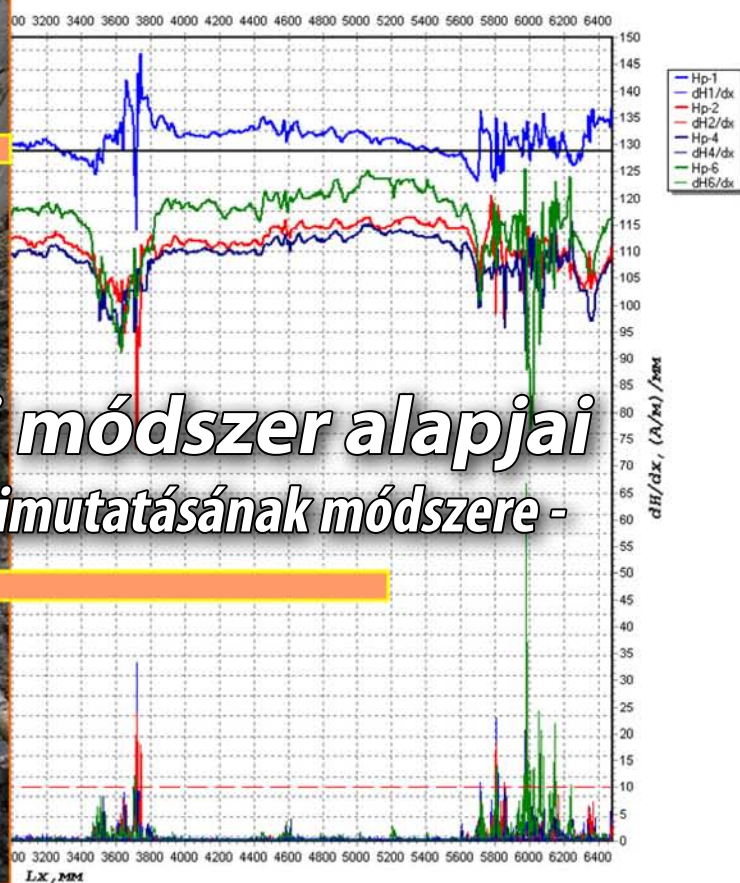




ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu 2020/IV. lapszám



Az MMM vizsgálati módszer alapjai - az ipari károsodások korai kimutatásának módszere -

A lap kiemelt
ipari partnere a
TRANS LEX WORK Kft.



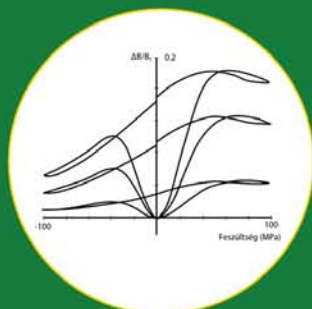
Fővállalkozás | Gépkarbantartás
Diagnosztika | Anyagvizsgálat

tlw.hu

Portré:
Joó Gyula



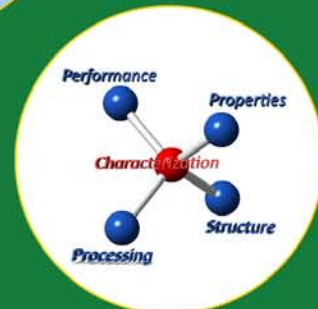
MAE elnökök:
Gillemot László



MMM



Ultra nagynyomású
rendszerek



Anyag



HNF Technologies Kft.

Iroda: 1092 Budapest, Ferenc krt. 22.

Telephely: 1106 Budapest, Fehér út 10.

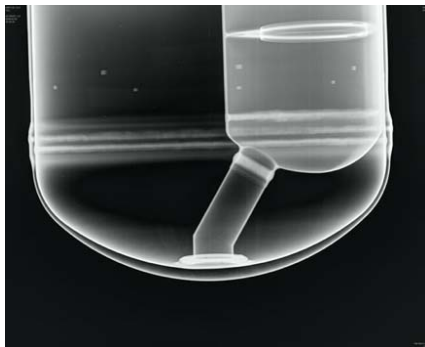
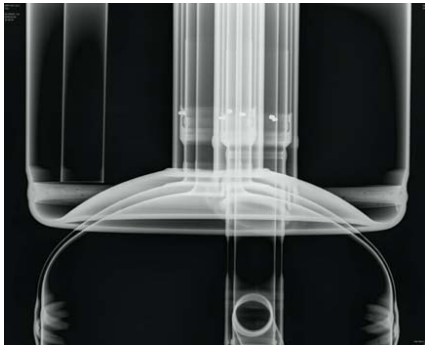
Telefon: +36-1-605-4900

E-mail: info@hnftec.hu

www.hnftec.hu

Nukleáris Kutatóreaktor Berendezések Atomerőművi és Hőerőművi Berendezések Olaj- és Gázipari, Vegyipari Berendezések

***Auszténites acélok, Szénacélok
Alumínium ötvözetek***



***Gyártás és ellenőrzés
magas színvonalon***

Vizsgálati módszereink:

- He tömörség vizsgálat
- Szilárdsági vizsgálatok
- Nyomáspróba
- MMM hibakeresési eljárás
- Folyadékbehatolás vizsgálat
- Röntgen átvilágítás



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség Lapja
MAROVISZ

Az ország vezető szaklapja.
Alapítva: 1991-ben.

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

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

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

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

fax: (36-1) 278-0633;

e-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

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

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztőbizottsága:

Dr. Dívós Ferenc

Dr. Dudra Judit

Kecskés Péter

Lutor Attila

Dr. Mankovits Tamás

Skopál István

Szűcs Pál

Zsoldos Zsuzsanna

Dr. Tóth László, felelős szerkesztő

Dr. Trampus Péter, felelős kiadó

Berki Gábor, főszerkesztő

Erdei Réka, digitális szerkesztő



Az elektronikus folyóirat szerver háttérét a
tripladuplav.hu
webstúdió biztosítja.



ISSN: 1215-8410

JEGYZET

Lapunk előző számának Jegyzet rovatát a 2019-ben Kínában megjelent korona-vírus „munkálkodásával” kezdtem. Sajnos még most sem tudom írni azt, hogy vége! Most, október elején a Johns Hopkins Egyetem honlapján olvasható adatok a következők¹: 57 millió a fertőzöttek és több mint 1 millió az elhunytak száma. Mindezen adatok a teszteléssel megállapított, igazolt esetek eredménye. Egy tegnapi hír szerint azonban a föld lakosságának mintegy 10%-a érintett lehet e pandémiában. Ez pedig – a mai adatok szerint – a közel 7,82 milliárd népesség² figyelembevételével – 782 millió fertőzöttet jelent! Egy tény: a természet „eredményesen dolgozik”. Az okokról pedig el lehet gondolkodni! Ezt mindenki egyénileg megteheti. A társadalom ugyancsak „választ ad” erre a kihívásra. A „mikéntjének” meghozatala a döntéshozók feladata, de „elszenvedői” a társadalom tagjai. Jogos a Tisztelt Olvasó kérdése: „Mit keres a csizma az asztalon?”, azaz mit keresnek az előző mondatok éppen az Anyagvizsgálók Lapjában és ebben a lapszámban?

Az ok viszonylag egyértelmű és egyszerű. Környezetünk felmutat valamit és a kisebb-nagyobb csoportok megadják sajátos válaszukat, amelyben fellelhetők az egyedi sajátosságok is. Így van ez a mi szakmánkban is. Hogy mennyire így, azt próbáljuk követni az MMM (Metal Magnetic Memory) vizsgálat megjelenése, elterjedése kapcsán, amelyre e lapszám fókuszál.

Az MMM vizsgálatok a roncsolásmentes vizsgálatok egyike. Ezek ipari alkalmazásának bevezetése a következő évszámokhoz kötődnek: **1876**, mágneses; **1895**, radiológia; **1925**, izotóp; **1927**, mágnesporos; **1929**, potenciálás; **1933**, penetráció; **1933**, örvényáram; **1936**, akusztikus emisszió; **1942**, ultrahang; **1996** MMM; **1997**, fáziseltolódásos ultrahangvizsgálatok (PAUT). A felsorolt vizsgálatok megjelenésének hajtóereje a mindenkor gazdasági környezet (társadalom igénye), a megvalósulás színvonal pedig az adott kor ismerethalmaza és eszközrendszere (a szakmai társadalom válasza). E szemüvegen keresztül nézve az évszámokat: **1876** – az ipari forradalomhoz, **1895 - 1942** periódus a háborús időszakok termeléséhez köthető, majd egy félévszázad látszólagos nyugalmi periódus következett. A látszólagos kifejezést azért használtam, mert az orvostudomány már az 1970-es évek elején bevezette az ultrahangvizsgálatot a születendő gyermekek nemének korai érzékelésére. Az ipar – tehát a környezet – nem igényelt ugyanilyen típusú vizsgálatot, mert a törésmechanika és a számítástechnika nem volt azon a színvonalon, ami a gyakorlati alkalmazást lehetővé tette. E környezet csupán az 1990-es évek második felére formálódott meg műszakilag alátámasztott igényként. A szakmai társadalom „válasza” az MMM és a PAUT szinte azonos időben való megjelenése.

E lapszám az MMM-re koncentrálva került összeállításra, abban bízva, hogy a Tisztelt Olvasó ismerethalmazában egy újabb és mélyebben is megértett vizsgálati eljárás honosul meg.

Tóth László

¹ Koronavírus megbetegedések száma: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (2020.11.20.)

² A világ népessége: <https://www.worldometers.info/hu/> (2020.11.20.)

TARTALOMJEGYZÉK

RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK - NON-DESTRUCTIVE TESTING

Ladányi P., Dubov, A. A., Trampus P., Dande K., Magyar L.: Az MMM vizsgálati módszer alapjai, hazai és nemzetközi gyakorlata. Az ipari károsodások korai kimutatásának módszere P. Ladányi, A. A. Dubov, P. Trampus, K. Dande, L. Magyar: Fundamentals of the MMM test method, domestic and international practice. Method for early detection of industrial damage	5
Skopál I.: Az MMM vizsgálat alapjai I. Skopál: Basics of MMM testing	28
Joó Gy.: Ultra nagynyomású rendszerek meghibásodásai: a megelőzés érdekében végzett ellenőrzések és MMM vizsgálat Gy. Joó: Failures of ultra-high pressure systems: preventive inspections and MMM testing	39

PORTRÉ - PORTRAIT

Tóth L.: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének elnökei – Gillemot László (2012-2014) L. Tóth: Presidents of the Hungarian Association for Material Testing – László Gillemot (2012-2014)	48
Skopál I.: Joó Gyula portréja I. Skopál: Portrait of Gyula Joó	50

FÓRUM - FORUM

Tóth L.: Vitaforum: "Anyag" - "Anyagtudomány" - "Anyagtechnológia" definíciója L. Tóth: Discussion forum: Definition of „Material” - „Material Science” - „Material Technology”	55
Tóth L.: "Anyag" - "Anyagtudomány" - "Anyagtechnológia" definíciója L. Tóth: Definition of „Material” - „Material Science” - „Material Technology”	56
Kaptay Gy.: A műszaki anyag, a műszaki anyagtudomány és az anyagtechnológia definíciói G. Kaptay: The definitions of engineering materials, engineering materials science and materials technologies	58

HÍREK - NEWS

Tóth L.: Könyvismertető – Hargittai Balázs: Négyszemközt a tudománnyal. Válogatás Hargittai István írásából L. Tóth: Book Review – Balázs Hargittai: Face to face with science. A selection from the writings of István Hargittai	70
--	----

Az MMM vizsgálati módszer alapjai, hazai és nemzetközi gyakorlata

Az ipari károsodások korai kimutatásának módszere

Ladányi Péter¹, A.A.Dubov², Trampus Péter³, Dande Kristóf⁴, Magyar Lajos⁵

¹Interproject Europe Kft., ügyvezető, tulajdonos, interproject.eu@gmail.com

²Energodiagnostika Ltd., ügyvezető, tulajdonos, mail@energodiagnostika.ru

³Dunaújvárosi Egyetem, professor emeritus, trampus@uniduna.hu

⁴Trans Lex Work Kft., laborvezető, dande.kristof@tlw.hu

⁵Trans Lex Work Kft., tulajdonos, c. egyetemi docens, magyar.lajos@tlw.hu

Összefoglaló

Az MMM módszer az elmúlt évtizedben rohamos fejlődésnek indult. Megjelent az új ISO szabvány, tudományos cikkek sorát publikálták neves szakmai lapok, több doktori munkát írtak. A világ egyre több országában kezdték alkalmazni.

A módszer lényege az, hogy a munkadarab felszíne mentén lévő szórt mágneses fluxushoz kötődik az indikáció. Más fizikai jelenség áll a szórt fluxus keletkezésének hátterében, mint a hagyományos mágnesezhető poros és egyéb mágneses vizsgálatoknál. Az MMM kimutaja a fémszerkezetben meglévő feszültséggyűjtő helyeket, valamint a mikro- és makroszerkezeti hibákat. Felhasználható a berendezésekben kialakulóban levő repedések korai előrejelzésére. Földbe fektetett távvezetékek feltárás nélküli vizsgálatára ugyanúgy alkalmazható, mint berendezések szigetelésén keresztüli ellenőrzésére.

Kulcsszavak

Roncsolásmentes anyagvizsgálat, szórt mágneses fluxus, maradó feszültségek, feszültség-alakváltozás, ipari károsodások megelőzése

1. Bevezetés

Az MMM (Metal Magnetic Memory) roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerről az elmúlt évtizedben számos konferencián hangzott el magyar nyelven előadás és megjelentek rövidebb hazai publikációk is. Ez a cikk az első Magyarországon, amely egy összefoglalást ad a módszer történetéről, fizikai alapjairól, hazai és nemzetközi gyakorlatáról, referenciáiról és arról, hogy miben különbözik a jelenleg használt hibakereső módszerektől, illetve miben közös azokkal.

E cikknek az ad igazán aktualitást, hogy most jelentek meg az ISO 24497-1:2020 [1] és ISO 24497-2:2020 [2] jelű szabványok, melyek felváltották az e témakörben már 2007-ben kiadottakat. Az új szabványkettős

három évig készült, és közel tíz ország szakemberei fejtették ki észrevételeiket, javasataikat, melyeket bedolgoztak az új szabványba.

A 2007-es verziót a Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding, IIW) Roncsolásmentes Anyagvizsgálattal és Minőségellenőrzéssel foglalkozó bizottsága (Commission V) készítette elő és terjesztette az ISO szakbizottsága elé jóváhagyásra. Sajnos ezekben a szabványokban több fogalmi pontatlanság maradt benne, ami félreértésekre és véletlen vagy szándékos félremagyarázásokra adott okot. Ezeket az új szabványokban már kiküszöbölték.

Az általános mechanikával foglalkozók számára az volt nehezen elfogadható, hogy az MMM a fémszerkezeteket nem tekinti homogénnek és izotrópnak, a részletesen kidolgozott törésmechanikán felnőtt szakember gárda pedig úgy véli, hogy a szerkezetet akkor kell vizsgálni, amikor már kimutatható benne a repedés, míg az MMM módszer már ezt megelőzően méri és elemzi a fémszerkezetek inhomogenitását, feszültséggyűjtő helyeit ott, ahol még nem jelent meg repedés.

Az MMM koncepció lényegét Anatolij Dubov professzor először 1994-ben a Nemzetközi Hegesztési Intézet 47. pekingi éves közgyűlésén mutatta be, majd 1996-ban a párizsi IIW konferencián és később a 7. WCNDT-n ismertette részletesen a szakembereknek. Ekkorra már bő évtizedes kutatómunka állt mögötte e téren. Ő vezette több, mint húsz évig azt a műszaki-tudományos bizottságot, amely a nagyszámú orosz erőmű megbízhatóságának, meghibásodásainak okát volt hivatott vizsgálni és elemezni. E tevékenysége alatt figyeltek fel arra a jelenségre, hogy a károsodások, törések felületén megnövekedett mágnesesség mérhető.

Az oroszországi rendszerváltozás bekövetkeztével Dubov professzor otthagytta komoly beosztását és jól fizető állását és megalakította az Energo-diagnostika nevű cégét (egyedül, üres kasszával, ahogy jellemezte az akkori körülményeket)[3],

hogyan a módszer elméleti alapjainak és gyakorlatának megalapozására szentelte élete további részét. E téren írt tudományos könyvei mellett számtalan szabvány és iparági előírás kidolgozásában vett részt, 1994-től 2019-ig 50 elfogadott IIW dokumentumot készített, létrehozott cégén belül egy gyártóbázist, ahol az MMM berendezéseket maguk tervezik és állítják elő, illetve szervizelik mind a mai napig. Az Energodiagnosztika elkezdte az MMM-en alapuló széleskörű ipari vizsgálatokat. A JSC Gazprom és más ismert olaj- és gázipari óriásvállalat megrendelése, illetve az a tény, hogy az Orosz Műszaki Biztonságtechnikai Hatóság (Rostekhnadzor Szluzsbű) beemelte az általa elfogadott vizsgálati eljárások körébe, hozta meg a módszer számára a döntő áttörést. Létrejött egy ma már nemzetközileg elfogadott oktató és tanúsító intézet, amely az ISO 9712 szabvány alapján dolgozik. Mára több mint 3000 fő a vizsgázottak létszáma, ebből 500 fő kínai és 300 fő egyéb külföldi országból érkezett.

A módszer először Oroszországban terjedt el, ahol sok száz vállalat képezte ki anyagvizsgálóit, majd a Baltikum országaiban, Ukrajnában, ezután egy Lengyelországban létrehozott leányvállalatán keresztül megindult az alkalmazás Lengyelországban, majd a közép-kelet-európai országokban, Csehországban és Magyarországon. Nagyelőrelépés volt Kínában egy bázist létrehozni az MMM berendezések értékesítésére és oktatásra. Ma ebben az országban (valamint Dél-Kelet Ázsiában és Dél-Amerikában) terjed a módszer leggyorsabban, kínai tudományos cikkek sora és doktori disszertációk szinte havonta jelennek meg az MMM módszer alapjairól és használhatóságáról nemzetközileg elismert szaklapokban. A módszer hazai elterjedésének krónikája az 1. mellékletben (Az MMM eljárás hazai bevezetésnek főbb eseményei) található. Az itthoni vizsgálatok elterjedésében élenjáró szerepe volt a Trans Lex Work Kft.-nek és a TÜV Rheinland InterCert Kft.-nek, valamint a MAROVISZ támogatásának, mely szervezésében három nemzetközi MMM konferenciát tartottak Budapesten (2014, 2016, 2018) az elmúlt évtizedben.

Az MMM a Metal Magnetic Memory szavak rövidítése. Azért használjuk az MMM elnevezést, mert nemzetközileg ismert és rendszeresen használt, másrészt nincsen még hivatalos magyar megfelelője. A szó szerinti fordítás, fémek mágneses memóriája talán furcsán hangzana, jobb lenne az emlékezete kifejezés, de már az angol verzió is vitatható. Sok magyarázat és félremagyarázat jelent meg az MMM megnevezéséről, de legjobb lesz, ha a szerzőt idézzük:

“A módszer kidolgozásakor sok szakember tévesen úgy vélte, hogy ez az új technika egy, a már meglévő mágneses vizsgálatok sorában, holott ebben az esetben a munkadarab felszíne mentén lévő szórt mágneses fluxushoz kötődik az indikáció.

Itt más fizikai jelenség áll a szórt fluxus keletkezésének hátterében, mint a hagyományos mágnesezhető poros és egyéb vizsgálatoknál. A módszer alapjaiban más fizikai alapokon nyugszik és hogy azonnal megkülönböztethető legyen a “hagyományos mágneses vizsgálatoktól”, adtam ezt a sajátos megnevezést, ami bizonyos reklám előnyökkel is járt a módszer elterjesztésénél.” tárja fel a szerző [3].

2. Az MMM módszer fizikai alapjai

Általánosságban véve, egy ismert anyagból készült termék M mágnesezettsége az alábbi tényezőktől függ:

$$M(H_e, T, \sigma, V, m), \quad (1)$$

ahol:

H_e - a külső mágneses tér (általában a Föld mágneses tere $\pm 45 \div 50$ A/m);

T - hőmérséklet;

σ - a ferromágneses anyagú testen belüli feszültség;

V - a ferromágneses anyagú testek térfogata;

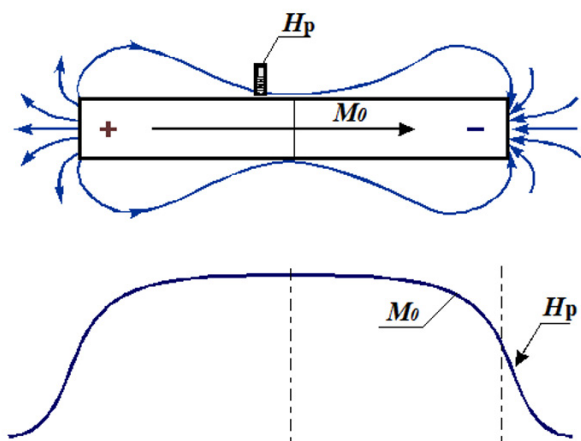
m - tömeg;

V, m - a térfogat és a tömeg, illetve a termék geometriai méretei egy meghatározott termék-típus vonatkozásában állandó értéknek számítanak.

A terméken belüli feszültségek elsősorban az adott gyártási technológiától függő (olvasztás, kovácslás, sajtolás, hengerlés, hegesztés, hőkezelés stb.) valós környezeti körülmények között történő lehűlése során keletkeznek. Az öntvény külső felülete gyorsabban hűl, mint a belső részei, így hőmérsékletgradiens keletkezik, ami szintén létrehoz belső feszültségeket.

Az ily módon a termékekben létrejött maradandó mágnesezettség mértékét és irányát a következő tényezők befolyásolják: a termék alakja, a termékben meglévő belső (maradó) feszültségek mértéke és iránya, illetve a termék elhelyezkedése a Föld vagy az adott gyártóüzem gyenge mágneses teréhez viszonyítva.

A fémekben, természetes körülmények során létrejövő maradó mágnesezettség miatt kapta önkényes megnevezését – MMM, azaz Metal Magnetic Memory. Számos kísérleti tanulmány kimutatta,

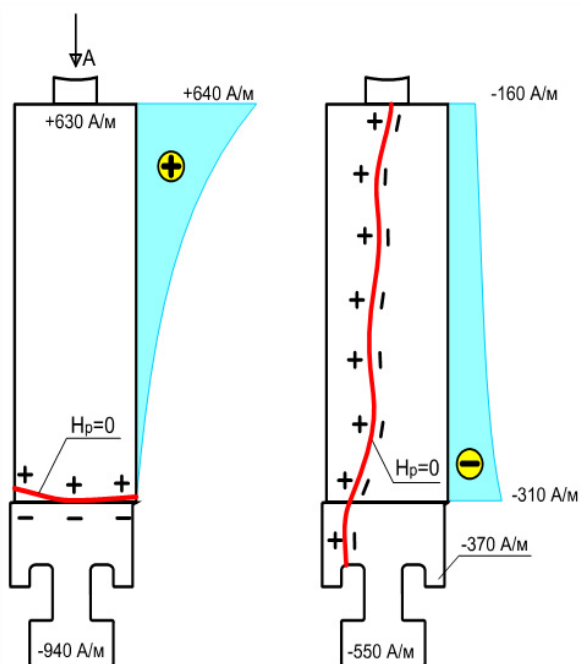


1. ábra: A mágneses térerősség (H_p) és mágnesezettség (M_0) hagyományos ábrázolása

hogyan a „fémek mágneses memóriája” tükrözi a termék szerkezeti és technológiai átalakítását.

A jelenlegi tudományos álláspont szerint a ferromágneses termékek mágneses térerősségét (H_p) és mágnesezettségét (M_0) csak a geometriai alak és a külső mágneses tér iránya határozza meg, lásd . A szerkezeti egyenlőtlenséget (inhomogenitást) és a maradó feszültségek jelenlétét az M_0 hagyományos meghatározásánál nem veszik figyelembe.

A 2. ábrán 2 db azonos típusú, új gyártású turbinalapát saját mágneses terének H_p eloszlása található. A képen jól látható, hogy a két turbinalapát H_p eloszlása élesen eltér egymástól az anyagszerkezeti inhomogenitásuk és a különböző belső feszültségeik miatt. A turbinalapátok mikroszkopikus repedéseit



2. ábra: MMM módszerrel meghatározott saját mágneses térerősség kimutatása (H_p) két egyforma turbina lapáton

az MMM módszer gyorsan és hatékonyan tudja kimutatni, ezért széles körben elterjedt a használata. A kutatások megállapították, hogy a termékek üzemeltetés közben létrejövő mágnesezettségének változását a magneto-elasztikus és a magneto-plasztikus hatás befolyásolja. Az is kiderült, hogy a termékek (például ferromágneses csövek) mágneses térerősség gradiens (ΔH_p) és mágnesezettség változás (ΔM_0) értékei egyértelműen a gyártási (húzás, nyomás, csavarás) és üzemeltetési körülmények (például ciklikus terhelés) során bekövetkezett feszültségekkel állnak kapcsolatban, ami lehetővé teszi ezen paraméterek felhasználását egyfajta „memória elemként” az MMM metódus kidolgozásához. Tehát, az üzemeltetés során a termékek mágnesezettsége (ΔM) megváltozik azon paraméterek hatására, amelyekre már utaltunk az (1) képletben, valamint figyelembe kell venni a termék gyártása és szerelése során keletkező változásokat. Ugyanakkor, olyan paraméterek, mint a H_e külső mágneses tér, térfogat, tömeg, anyag és a geometriai méretek azonos típusú termékek vonatkozásában állandó értékeknek tekinthetők. Csak a hőmérséklet és a termékekben, szerkezeti elemekben jelenlévő feszültségek és deformációk változnak. Figyelembe véve azt, hogy az üzemeltetés során a termékben történő hőmérsékletváltozás hőmérséklet-gradiens formájában jelenik meg (ΔT), ez a termék feszültségi állapotának változását is ($\Delta \sigma$) okozza.

A mágneses rugalmasság hatására létrejövő mágnesezettség növekedést az alábbi függvénnyel lehet bemutatni:

$$\Delta M_\sigma(H_e, \Delta \sigma) = \Delta M(H_e) + \Delta M_\sigma(H_e, \Delta \sigma), \quad (2)$$

ahol H_e a gyenge külső térerő (általában a Föld mágneses tereként értelmezzük):

$$\Delta M_\sigma \gg \Delta M(H_e). \quad (3)$$

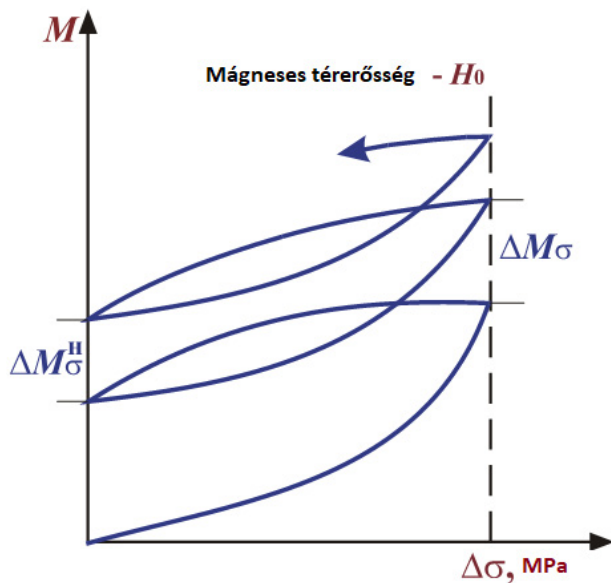
Itt meg kell jegyeznünk, hogy a mágnesezettség ΔM_σ változása terhelt állapotban és a terhelés megszűnése után eltérő értékeket képez.

Terhelt állapotban ($\Delta \sigma$ lehet visszafordítható és visszafordíthatatlan komponens) a képlet a következő:

$$\Delta M_\sigma = \Delta M_\sigma^{\text{rev.}} + \Delta M_\sigma^{\text{irrev.}}. \quad (4)$$

A terhelés megszűnése után a reverzibilis komponens $\Delta M_\sigma^{\text{rev.}}$ megszűnik és akkor (3. ábra):

$$\Delta M_\sigma = \Delta M_\sigma^{\text{irrev.}} \approx \Delta M_{\text{maradó}}. \quad (5)$$



3. ábra: Histerézis görbe. A ΔM_σ – maradó mágnesezettség változása, terhelt és terheletlen állapotban

ΔM_σ – maradó mágnesezettség változása, értelemszerűen terhelt és terhelés nélküli állapotban;
 $\Delta \sigma$ – a ciklikus terhelés változása;
 H_0 – külső mágneses tér.

A Föld mágneses terében a mágneses momentumok elmozdulása tapasztalható. Egy vas mintadarab kristályrácsait alkotó atomok mágneses momentumainak kialakulását és deformációját a [4] és [5] könyvek mutatják be részletesen. A tanulmány alapján megállapítható, hogy a mágneses síkok és a csúszási síkok, melyek energetikailag jöttek létre a kristályrács szintjén, teljesen megegyeznek. Feltételezhető, hogy a mágneses és mechanikai momentumok közötti szög (θ), atom, kristályrács, szerkezeti vagy makroszinten vizsgálva, megegyezik a diszlokációk okozta csúszási szöggel (α).

A momentumok közötti szög kiváltó oka az anyag saját rezgési frekvenciája. A mágneses és mechanikai momentumok között létrejövő szög a termékre gyakorolt külső mechanikai terhelés által kiváltott rugalmas és plasztikus rezgéseknek köszönhető.

Belső feszültség – az anyag **belső energiaváltozásának integráns jellemzője** egy **anyagszerkezeti elem** belül, melyhez az elem formájának, geometriai méretének és szög orientációjának változása járul a külső mezők hatására, és amelyet a feszültség-alakváltozás állapot paramétereivel lehet jellemezni.

Integráns jellemző – olyan kumulatív, egységes anyagjellemző, amely az anyag fő tulajdonságát tükrözi, azaz a saját energiakapacitást.

Anyagszerkezeti elem – az anyag olyan minimális mennyisége, amely rendelkezik geometriai alakkal, méretekkel, térbeli irányultsággal a rá ható erőterhez

viszonyítva, hordozza az anyag minden mechanikai tulajdonságát, tükrözi a belső energiasűrűség-változásokat és a belső feszültségek eloszlását. Összegezve, a belső feszültség (bizonyos korlátozásokkal) az anyag belső energiájának a sűrűsége.

A magneto-plasztikus hatás a ferromágneses anyagokban a mágneses permeabilitás (μ) és a diszlokációk sűrűségének (ρ) függvényében, külső mágneses- és mechanikai erőkkel történő kölcsönhatás során jelentkezik.

A gyenge külső mágneses tér nem képes megváltoztatni az atomok mágneses momentumainak sűrűségét és a hatása a ferromágneses anyagokban csupán a mágneses momentum vektorjainak ugrás-szerű, a lehető legjobb pozícióba történő elfordulásában jelentkezik.

A mechanikai erők viszont fordítva, nem képesek megfordítani a mágneses momentum vektorjainak irányát, de közvetlenül növelik azok sűrűségét, mindezt másféle módon, attól függően, hogy hogyan vannak orientálva egymáshoz képest a mágneses- és az erőter vektorjai (pontosan emiatt a „mágneses memória” maximális értéket mutat próbatetek kivágása esetén, például egy csődarab kimunkálása a Föld mágneses teréhez viszonyítva abban az irányban, amelyben a cső terhelése volt).

Az MMM energetikai elmélete azon alapszik, hogy minden ferromágneses anyag, amelynek meghatározott alakja van és meghatározott anyagból készült, saját energiakapacitással rendelkezik, ami meghatározza az ellenálló képességét a külső hatásokkal és károsodásokkal szemben. A kutatások azt az eredményt adták, hogy a határállapot, amikor a ferromágneses anyag degradációja fellép, ugyanazokat az energetikai jellemzőket adja, azaz a ferromágneses anyagok degradációs energiája, függetlenül a különböző körülmények és fizikai hatások kombinációjától, ugyanazt az energetikai konstanst képezi. Például, a vázolt eredményt úgy lehet elérni, hogy azonos mintákat tesztelünk a Föld gyenge mágneses terében, statikus és ciklikus húzó terhelések mellett (azaz általános laboratóriumi körülmények között) és ezt követően megmérjük a saját szórt mágneses fluxus értékét a károsodott felületek mentén. A mért értékek gyakorlatilag azonos eredményeket fognak adni, függetlenül a terhelés jellegétől.

Az MMM módszer kidolgozása során kapott eredmények természetesen összhangban vannak az energiamegmaradás törvényével. Az energiamegmaradási törvény a termodinamikai és erőhatás-deformációs konstansok között feltárt kapcsolatban

is megmutatkozik [4]. Az erőterhatás-deformáció paraméterek átstrukturálják a diszlokációk sűrűségét (ρ). Következésképpen átrendeződik a próbatest mágnesezettsége. Függetlenül a lokális deformációktól és ρ lokálisan jelentkező változásaitól, a minta teljes térfogata és tömege változatlan marad. A ferromágnesben létrejövő belső feszültség olyan lokális energetikai jellemző, ami az anyag saját belső energiájának változását tükrözi az adott szerkezeti elemen belül vagy annak lokális környezetében, külső behatás következtében, és amely változást a feszültség-deformált állapot és annak mágneses paraméterei határozzák meg. A mágneses paraméterek a kísérleti és elméleti kutatások során feltárt, a mágneses és az erőter energiák közti mágneses-mechanikai összefüggés által meghatározott mágneses energiát tükrözik, lásd (6) és (7) képletet:

$$m = \frac{K_{\max}}{K_{\text{ave}}}, \quad (6)$$

ahol az m paraméter az anyag nyúlási kapacitásának határértéke [4].

A képletben $K_{\max}$ az erőter gradiens (dH/dx) határértékét jelenti, mely az MMM módszer által a feszültséggyűjtő helyeken kerül meghatározásra közvetlenül a mikro repedések keletkezése előtti fázisban, (vagy a repedésterjedés kezdeti szakaszán), a K_{ave} pedig a térerő gradiens átlagolt értéke, amit a feszültségkoncentrációs zónákban mért eredményekből számítások alapján határoznak meg. Ipari és laboratóriumi kísérletekből a próbatestek mágneses és mechanikai paraméterei között az alábbi egyszerűsített összefüggés állapítható meg [4][5]:

$$m_{\text{lim}} = \frac{K_{\max}}{K_{\text{ave}}} \approx \frac{K_{\text{lim}}}{K_t} \approx \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_t}. \quad (7)$$

A $K_{\max}$ and K_{ave} értékek az azonos típusú berendezéseken mérési eredményekből nyerhetők, megfeleltethetők a K_{lim} és K_t értékeknek, amelyeket azonos anyagú szakítópróbatesteken nyerünk, ezek úgyszintén megfeleltethetők mért valódi feszültségének a szakadás pillanatában σ_{lim} és a szakítószilárdságnak σ_t .

A (7) képlet egy egyszerűsített modell, nagyon fontos a ferromágneses anyagok mágneses és mechanikai paramétereinek és ezek összefüggéseinek MMM útján történő meghatározásához, további kutatások alapvető kiindulási pontja.

A károsodás növekedésének sebességét a kölcsönösen összefüggésben lévő termodinamikai

(hőtárolási kapacitás, hővezető képesség) és a belső feszültségek erőter-deformáció (fizikai deformációk és a deformációkkal szembeni ellenálló képesség) paraméterei határozzák meg.

A kísérleti és elméleti tanulmányok eredményeire támaszkodva, a végállapotok, illetve azokkal szervesen összefüggő kritériumok és alapvető fogalmak a következők:

- Az anyag végső állapota – ez egy végpotenciál, amit csak a belső energia átlagolt sűrűségének értéke határoz meg, amely az anyag individuális tulajdonságát képezi, és amely nem függ sem a szerkezeti elem méreteitől, konstrukciójától, sem a terhelési körülményektől.
- Az anyag tényleges állapota a lokális térfogatban – a belső energia tényleges sűrűségének értéke – az a tényleges potenciál, amit az anyag egyedi tulajdonságai, a vizsgált térfogat elhelyezkedése az anyagszerkezeti elemen belül, az elem méretei és terhelése határoznak meg.
- A létrejövő károsodás lokális méreteit az anyag egyedi tulajdonságai, a vizsgált anyagszerkezeti elem méretei és terhelése határoznak meg, amelyek következtésképpen meghatározzák a lokális deformációk tényleges eloszlását a szerkezeti elemekben. Méretük általában 0,01 és 5 mm között mozog.

3. Az MMM módszer gyakorlati alkalmazása

3.1 Feszültséggyűjtő helyek

Köztudott, hogy a gépek üzemeltetése során keletkező károsodások elsődleges forrását a feszültséggyűjtő helyek kialakulása jelenti, mely zónák az üzemeltetési terhelések során elsősorban kohászati és technológiai eredetű hibák helyein alakulnak ki.

A fémkohászati és technológiai eredetű gyártási hibák a termékek lokális zónáiban nagymértékű maradó feszültséget okoznak. A termékek maradó feszültségének ellenőrzése az egyes gyártóknál szelektíven történik. Az ellenőrzés során a maradó feszültség átlagolt (térfogati) szintjét mérik, a lokális maradó feszültségeket viszont nem veszik figyelembe, azokat kihagyják az ellenőrzésből. Ezen kívül az sem ismert, hogy hol vannak ezek a helyi zónák és hogyan lehet őket észlelni.

3.2 Az MMM módszer alkalmazásának fő feladatai

- A feszültségkoncentrációs helyek, mint a károsodások fő kiindulási forrásainak feltárása, mind

a fémipari gyártmányokban, mind a hegesztett kötésekben;

- Fáradásos károsodások korai szintű előrejelzése, illetve a gépek és szerkezetek maradék élettartamának előzetes megbecsülése;
- A gépek és szerkezetek feszültség-deformációs állapotának és annak eloszlásának meghatározása;
- Vizsgálati költségek csökkentése az MMM és a hagyományos roncsolásmentes vizsgálati módszerek kombinált alkalmazásával;
- Új, illetve üzemeltetésben lévő gépgyártási termékek gyors minőségi ellenőrzése az anyag-szerkezet inhomogenitásának mérése alapján.

3.3 Mit határoznak meg az MMM vizsgálati módszer során?

- Feszültséggyűjtő helyeket – mint a későbbi károsodások fő forrásait;
- A fémek felületén és belsejében keletkezett mikro- és makro eltéréseket (hibákat).

3.4 A vizsgálati módszer jellegzetessége

Az MMM módszer célja a többi, iparilag gyakran használt roncsolásmentes anyagvizsgálati módszertől eltérően a feszültségkoncentráció meghatározása a próbatesten vagy a fémszerkezeten. A módszer segítségével megbecsülhető a hiba veszélyességi szintje a további károsodásfejlődés szempontjából, és a vizsgálat eredménye általános képet ad a fémek és hegesztési varratok feszültség-alakváltozás állapotáról.

A vizsgálatok során nem mágnesezik fel a munkadarabot, azokra csak a földi mágneses tér hat.

A vizsgálatához igen érzékeny mágneses térmérő szondák szükségesek.

A technológia a fémszerkezet saját mágneses mező eloszlásának mérésén és elemzésén alapszik.

A vizsgálat alapján kimutatott feszültséggyűjtő- és hibahelyek az alapanyag és hegesztési varratok inhomogenitásai, melyeket hagyományos anyagvizsgálati eljárásokkal pontosítani lehet.

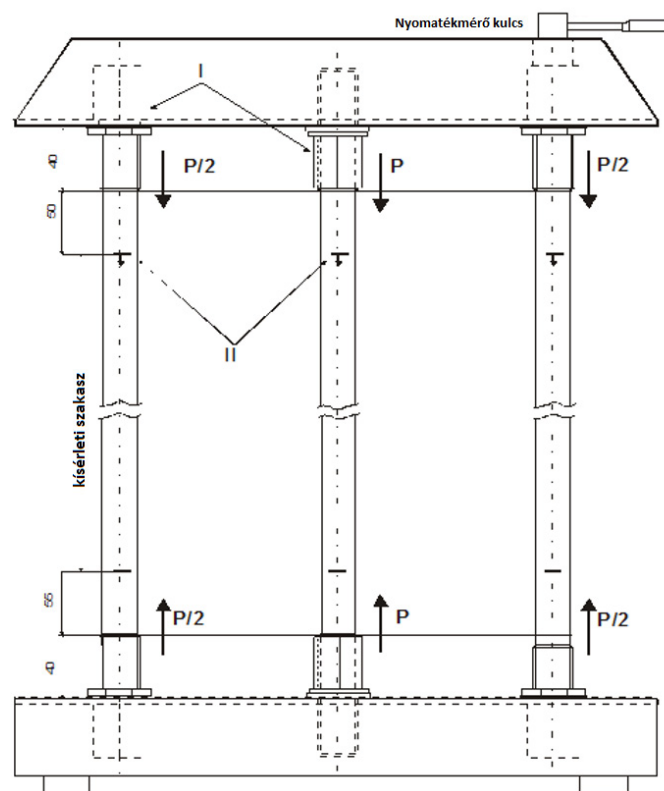
A feltételezett hibapontokban további ellenőrzés ajánlott, például a repedésmélység, falvastagság csökkenés mérése stb. ahhoz, hogy az anyaghiba jellege és mérete pontosan meghatározható legyen. Ugyanakkor bizonyos esetekben, például sorozatgyártás vagy azonos méretű csővezeték rendszerek szerelése és hegesztése esetén mennyiségi következtetés is levonható megfelelő kalibrálás után.

Ennek azonban a vizsgált objektumra vonatkozóan specifikusnak kell lennie, úgy az anyagminőséget és a geometriát, mint az üzemi terhelést és helyi mágneses teret illetően. A módszer kidolgozói az iparban található tipikus elemekre részletes eljárásokat készítettek, ezekből közel 50 féle eljárás van kész, és számuk egyre nő (például kazán csövek, turbina lapátok vizsgálatához), melyek a mérési technológiát és kalibrálási lehetőségeket tartalmazzák.

A módszer gyors és nem igényel felület előkészítést (például tisztítást, mesterséges mágnesezettség kialakítását, szigetelésbontást).

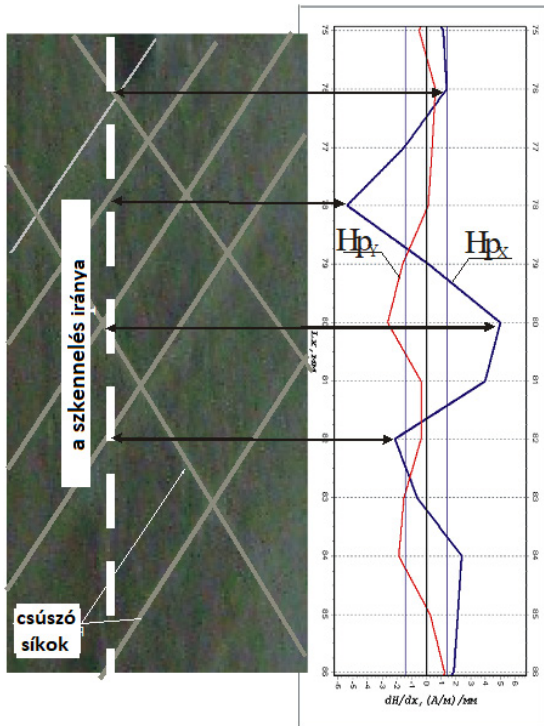
3.5 Az MMM és az ultrahangos vizsgálati módszer alkalmazásának összehasonlítása egy gyakorlati példán

Az MMM módszer lényegét, előnyeit és összehasonlítását más módszerekkel könnyen lehet szemléltetni a következő kísérlettel. Egy stabil acél befogószerkezetbe helyezünk egy ismert anyagú $\varnothing 25 \times 3$ mm-es vizsgálandó csövet (lásd 4. ábra középső csövet), melyet előzetesen megröntgeneltünk és ultrahangoztunk, és ezen vizsgálatok alapján hibamentesnek tekintünk. A befogó acél-szerkezetet a jobb oldalon látható mechanikus szerkezettel lassan, folyamatosan nyomás alá helyezzük.

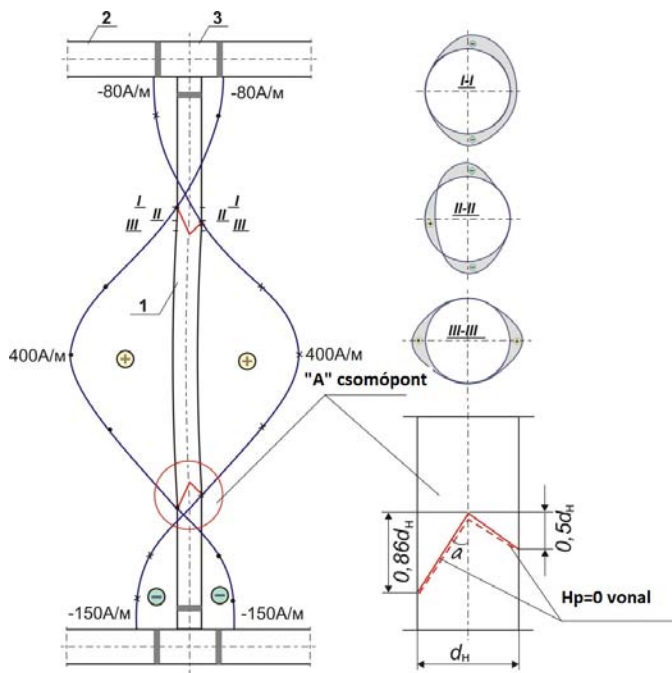


4. ábra: Az MMM módszert bemutató kísérleti berendezés és terhelése. I csavarok, II szkenelés iránya

A csövet rendszeresen MMM módszerrel és ultrahangos fejjel szkenneljük. Egy ideig semmilyen indikáció nem jelenik meg, majd az MMM módszerrel érzéklehető jeleket mutat a műszer, amelyek a nyomóerő növekedésével egyre szignifikánsabbá válnak. Láthatóak lesznek a cső felületére kijövő csúszási síkok, lásd 5. ábra.



5. ábra: A középső, vizsgált csövön létrejövő csúszási síkok hálójá a mágneses mező dH_p/dx deriváltjának függvényében



6. ábra: A mágneses tér normál összetevőjének eloszlása (H_p) a vizsgált cső húzott és nyomott felületén

Később a cső kezdődő repedése ezen a síkon (síkon) jelenik meg.

Hamarosan, de jóval az MMM műszer jelzése után az ultrahangos berendezés is indikációt jelez. Tehát az MMM módszerrel hamarabb kimutathatók a fém-szerkezetben bekövetkezett anyagszerkezeti változások, mint az iparban hagyományosan alkalmazott egyéb anyagvizsgálati eljárásokkal.

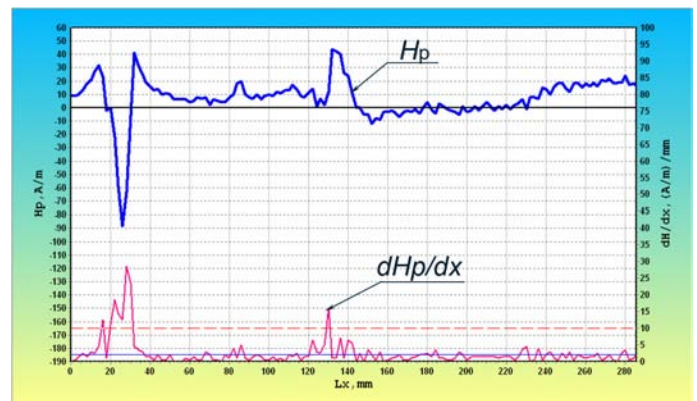
Az I-I a II-II és III-III metszetekben jól látható a húzó és nyomó feszültségek eloszlása. Az A csomópontban a csúszási sík és a $H_p=0$ vonal van kivetítve, lásd 6. ábra.

3.6 Az MMM módszer magnetogramja

A mért indikációkat magnetogram jeleníti meg.

A 7. ábrán jellegzetes magnetogram látható, a paraméterek értelmezése:

- H_p – a szórt mágneses fluxus normál és/vagy tangenciális összetevője.
- A mérési csatornák közötti mágneses térerősség gradiense, dH/dx és/vagy dH/dz bázis alapján.



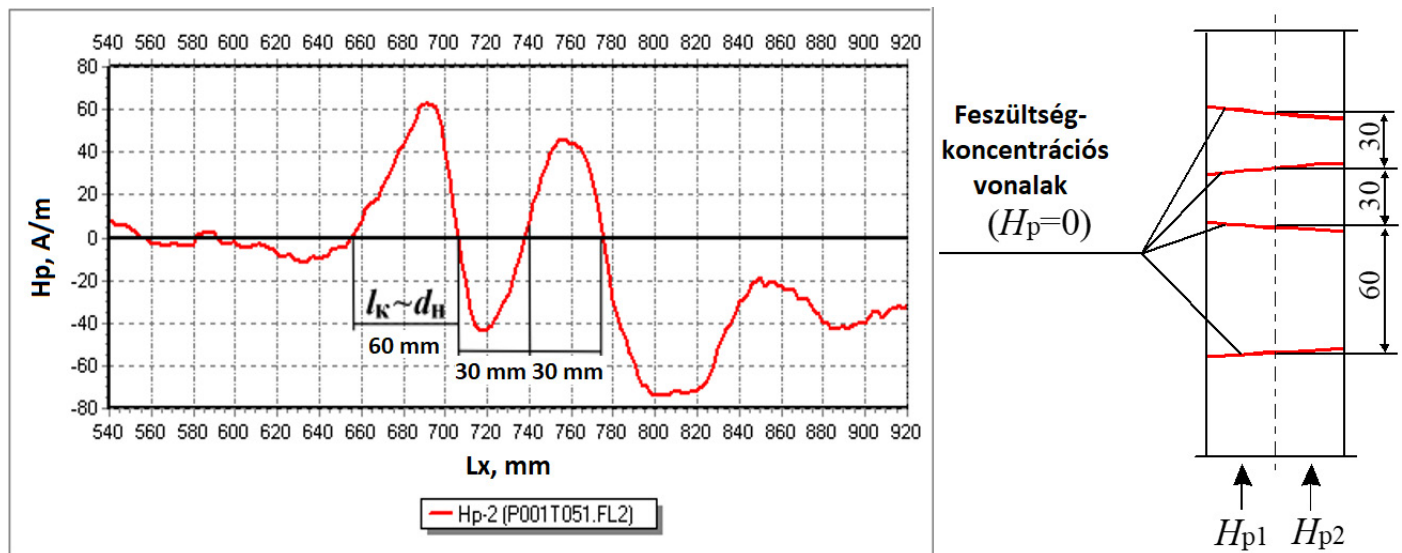
7. ábra: Az MMM magnetogram és a vizsgálati módszer során használt mágneses paraméterek

Ott, ahol hirtelen nagy változások regisztrálhatók a mágneses térerősség indikációjában, ott lehet anyaghibát, inhomogenitást, mikro-, makroméretű elváltozásokat feltételezni.

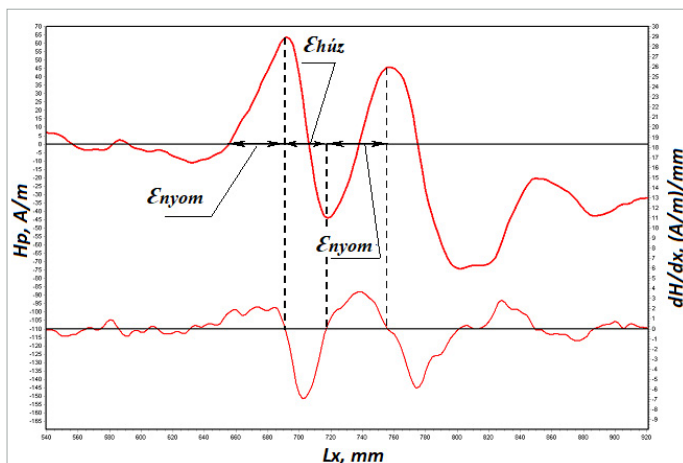
A 8. ábrán egy acélcső (Ø60x4 mm-es) magnetogramja található, melynek konstrukciója folytán a hőmérséklet okozta alakváltozása korlátozott.

Ahol a H_p vonal metszi a tengelyt, azon a helyeken várható a szerkezetben a húzó és nyomófeszültségek váltakozása. A távolság, ahol H_p mért értékei előjelének változásai mérhetők, megegyeznek a cső külső átmérőjének és a cső felének hosszával.

A 9. ábrán a H_p eloszlása alatt a dH/dx látható az előzőekben említett acélcső (Ø60x4 mm-es)



8. ábra: Magnetogram, a szórt fluxus váltakozása és a $H_p=0$ vonalak



9. ábra: Feszültségkoncentrációs helyen H_p – a szórt mágneses fluxus és deriváltjának eloszlása a húzás, illetve nyomó terhelés függvényében

feszültségkoncentrációs helyén. A szaggatott vonal jelzi a húzó- és nyomófeszültség okozta deformáció határát. A gradiens előjelének változása megegyezik a deformáció előjelének változásával. A húzás okozta deformáció értéke kisebb, mint amit a nyomás okoz. A gyakorlati eredmények jól közelítik a számított értékeket. A 9. ábra az acélcső feszültségkoncentráció helyén mennyiségi összefüggést mutat ki a deformáció okozta mező és a mágneses mező eloszlásában.

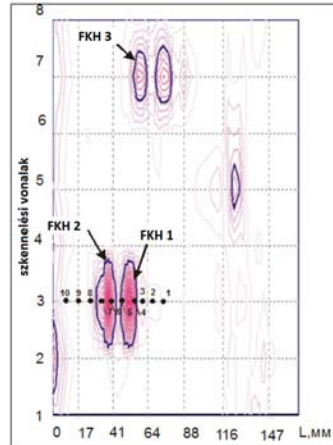
Az Energodiagnosztika és a TÜV InterCert Kft. 2011-ben az ISD Dunaferri laboratóriumában az alábbi kísérlet sorozatot végezte el.

Lapos szénacél próbatesteket statikus húzásnak tették ki, közben MMM műszerrel mérték a mágneses térerősség változását. A vizsgálatok során létrejövő mechanikai (σ - ϵ) és mágneses ($|\Delta H_x|$ - ϵ) tulajdonság változások között meglepő törvényszerűség volt

tapasztalható [7], melyet különböző acéltípusokkal és próbatest formákkal dinamikus terheléssel is megismételték [8] más laboratóriumokban.

Az anyag mechanikai tulajdonságainak egy fontos jellemzője az arányossági határ (vagy rugalmassági határ). Ez a lényeges, azonban feltételesen megadott jellemző pontos fizikai értelemmel bír: a „feszültség-deformáció” görbén az általánosan elfogadott arányossági határ közelében létezik egy pont, amelyet az jellemez, hogy ebben a pontban a hosszirányú deformáció rugalmas és plasztikus összetevőinek növekménye a terhelés kismértékű változásánál egyenlő – vagyis, egyenlők a deformáció rugalmas és plasztikus összetevőinek feszültség szerinti deriváltjai. Az acélminták szokásos szabványos szakító vizsgálatánál a szakítógép regisztráló készülékén feszültség-alakváltozás (σ - ϵ) görbét kapjuk (a valóságban erőt és elmozdulást mérünk, amiből számoljuk a feszültség-alakváltozást), amelyen láthatók a $\sigma_{0,2}$ és σ_m értékek. Az arányossági határértéket az említett diagramon nem lehet vagy igen nehéz kimutatni, viszont MMM módszer alkalmazásával ez a pont egyértelműen meghatározható.

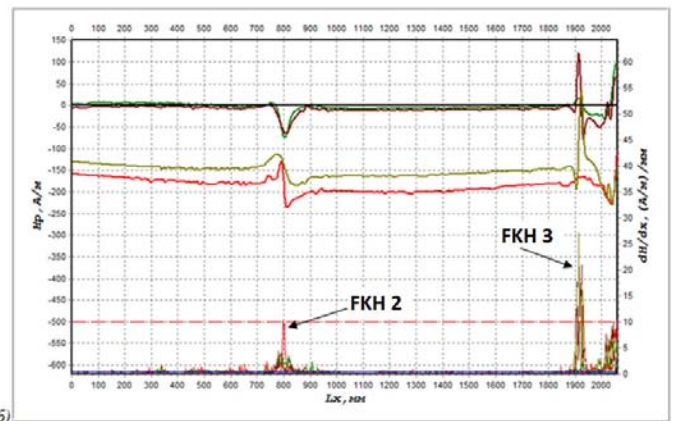
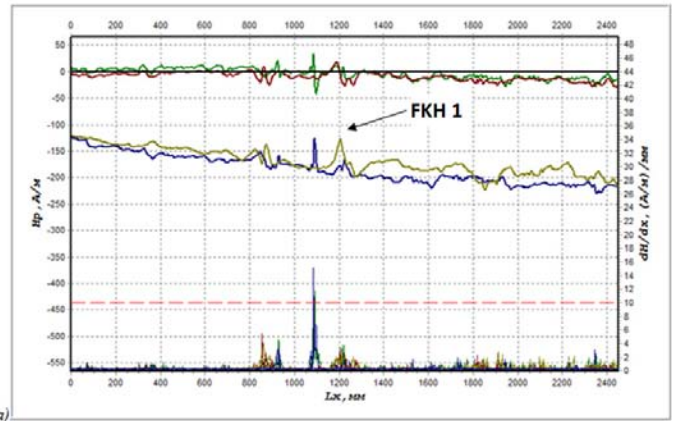
Az MMM módszert először hőerőművek kazánjainak vizsgálatánál, később az erőművek többi eleménél, majd a gépiparban, a vegyiparban, acélszerkezeteken, vasúti berendezéseknél, a járműiparban és legfőképpen az olaj- és gáziparban alkalmazták. A következő példa (10. ábra) az olajiparban igen nagyszámban használt menetes fúrócsövek hibáinak gyors és egyszerű és megbízható vizsgálati módszerét mutatja be.



10. ábra: Olajipari menetes fúrócső MMM módszerrel történő vizsgálatának eredményei: a palástfelületen láthatóak a mágneses tér deriváltjának erővonalai, illetve a keményseghmérés pontok (1-től 10-ig)

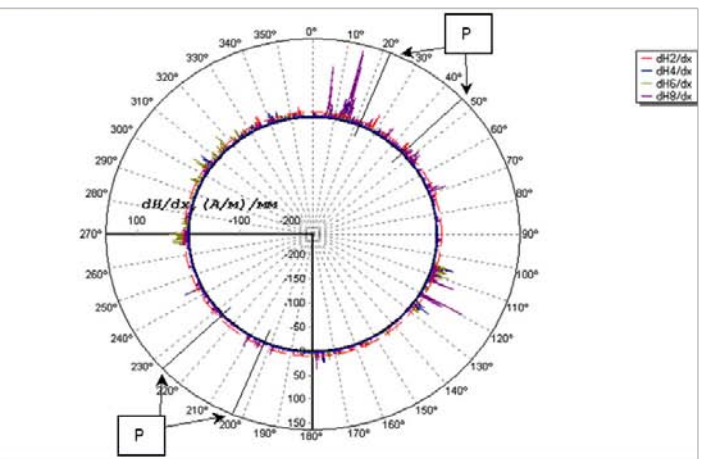
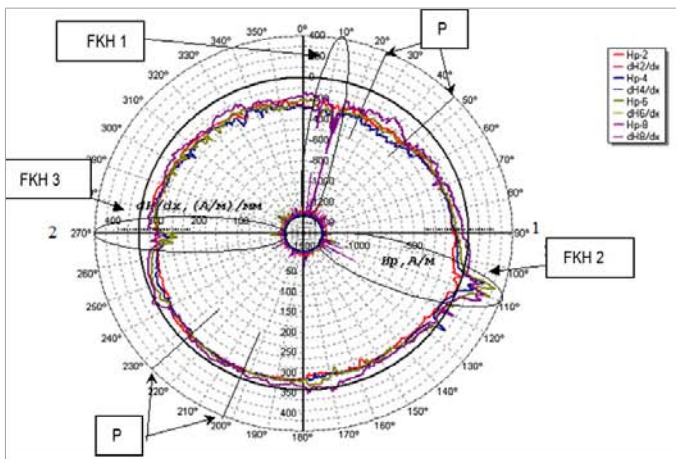
3.7 Az MMM módszer alkalmazása hegesztett kötések vizsgálatához

A hegesztési technológia már több mint 100 éve létezik, de az egyik legfontosabb tényezőt, ami a hegesztett kötések megbízhatóságát minősíti, azaz a maradó hegesztési feszültségeket, nem ellenőrzik, mivel hiányoznak azok a roncsolásmentes módszerek, amelyek képesek gyorsan megoldani ezt a feladatot. Az MMM módszer lehetővé teszi egyidejűleg elvégezni a hibakeresést és a maradó feszültségek vizsgálatát, 11. ábra.



11. ábra: Hegesztett kőolajvezeték (D=1000x30mm) MMM vizsgálata

Kőolajvezeték körvarratainak ellenőrzése MMM módszerrel a 12. ábrán látható.



12. ábra: Cső körvarrat vizsgálat MMM módszerrel: FKH1, FKH2, FKH3 feszültségkoncentrációs helyek, melyek a mágneses tér H_p és deriváltjának dH/dx anomáliáit mutatják; 1, 2 pontok a körvarrat induló és végkráterét jelzi; P pont a hosszvarrat és a keresztvarrat találkozási pontjai.

a. Magnetogram felvétel a hosszirányú varrat mentén;

b. Magnetogram felvétel a görbülés jobboldalán FKH1, FKH2, FKH3 – feszültségkoncentrációs helyek, melyek a mágneses tér H_p és gradienseének dH/dx anomáliáit (ugrásszerű változását) mutatják.

4. Érintkezés mentes magnetométeres diagnosztika

Az eddig leírtakban az úgynevezett kontakt, azaz érintkezéssel magnetométeres eljárásról beszéltünk, ahol a mérőfejet az objektum felületéhez igen közel vezetjük, persze tényleges érintkezés itt sincs. Létezik egy érintkezés mentes (non-kontakt) MMM módszer is [9].

Ezzel például a földbe fektetett, betemetett távvezetékek feszültségkoncentrációs helyeit lehet kimutatni a távvezeték feltárása nélkül. A módszer különbözik az intelligens csőgörényezéstől, ahol a meglévő repedéseket és falvastagság fogyásokat mutatják ki. Az MMM módszerrel a feszültségkoncentrációs helyeket, azaz a későbbi meghibásodások és folytonossági hiányok kiindulási helyeit is lokalizálni lehet. A vizsgálandó csövek felső palástja akár 2 méterrel is lehet a föld felszíne alatt. A párhuzamosan vagy keresztbe lefektetett földalatti csövekből származó indikáció kiszűrhető.

Az érintkezés mentes MMM vizsgálat (a föld gyenge mágneses mezejében) az érintkezéssel vizsgálati módszer továbbfejlesztése érzékenyebb mágneses termérő szondával. A módszer rohamos fejlesztés alatt áll, nagy szakmai érdeklődés mellett.

Még nem szabadalmaztatott és nem szabványosított módszer, lényegesen kevesebb publikáció áll rendelkezésre, mint a kontakt módszer esetében.

A földbe fektetett olaj- és gázvezetékek, vízvezetékek, városi hő ellátás feltárás nélküli gyors hiba meghatározására alkalmas magnetométeres diagnosztikai vizsgálat. Beépített üzemekben

pontos csőterv és villamos terv szükséges az MMM-es vizsgálatokhoz!

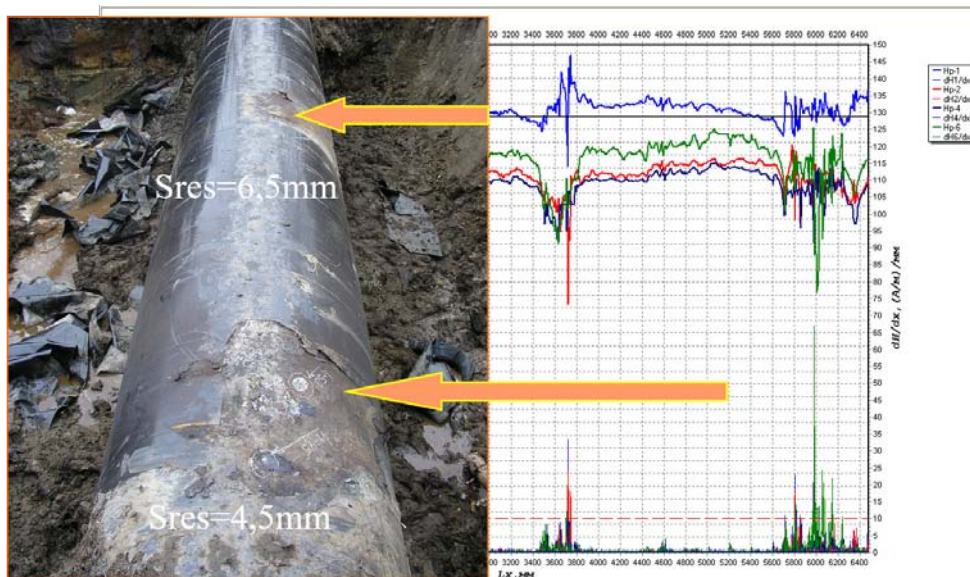
A szigetelésen keresztüli, megbontása nélküli vizsgálati eljárás fejlesztése és alkalmazása is évek óta sikeresen folyik.

Az 13. ábrán egy non-kontakt módszerrel kimutatott indikáció alapján feltárt csővezeték szakasz látható. A feltárt vezetéken megtalálhatók a korrózió okozta hibák.

5. Az MMM módszer, mint a károsodások korai detektálásának módszere

A mérnöki szerkezetek, berendezések biztonságos és gazdaságos üzemelésének a biztosítása a tervezési, üzemeltetési, karbantartási és ellenőrzési módszerek ártértékelését igényli világszerte. A módszerek ártértékelésének a folyamatához gyakran hozzájárul még a kényszerítő versenyhelyzet egyes iparágak között vagy éppen egyazon iparágon belül. A berendezések használójának, legyen az egy autó tulajdonosa vagy egy atomerőmű üzemeltetője vagy bármelyik más iparág képviselője, általában a következő elvárásai vannak:

- a lehető legnagyobb mértékben tudja kihasználni a berendezésében rejlő képességeket, azaz a használati tulajdonságokat,
- mindezt lehetőleg a leggazdaságosabb módon, azaz a legkisebb ráfordítással,
- a lehető legkevesebb tervezett, illetve váratlan használati idő kieséssel,
- a lehető legalacsonyabb karbantartási, javítási költség felhasználásával.



13. ábra: Érintkezés mentes magnetométeres diagnosztika. Egy (Ø1020×10 mm) olaj távvezeték szegmens vizsgálata a maximális feszültség koncentráció helyein (JSC Surgutneftegaz)

Ez több iparágban, de talán legjobban szembeötlő módon az energia iparban az „élettartam gazdálkodás” (*life management, asset management*) fogalommal leírható, szisztematikus tevékenység megjelenésében és egyre szélesebb körben való elterjedésében testesül meg. A világban üzemelő atomerőművek több, mint kétharmada már elérte vagy meghaladta az eredeti üzemeltetési engedélyben meghatározott üzemidőt. Hasonló a helyzet sok ország, közöttük az Amerikai Egyesült Államok kőolaj- és földgázvezetékeinek a korával is; nagyobb hányaduk már 40-50 év közötti. Ezeket és más, elsősorban energia ipari létesítményeket a tulajdonosaik tovább kívánnak használni. Ahogy növekszik az üzemidő, úgy növekszik a berendezések meghibásodása bekövetkezésének a valószínűsége, ami egyenes arányban növeli a biztonsági kockázatot, de a hosszú távú üzemeltetés ugyanilyen szigorú gazdaságossági kérdés is. A meghosszabbodó karbantartási állásidők, a váratlan meghibásodások okozta termelés-kiesések, a fokozatosan növekvő javítási költségek mind-mind az említett ártértékelési folyamatot alakító tényezők.

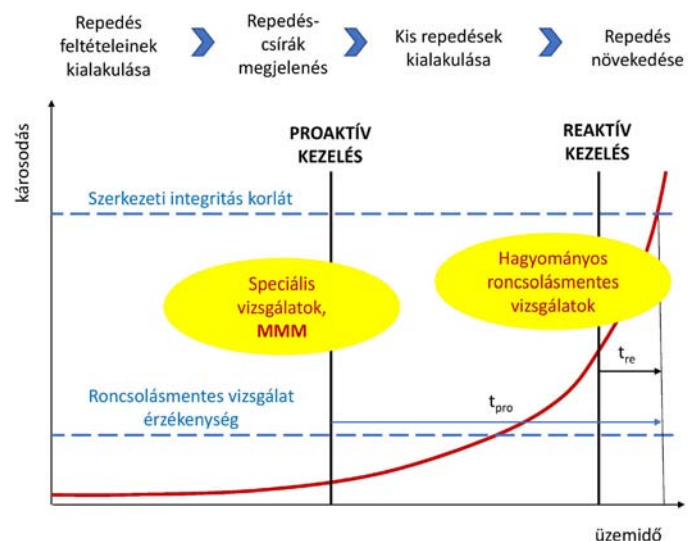
A berendezésekben az üzemi igénybevétel és a környezeti körülmények hatására jönnek létre és fejlődnek az integritásukat veszélyeztető mértékűvé a károsodási folyamatok. A károsodási folyamatokat úgy lehet felfogni, mint az alkalmazott szerkezeti anyag választását ezekre a hatásokra (szokták ezeket összefoglalóan *stressor*-oknak nevezni). A tapasztalat azt mutatja, hogy a károsodási folyamatok igen összetett természetűek. Kialakulásukban szerepet játszanak az adott berendezés gyártási sajátosságai (metallurgia, alakítás, hőkezelés, felületkezelés), a mechanikai terhelés körülményei (statikus, dinamikus, állandó, változó), a környezet (hőmérséklet, radioaktív sugárzás, korrozív ágensek) és sorolhatnánk. Ezért követésük, magának a folyamatnak vagy a folyamat hatásának (repedés) a követése, azaz a detektálás sem egyszerű feladat.

Az előzőekben vázolt gazdasági folyamatok igénye hívta életre az elmúlt évtizedekben azt a gondolkodást, aminek a lényege a károsodások „proaktív” kezelése (*Proactive Materials Degradation Management, PMDM*). A PMDM jelentőségét először az amerikai nukleáris szabályozó hatóság ismerte fel, nyilván az atomerőműveket üzemeltetőkkel teljes összhangban, és finanszírozott jelentős kutatási tevékenységet ezirányban [10][11]. Ha teljességében nézzük a PMDM koncepciót, akkor két jól elkülöníthető részét ismerhetjük fel.

Az egyik rész célja és lényege olyan intézkedések meghozatala, amelyek csökkentik vagy kizárják a berendezések vagy a berendezések kritikus részeinek érzékenységét a károsodásokra (pl. anyagválasztás, gyártási technológia optimalizálása). A másik rész, ami jelen cikk témájához kapcsolódik, célja és lényege a károsodások proaktív detektálása. Természetesen tartoznak ehhez a második részhez még további, az ellenőrzés, a roncsolásmentes vizsgálat, a diagnosztika optimalizálásával kapcsolatos feladatok is.

A PMDM lényege, hogy a hagyományos, azaz a „reaktív” viselkedést proaktív viselkedés váltja fel. Ennek a lényegét a 14. ábra mutatja be.

A reaktív kezelés esetében korlátozott idő (t_{re}) áll rendelkezésre a károsodás (pl. egy folytonossági hiány) detektálását követően a szükséges intézkedés, szélső esetben javítás vagy csere előkészítésére és végrehajtására a biztonságos üzemelés folytathatósága érdekében. Ez az időbeli korlát morális nyomást is eredményezhet, ami akár egy rosszul választott intézkedést is vonhat maga után. Amennyiben azonban a károsodás proaktív kezelési módját követjük, akkor elhárul az időbeli korlát ($t_{pro} \gg t_{re}$), mert a detektálás még a károsodás kezdeti szakaszában, az inkubációs időszak elején történik. A hagyományos és egyes esetekben még a korszerű roncsolásmentes vizsgálati eljárások és technikák a reaktív megoldást szolgálják. A károsodások proaktív kezelésére speciális eljárások alkalmasak; nagy erőfeszítések folynak ezek kutatására és kifejlesztésére. Teljesen nyilvánvaló, hogy az MMM eljárás, amelyik a feszültségkoncentrációs zónák detektálását végzi, egyike az ígéretes proaktív eljárásoknak.



14. ábra: A reaktív és proaktív viselkedés lényege

6. Az MMM hazai alkalmazása

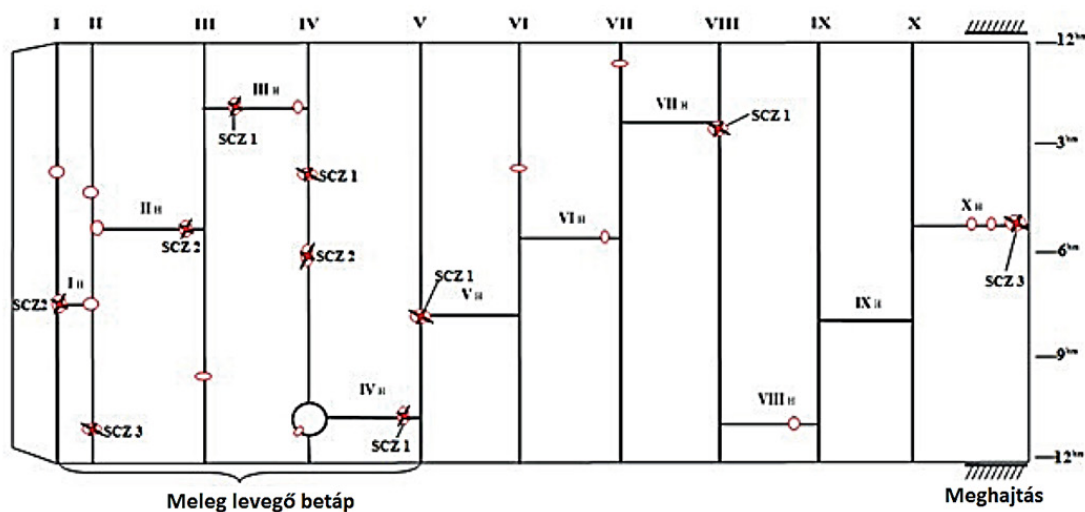
A következőkben konkrét vizsgálatokon keresztül láthatjuk az eljárás gyakorlati alkalmazását, azt, hogy szűrővizsgálatként miképpen funkcionál, milyen módon tudja a károsodásokat előre jelezni, valamint szigetelésen keresztül mi a vizsgálat menete.

6.1 Forgó koromszárító vizsgálata

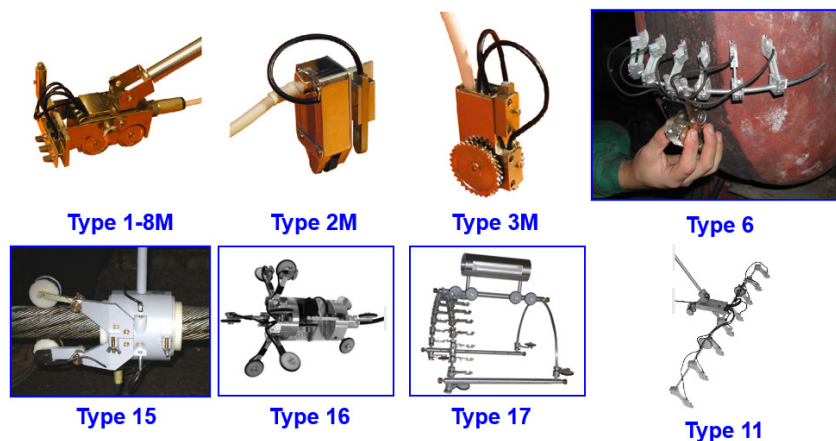
Az MMM eljárás egyik első hazai próbatétele 2012-ben volt, egy 2,5 m átmérőjű, 20 m hosszú, 35 tonna súlyú, mintegy 3 fordulat/perccel üzemelő koromszárító dob varratainak a belső vizsgálata. A berendezés dob része 316 és 317L anyagminőségű, 16-25 mm vastagságú lemezekből került összehegesztésre a 15. ábrán látható varratátérkép alapján. A varratoknál az elmúlt 25 év vizsgálatai során jellemzőek volt a fáradásos repedések megjelenése. A berendezés vizsgálhatósága azonban igen korlátozott: csak belülről hozzáférhető, erősen szennyezett felület nagymértékű lerakódásokkal, nem

mágnesezhető, nem röntgenezhető. A hatalmas készülék egy speciális, kerámia paplanos szigeteléssel és lemezburkolattal van ellátva, amelyen belül 1300°C-os füstgáz áramlik. Ez magyarázza, hogy a hegesztési varratok csak belülről, a készülékbe (a dobba) beszállva vizsgálhatók.

A különböző vizsgálófejek (16. ábra) logikai felépítése hasonló. Minden vizsgálófej tartalmaz egy útmérő rendszert, valamint mérőszondákat, jellemzően olyanokat, amelyek a mágneses tér egy normális és egyik tangenciális alkotóját képesek mérni. A szondák beállítása a varrat méreteit követik, azaz a szondák a hőhatás övezetre, valamint a varratra vannak állítva. Mivel minden szonda külön csatornán méri a mágneses teret, melyet a feldolgozó egység külön-külön tárol, így a vizsgáló megtudja különböztetni a varrat bal-, illetve jobb széléről, valamint a hőhatásövezetről vagy a varratkoronáról érkező értékeket. A vizsgálófejet kézzel kell mozgatni, melynek a sebessége beállítás függő, de jellemzően 2-5 cm/s.



15. ábra: Koromszárító kiterített varratátérképe, jelölve a FKH helyekkel (az eredeti dokumentumban még SCZ-vel)



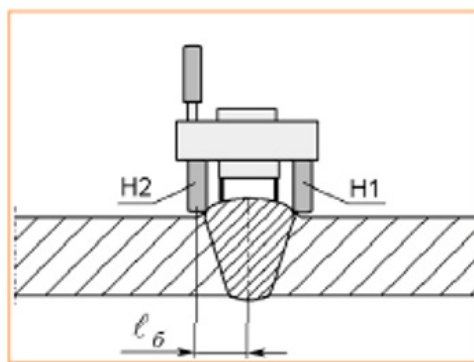
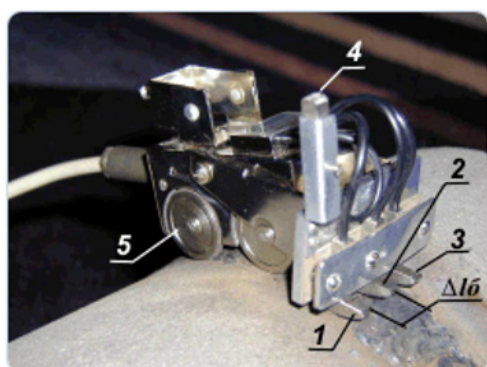
16. ábra: Főbb vizsgálófej konstrukciók

A tompavarratok vizsgálatára szolgáló, és így az egyik legtöbbet használt vizsgálófej az 1-es típusú, amelyet a varrat hossza mentén, a varrat fölött kell megvezetni a kötés teljes hossza mentén, 17. ábra. A beállítás során igazodni szükséges a varrat geometriai méreteihez. A tárgyi vizsgált berendezésen a varratok teljes hossza megközelítőleg 100 m, így a lassabb vizsgálati sebesség mellett is a vizsgálat nettó ideje 82 perc volt. Ez egy nettó érték, melyet növel a hozzáférhetőség, a felület bonyolultsága, a mérőrendszer adatelemzési és mentési ideje, valamint a vizsgáló tapasztalata és az egyéb vizsgálati körülmények.

A hosszabb varratok vizsgálata jellemzően két vizsgálót kíván a hatékonyabb munkavégzés érdekében. Az egyik személy a vizsgálófej megvezetéséért felel, míg a másik a mért értékeket figyeli és regisztrálja. A vizsgálóberendezés rögzíti és menti a mért mágneses teret az összes szonda tekintetében

milliméteres pontossággal, így az elmozdulás, vagyis a vizsgálófej által megtett út (X tengely – L [mm]) függvényében kapunk egy mágneses értéket (Y tengely – H [A/mm]), minden csatorna esetében külön színekkel. A helyszíni értékelések során a mágneses tér változásának gyorsaságából, azaz a mért érték gradienseinek nagyságából (Y tengely – dH/dX [A/m/mm]) lehet a lokális mágneses anomáliákat kijelölni. Ennek a hatékonyságához érdemes olyan adatrögzítő egységet alkalmazni, amellyel külön-külön lehet a csatornákat elemezni, továbbá a gradiensértékeket a belső szoftvere át tudja számolni, 18. ábra.

A tárgyi berendezésre visszatérve, a vizsgálatokat 2012-ben végeztük el először, amikor is a IV. számmal jelölt körvarrat esetében két jelentős anomália volt mérhető a varratvizsgálat során. Miután az MMM eljárással a berendezés minden varrata 100%-osan átvizsgálásra került, megtörtént azoknak



17. ábra: Varratvizsgáló fej



TSC-1M-4



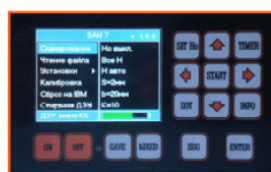
TSC-2M-8



TSC-3M-12



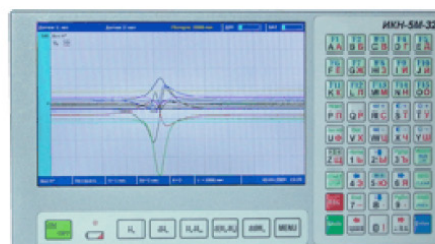
TSC-4M-16



TSC-6M-8



TSCM-2FM



TSC-5M-32

18. ábra: Adatrögzítők

a helyeknek a kijelölése, amelyeknél indokolt volt hagyományos roncsolásmentes anyagvizsgálatokat elvégezni, annak érdekében, hogy a tényleges és már más eljárásokkal is detektálható elváltozások feltárára kerülhessenek. Ebben az esetben PT vizsgálat került elvégzésére, amely egy közel 1000 mm hosszú lineáris indikációt tárt fel a varrat hőhatás-övezetében. A lineáris indikáció kezdő és végpontja megegyezett az MMM eljárás által a 19. ábrán feltárt két jelentős mágneses anomália helyével.

A talált hibát kiköszörüléssel és javítóhegesztéssel megszüntették. Egyéves üzemelést követően ismételt elvégzésre került az MMM vizsgálat, ugyanazon a berendezésen. Az elvégzett mérések tanúskodtak a homogén saját mágneses fluxus jelenlétéről, 20. ábra. A korábbi mágneses anomáliák a javítást követően már nem voltak érzékelhetők. A korábbi javítás kezdő és végpontjainak környékén elvégzésre kerültek egyéb kiegészítő, roncsolásmentes anyagvizsgálatok, de egy eljárás sem mutatott ki eltérést a vizsgált zónákban.

6.2 Vasúti vizsgálatok

Az elmúlt évek során több ízben is sikerült vasúti vizsgálatokba betekintést nyernünk és letesztelni az MMM eljárás hatékonyságát. A vasúti forgórészek, vasúti járművek kazánjain túl vasúti pályákat is vizsgálhattunk. Ebből a vasúti sínek vizsgálatának eredménye kerül bemutatásra a következőkben.

A vasúti sínek, egyik legnagyobb veszélyforrása az úgynevezett head-check hiba, mely a sín-törések leggyakoribb okozója. A hiba jellemzője, hogy nagyon sűrűn, nagyon apró repedések jelennek meg a sínszál vasúti kerékkel érintkező felületén.

Az MMM eljárással két ízben is sikerült bizonyítani a módszerben rejlő lehetőségeket. 2013-ban az M3-as metró – azóta már lecserélt és felújított – pályaszakaszán másfél kilométeres rész átvizsgálására kaptunk felkérést, valamint a MÁV tesztpályáján is végezhattunk vizsgálatokat. Az átvizsgálás során igen sok mágneses anomáliát érzékelünk az átlagosnál nagyobb gradiens értékekkel. Többek között sínek hegesztéseinek a hibáit sikerült kimutatni a vizsgált szakaszon, valamint detektáltunk egy head-check hibát is. A head-check hiba mágneses képe a 21. ábrán látható. A 21. ábrán látható diagram jól mutatja a lila színű (a 8.számmal jelzett) érzékelő csatornát, ahol a szenzor a sín belső, kerékkel érintkező felületére volt pozícionálva. A 21. ábrán 8900 mm és 9900 mm-ek között magas gradiens értékek láthatók. Ezt a zónát

kijelöltük további vizsgálatokra. Az üzemeltető visszaigazolásként megküldve a vizsgálatok eredményét, head-check hibát diagnosztizált a jelölt területen.

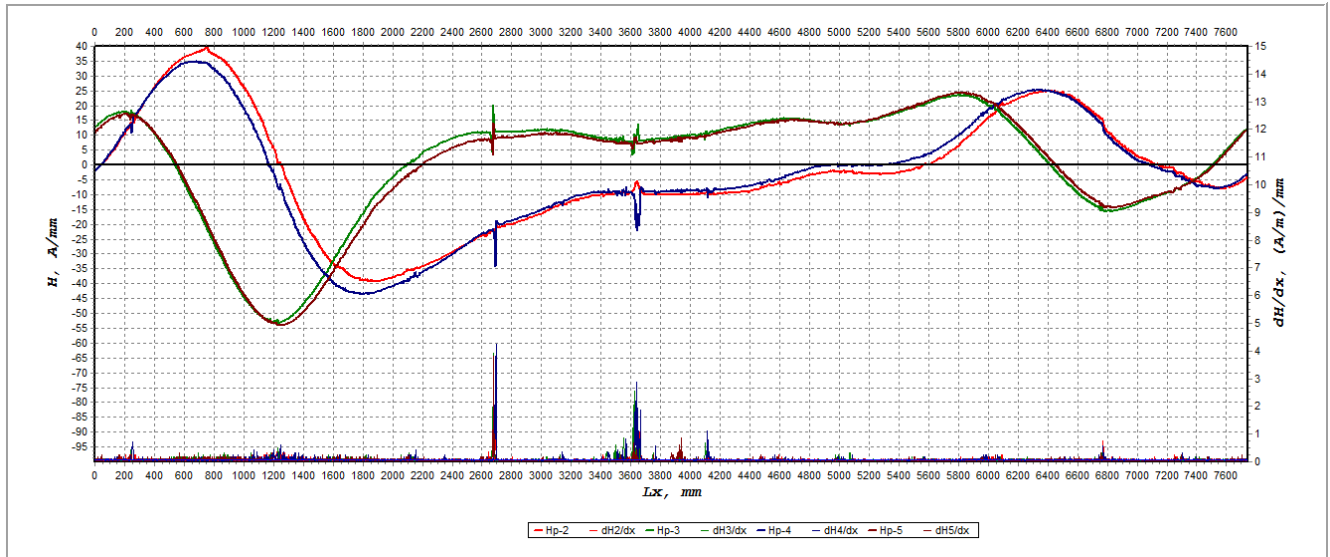
6.3 Vasúti sín hajlítást és törést követő mérése

A MÁV laboratóriumában, hajlítógép segítségével tudtuk tesztelni a meghibásodás előtti mágneses anomáliák megjelenését. A hajlítás tárgya egy normál, 1200 mm hosszú sín volt. A hajlítás megkezdése előtt a sín talp az 1200 mm hossz közepén keresztirányban bemetszésre került 3 mm mélységben, annak érdekében, hogy a törés biztosan bekövetkezzen.

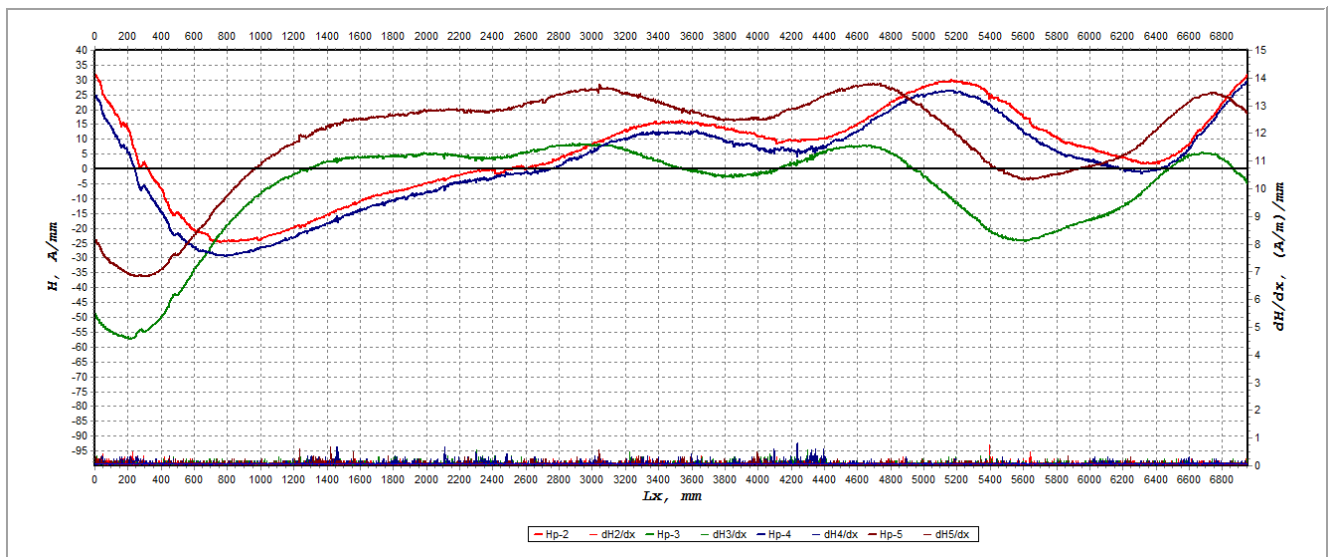
A sánt 100 kN-os lépcsőkben terheltük; annak közepén és minden egyes terhelés után MMM technológiával mértük a mágneses teret a sínfej felső részén. Amérések megegyező skálázással ellátott grafikonon kerültek bemutatásra. A szemléletesség kedvéért, csak a sín középső 400 mm-es szakaszával foglalkoztunk. A 0. állapot mérése során látható egy homogén, enyhén változó mágneses tér, viszont sem a gradiensben, sem pedig a mágneses térben, kiugró inhomogén értékek nem észlelhetők, lásd 22. ábra. Már a 200 kN-os terhelési szintet követően a középső szakasz 25 mm széles zónájában enyhe mágneses anomália volt tapasztalható a sín felezőpontjában. A közbenső mérések szignifikáns különbségeket nem mutattak, viszont a 600 kN terhelést követően elvégezve a mérést, a mágneses anomália 25 mm-ről kiszélesedett mintegy 50 mm-re, lásd 23. ábra.

A 700 kN terhelést követően elváltozást még nem lehetett látni a sínen, viszont a mért mágneses tér értéke tovább növekedett. Mind az anomália szélessége, mind pedig az értéke növekedett a korábbiakhoz képest. Ezt követően 760 kN erő mellett bekövetkezett a törés, lásd 24. ábra.

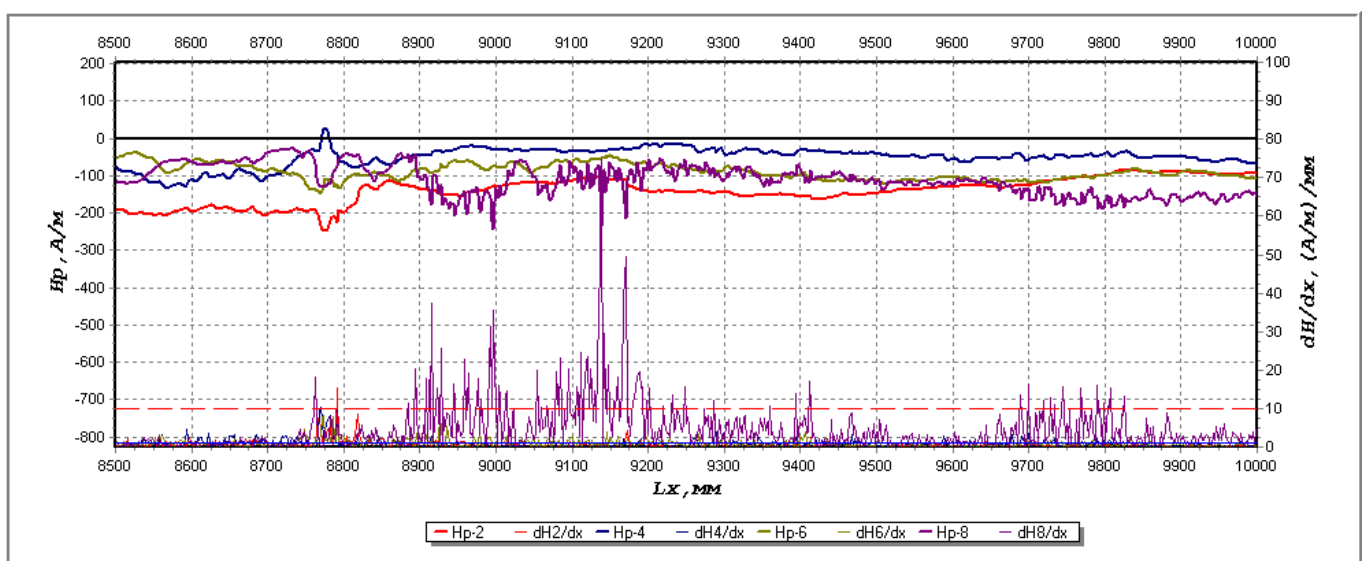
A törést követően egymás mellé tettük a két sántarabot és az immár széttört, de összeillesztett sínen ugyanolyan skálázás mellett rögzítettük a mért mágneses teret, melynek a diagramja a 25. ábrán látható. A törést követően nagyságrendekkel nagyobb elváltozások alakultak ki a mágnesességben, amely egyértelműen a várt helyen volt mérhető, és az előjelek már a 200 kN-os terhelési szint mellett is megmutatkoztak. A laboratóriumi mérések keretei közt mérni tudtuk a tényleges makró sérülések előtti mágneses értékekben mérhető változásokat, úgy, hogy közben PT és UT eljárások nem mutattak ki indikációt a vizsgált sínben.



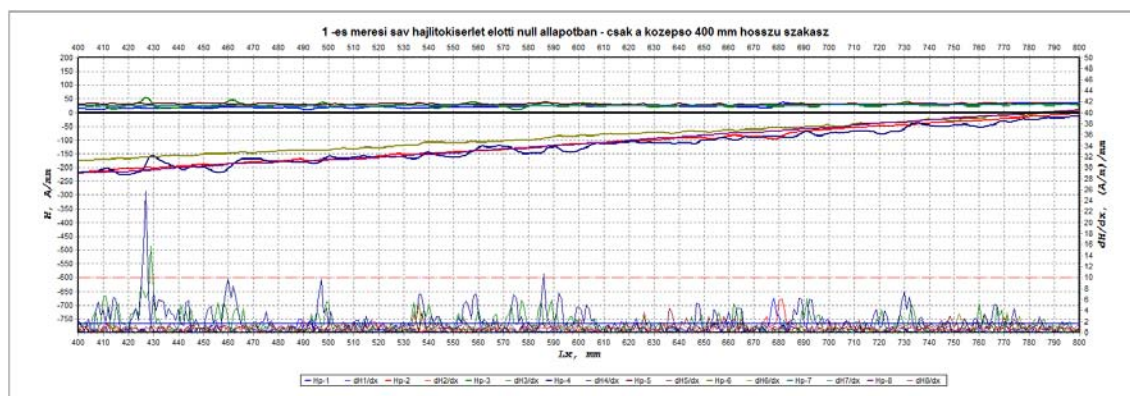
19. ábra: 2012-es vizsgálata a koromszáritó IV-es körvarratának



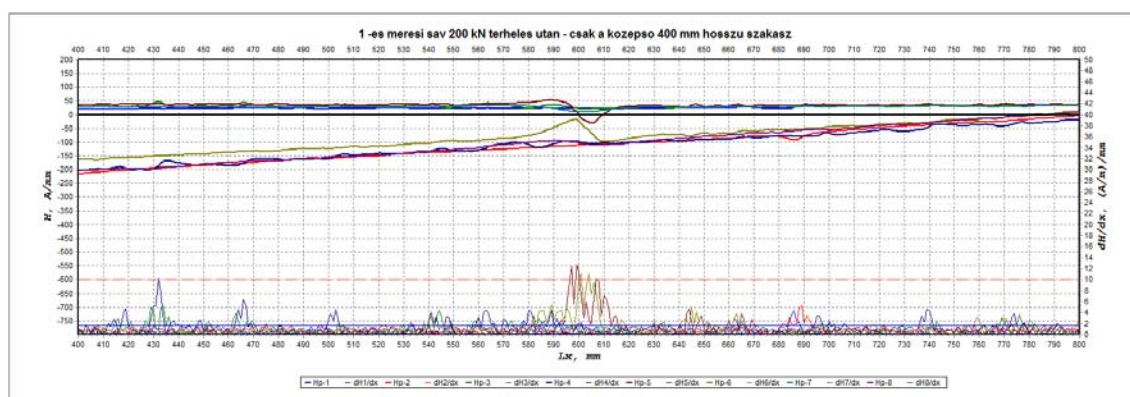
20. ábra: 2013-as vizsgálata a koromszáritó IV-es körvarratának



21. ábra: Head-check hiba magnetogramm képe



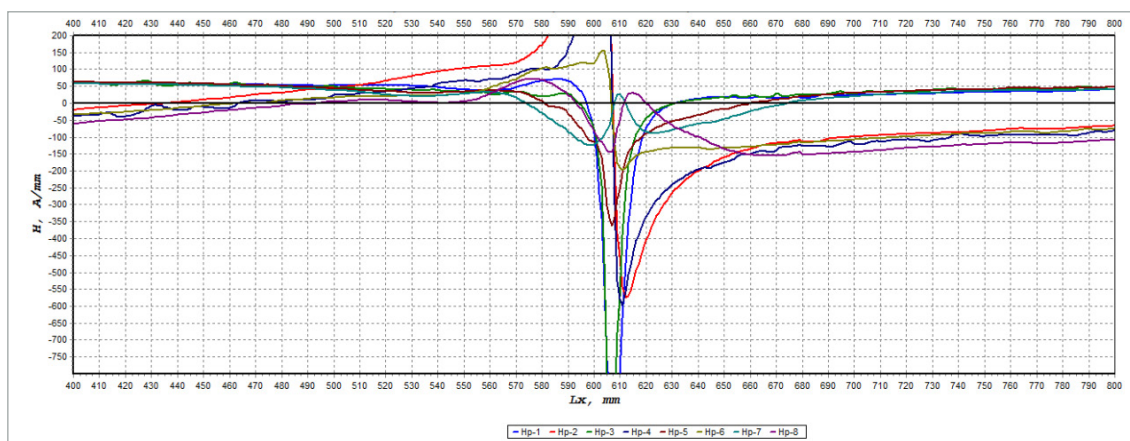
22. ábra: Sín hajlítás előtti null-állapota a középső részt érintve



23. ábra: 200 kN terhelés utáni állapot



24. ábra: 700 kN terhelés utáni állapot



25. ábra: Törés utáni állapot

6.4 Nagynyomású reaktorcső vizsgálata

Kis sűrűségű polietilén (LDPE) gyártóüzemben lévő tüzeset után, ún. autofrettage (magas belső maradó feszültséggel gyártott) eljárással készített hűtőköpennyel ellátott, 15 méter hosszú reaktorcsövek vizsgálatát végeztük el. A vizsgálat célja a hibakeresésen túl az volt, hogy azonosításra kerüljenek azok a csövek, vagy csőszakaszok, amelyeknél a belső feszültségállapot módosult a tűz hatására. Referenciaértékek felvételéhez raktárban tárolt új csövek vizsgálata is megtörtént. A vizsgálati eredményeket az egyéni kiértékeléseken túl a nagyszámú vizsgálatokból elvégezhető statisztikai összehasonlítások is elősegítették.

Elemzésre kerültek a mért értékek mágneses komponensei a vizsgált irányok alapján, tehát külön a tangenciális és külön a normális irányú mágneses adatok, azok gradienseivel együtt.

A statisztikai elemzések által kiugró eredmények sem a régi, sem az új csövek esetében, sem pedig a tűz által érintett területeken nem kerültek megállapításra. Elemezve a csövekben mért értékeket, egyetlen azonosítható különbség volt felfedezhető a használt és az új csövek vonatkozásában: a használt csövek esetében a szórt mágneses tér alapingadozása jelentősebb volt, mint az új csövek esetében. Belenagyítva a mért értékekbe és egymás alá illesztve azokat azonos skálázással, érzékelhető volt a mágneses tér homogenitásbeli különbsége.

A 26. ábrán a felső kép mutatja a használt csövekre jellemző mágneses értéket, míg az alsó ábrán az új csőnek a mágneses képe látható. Mivel a rögzített mágneses tér jellemzően arányban áll az anyagban lévő feszültségekkel, így látva és tapasztalva a mágnesesség homogenitását, levonható a következtetés, miszerint a belső feszültség az új csövekben

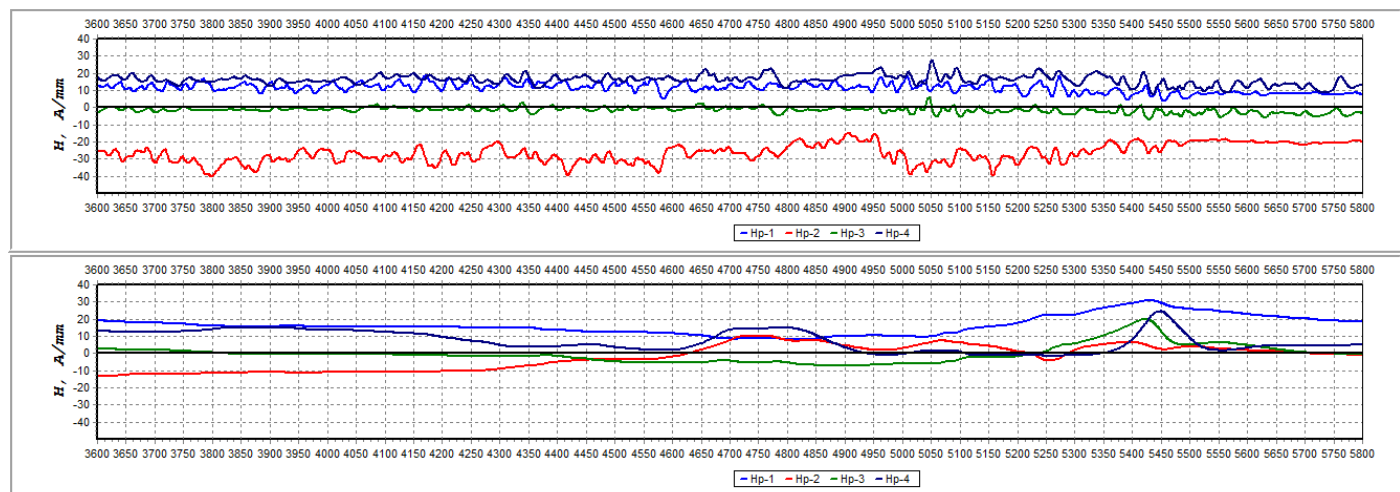
sokkal homogénebb állapotban van jelen, mint minden régi használt cső esetében, függetlenül a tűz hatásától. Így összességében az MMM eljárás megnyugtató állapotokat tárt fel; a tűz hatása nem befolyásolta a biztonságos üzemmenetet az autofrettage szempontjából.

6.5 Szigetelt berendezések vizsgálata

Az MMM eljárás egyik nagy előnye, ami versenyképessé tudja tenni más eljárásokkal szemben, hogy alkalmas bizonyos hőszigeteléseken keresztül is mérni a mágneses teret. Ennek számos feltétele van, mint például a szigetelőanyag összetétele, szigetelés merevítőelemeinek anyaga, a szigetelés burkolatának árnyékoló hatása, fűtőelemek jelenléte a szigetelésben, stb. Egy olajipari szigetelt csővezeték falvastagság-fogyási probléma feltárásán keresztül ismertettjük a szigetelésen keresztül történő vizsgálat metodikáját. Kezdő lépésként a kijelölt berendezés külső felülete a szigetelésen keresztül 100%-os terjedelemben vizsgálat alá került MMM eljárással, 27. ábra.

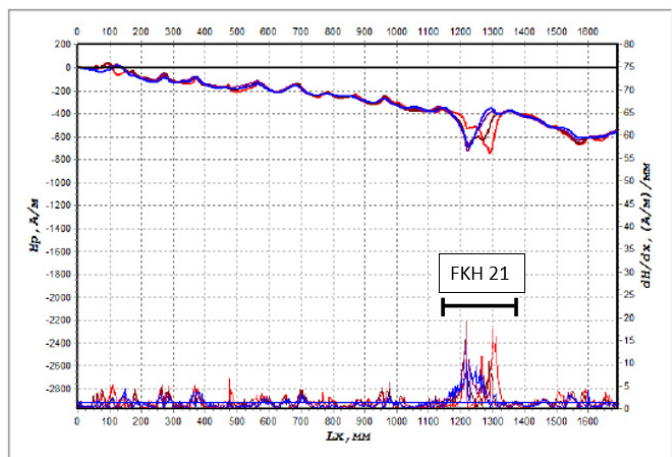


27. ábra: MMM vizsgálat szigetelésen keresztül



26. ábra: Felül a használt, míg alul az új csövek magnetogrambeli különbsége

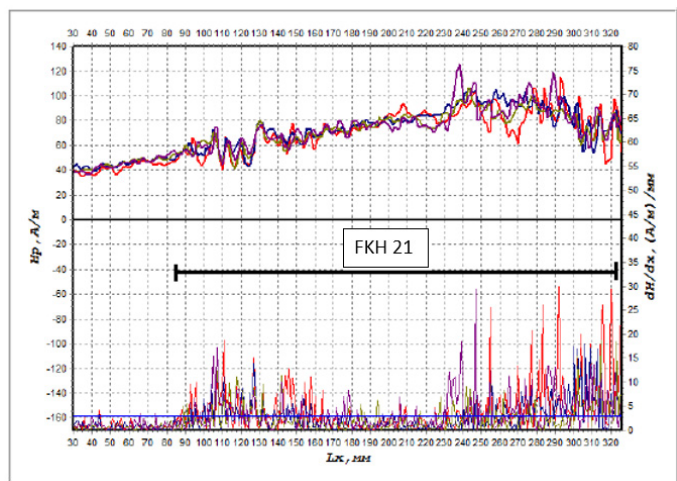
A mért értékeket a vizsgálók elemezték és kijelölték azokat a kritikus zónákat, ahol indokolt a szigetelés bontása. Ennél a konkrét esetről az MMM mérés ingadozást jelzett a mágneses tér mérése közben a 28. ábrán látható módon és helyen. Ez egy hozzávetőleg 150 mm hosszú szakasz volt, ahol a vizsgált berendezés mind a 4 csatornája a normálistól eltérő értékeket rögzített.



28. ábra: Szigetelésen keresztül rögzített mágneses anomália

Az ehhez a zónához tartozó szigetelést megbontották és így közvetlenül, a felületről MMM eszközökkel ismét feltérképezésre került a saját mágneses tér, a mágneses anomáliák pontosabb lokalizálása érdekében. Közvetlenül a felületen elvégzett méréssel még pontosabb képet kaptunk az anomáliákról, kizárva a szigetelés okozta esetleges zavaró tényezőket. A szigetelés nélküli, közvetlenül a felületen rögzített mágneses képet a 29. ábra mutatja a gradiens értékekkel együtt.

Látható, hogy egy közel 200 mm-es zóna volt érintett. A mágneses anomália jellegétől függően



29. ábra: MMM vizsgálat eredménye közvetlenül a felületen

eldönthető, hogy milyen kiegészítő vizsgálatokat célszerű még elvégezni (falvastagságmérés, hibakeresés UT/PT eljárásokkal, vagy egyéb), hogy a tényleges anyaghiba megtalálható, vagy kizárható legyen. A nagyobb kiterjedésű és folytonos mágneses anomália okán falvastagságmérés lett elvégezve. Ellenőrző mérések alapján a csővezeték névleges falvastagságmérete 11,5 mm volt, azonban az MMM eljárás által meghatározott területen a falvastagság értéke igen ingadozó volt és a minimumok 6,5 mm körül mozogtak.

Ezzel a módszerrel a szigetelt berendezéseknél is növelhető a vizsgálatok hatékonysága, ugyanis csak a kritikusnak értékelt, illetve a referencia helyekhez szükséges szigetelések megbontása és helyreállítása válik szükségessé, amely jelentős idő- és költségmegtakarítást eredményezhet.

7. Nehézségek a hazai MMM alkalmazásban. Hogyan lépünk előre?

Az 1. sz. mellékletben közölt „MMM eljárás hazai bevezetésének főbb eseményei”-t áttekintve látható, hogy az MMM első nemzetközi bemutatkozása (1994 - Peking) után 11 év kellett ahhoz, hogy egy Magyarországon működő cég (2005 - TÜV Rheinland InterCert) elsőként komoly érdeklődést mutasson ezen vizsgálati technológia iránt. Rá egy évre, 2006-ban a Trans Lex Work Kft. vette fel a kapcsolatot az eljárást feltaláló Energodiagnostika céggel, majd ismét egy év eltelté után 12 ország részvételével kiadásra került az első MMM ISO szabvány (ISO-24497-1-2-3:2007).

Vitathatatlan, hogy a hazai műszaki élet lassan mozdult ennek a zseniális roncsolásmentes vizsgálati eljárásnak az irányába. Ezt a megállapítást alátámasztja a következő 13 esztendő is. Hiába tört utat az MMM Európa különböző országaiban (jóval előtünk jár a környező országok közül Lengyelország és Csehország), vagy Kínában, Dél Amerikában (több, mint 3 000 km földalatti vezetékét vizsgálták már meg, feltárás nélkül!) és a volt szovjet tagköztársaságokban, mi valahogyan számtalan akadályban ütköztünk itthon.

Jogosan vetődik fel a kérdés: mi lehet ennek az oka? Rövid, egyszerű válasz erre a kérdésre nem adható, de megpróbáljuk összefoglalni az elmúlt kb. 15 év tapasztalatait és mind ezt úgy, hogy senkit ne sértünk meg.

- Az MMM egy multidiszciplináris elmélet, megértése komoly előtanulmányokat igényel.

Deklarálja, hogy az anyag nem homogén és nem izotróp, aminek elfogadása a szilárdtestek mechanikájával foglalkozóknak nem igazán tetszik.

- Mérnökök generációja nőtt fel a törésmechanika alapjain, ami azt állítja, hogy a berendezésekben a meglévő repedés terhelés hatására történő viselkedését kell elemezni. Mivel az MMM az anyag mágneses indikációi alapján már a repedés kialakulása előtti állapotban jelzi az anomáliákat, ezzel a törésmechanika nem tud mit kezdeni. A berendezések megbízhatóságával foglalkozó döntéshozók ezen igen fontos jelzéseket nem értik, az egész biztonság-filozófiát újra kellene gondolni.
- Az MMM elméletét egy addig ismeretlen, nemzetközi marketingben kevésbé járatos orosz cég dolgozta ki. Ha ezt egy tőkeerős és anyagvizsgálatban elfogadott nyugati cég tette volna, a módszer elfogadottsága sokkal gyorsabban megtörtént volna.
- Az MMM egy szűrő (screening) módszer, amelyet kiegészítő vizsgálatokkal kell összekötni, ha a talált eltérés (hiba) jellemzőire is kíváncsiak vagyunk. Amennyiben szükséges, rendszerint az MMM szakember a helyszínen rögtön elvégzi a kiegészítő vizsgálatokat is.
- A hagyományos anyagvizsgálati oktatásnak az MMM nem része. A módszert csak kevés helyen lehet megismerni és elsajátítani.
- Nem elhanyagolható tény, hogy nem találtuk meg az állami támogatás megfelelő formáit. Pedig ez több irányú lehetne:
- **Honosítani kellene az MMM ISO szabványt,** de úgy, hogy a teljes szabvány megjelenhessen magyar nyelven, mert – sajnos – a magyar műszaki gárda angol nyelvtudása még nincs olyan szinten, hogy ebben a szabványban leírt bonyolult angol szakmai kifejezéseket megértse, majd alkalmazza. A szabvány honosítása azért is nagy jelentőségű lenne, hogy a magyar hatóságok is „közelebb kerüljenek” az MMM-hez. Komoly nehézséget jelent a jelenlegi honosítási rendszer, mert - bár az egész magyar iparnak fontos egy adott nemzetközi szabvány, de - a honosítást kezdeményező cégnek vagy személynek kell(ene) fedeznie a Magyar Szabványügyi Testület által meghatározott fordítási- és lektorálási díjat. Például az MMM szabványok esetében ez csaknem 1 millió Ft. Úgy gondoljuk, hogy a jelenleg alkalmazott eljárást

az Innovációs és Technológiai Minisztériumnak célszerű lenne felülvizsgálnia, különös tekintettel a magyar cégeket és szakmai szervezeteket a COVID-19 kapcsán ért hatalmas anyagi veszteségek, nehézségek miatt.

- A korszerű karbantartási- és állapotellenőrzési eljárások, ill. a roncsolásmentes anyagvizsgálatok hazai bevezetésére, azok K+F tevékenységére (mert az MMM mellett van számos egyéb, itt-hon alig ismert és alkalmazott korszerű eljárás) a szakemberek és diagnoszták (ki)képzésére, a műszerek és segédanyagok beszerzésére – szakmai szervezetek, pl.: a MAROVISZ és a Magyar Ipari Karbantartók Szervezete - bevonásával **pályázati lehetőségeket** kellene megteremteni.

Az oknyomozás következő állomása a cégvezetők hozzáállása. A cégvezetők általában a hatóságok jóváhagyásához kötik az MMM alkalmazhatóságát.

Azonban a hazai hatóságok vélhetően nem ismerik és nem fogadják el preferált vizsgálati módszernek.

- Pl. a csővezeték vizsgálatoknál szembesültünk azzal a ténnyel, hogy az MSZ EN 13780-5 Fémfől készült ipari csővezetékek (5. Ellenőrzés és vizsgálat) szabványban a megadott vizsgálati eljárások között az MMM nem szerepel. A kör bezárult és ezt a – hibahelyeket, felületi tisztítások nélkül is, rendkívül gyorsan behatároló - roncsolásmentes vizsgálati eljárást nagyon sok esetben nem alkalmazhattuk. Persze pozitív példa is van, hiszen – többek között – a tiszaujvárosi Koromgyár vezetői a legelső perctől elfogadták az MMM vizsgálat lehetőségét és így a forgó koromszáritók belső terében egyetlen nap alatt mintegy 100 m hosszú hegesztési varrat repedésvizsgálata készülhetett el. Ugyanitt 10 MW teljesítményű gőzturbina forgórész lapátjainak sikeres MMM ellenőrzésére is sor került. Könnyen le lehetne vonni a konklúziót: Ja kérem! Ott a teljes menedzsment mérnök! Ami igaz is.
- Nagyon biztatónak kezdődő, de – MMM oldaláról – egy kicsit felemásan véget érő vizsgálat volt a tűzbe került ultranagynyomású csövek ellenőrzése. A kérdés az volt, hogy az autofrettage eljárással kezelt (vagyis 11 000 bar nyomással, a cső belső oldalán létrehozott tangenciális nyomófeszültséggel rendelkező speciális) csövekben nem történt-e „feszültségmentesítő hőkezelés”, vagyis a továbbiakban használhatóak-e, vagy cserélni kell azokat? Bár ún. „nulla állapot”-ban mért adataink nem voltak, a vizsgálati eredmények sok hasznos, megnyugtató információt

adtak. Azonban a rendelkezésre álló (egyébként nagyon szolid) költségkeret kimerülése nem tette lehetővé az időközben K+F szintre fejlődő – a termelő üzemet és a kkv-t (TLW Kft.) jóval meghaladó – munka befejezését. Pedig, ismereteink szerint, ilyen jellegű, teljes körű vizsgálatot még senki nem végzett, vagy legalább is nem publikált.

Tapasztalataink alapján nyugodt lelkiismerettel kijelenthető, hogy **egy-egy vállalatnál az MMM alkalmazása a különböző szintű vezetőkön múlik!**

Az előrelépés korábbi körülményeit és a jövő lehetőségeit vizsgálva a **MAROVISZ biztató támogatása 2014-es évektől sokat jelent, például MMM szakbizottság működik a szövetség keretében.** Ettől kezdve már nem egy kis kkv és néhány személy ügye lett ez a vizsgálati eljárás hazánkban.

További bizakodásra ad okot, hogy a magyar egyetemek közül elsőként a Pannon Egyetemen 2015-től a BSc és MSc nappali, ill. levelező hallgatóknak az **MMM oktatása** folyamatos, a Debreceni Egyetem szakmérnök képzés keretében a 2020-as tanulmányi évben már fogja oktatni ezt a vizsgálati eljárást és a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar dékánjától is van határozott ígéret az oktatás beindítására.

E cikk készítői az MMM további fejlődését, hazai elterjedésének feltételeit abban látnák, ha a jelenleg érvényes vonatkozó magyar szabványok szisztematikus felülvizsgálata után az alkalmazható roncsolásmentes vizsgálati eljárások közé az MMM is bekerülne. Továbbá a magyar nagyvállalatok, ahol egy-egy éves gyár leállásnál, viszonylag rövid idő alatt, nagy volumenű (több száz nyomástartó edény, több ezer méter csővezeték és hegesztési varrat, több száz forgógép, stb.) szerkezeti-, repedés- és egyéb hibakereső vizsgálatra kerül sor (pl.: MOL Nyrt., MOL Petrolkémia, Hőerőművek, stb.) elfogadnák és alkalmaznák az MMM eljárást.

8. Az ICNDT SIG MMM, az MMM módszer nemzetközi szakmai szervezete

Az MMM módszer elmélete és gyakorlata az IIW, a Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálati Bizottság (International Committee of Non-Destructive Testing, ICNDT), az Európai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (European Federation for Non-Destructive Testing, EFNDT) konferenciáin és számos más rendezvény keretében bemutatásra került.

A MAROVISZ égisze alatt 2015 januárjától működik MMM szakbizottság Magyarországon három vizsgáló-tanúsító cég kezdeményezésére.

Az ICNDT döntéshozó szerve 2016. január 29.-én javasolta egy MMM Specialist International Group (SIG) létrehozását, mely a módszer nemzetközi tudományos-technikai fejlesztését és a módszer elterjesztését tűzte ki célul. A MAROVISZ eleget tett az ICNDT felkérésének és ezáltal a MAROVISZ lett a szakcsoport házigazdája.

Az ICNDT MMM SIG csoport 13 ország részvételével először 2018. április 25.-én tartotta alakuló gyűlést a Második Nemzetközi MMM konferencián (2nd International Conference "Diagnostics of structures and components using metal magnetic memory method") Budapesten. Azóta éves munkaterv szerint tevékenykedik és tartja gyűléseit.

9. Összefoglalás

A ferromágneses anyagú testek felülete mentén már a spontán módon kialakuló domén-szerkezet eredményeként is létrejön szórt mágneses tér, miközben a test eredő mágnesezettsége nulla. Külső mechanikai feszültség hatására a doménszerkezet és – ha az anyag mágnesezett – a mágnesezettség módosul. A változás tükröződik a szórt térben is. A lokális szórt fluxus – akár folytonossági hiányokról, akár doménhatárokról vagy diszlokáció-csoportokat tartalmazó tartományról van szó – értelmezhető úgy, hogy ezeken a helyeken kis mágneses dipólusok vannak valamilyen felület menti és mélységi eloszlásban. A lokális szórt fluxusra mindig érvényes az, hogy az indukció felületre merőleges (normális) H_n komponense valahol a kérdéses tartomány fölött előjelet vált, és ugyanott a $dH_n(x)/dx$ derivált maximális értéket vesz fel. A maradék belső feszültséggel rendelkező anyagok mágneses szerkezete eltér a feszültségmentesített anyagokétól [6].

Elméleti megfontolások és kísérleti tapasztalatok alapján az alábbi következtetésekre juthatunk:

- Az MMM módszer az egyik legújabb anyagvizsgálati módszer. Elméleti és gyakorlati háttere folyamatosan bővül a nemzetközi szabványháló létrehozása és rendszeres felülvizsgálata, a műszaki-tudományos kísérletek, a matematikai modellezés és az ezekből született publikációk, valamint a nemzetközi konferenciákon elhangzott prezentációk hatására.
- Az MMM passzív, az anyagot inhomogénnek és anizotrópnak tekintő feszültség- és hibakereső módszer, amely a ferromágneses fémszerkezetek

felszíne mentén lévő szórt mágneses fluxushoz kötődő indikációk mérésén alapul.

- Az MMM óriási gyakorlati előnyökkel rendelkezik. Amellett, hogy egy gyors ellenőrzési diagnosztikai módszer, nemcsak a hibák helyeit képes meghatározni, hanem arra is információt ad, hogy később hol lesz a hiba. Különösen a ciklikusan ellenőrzött, veszélyes ipari létesítmények (pl.: nyomástartó edények, veszélyes töltőtartályok) ellenőrzése során fontos ezeket a helyeket előre ismerni, amikor – 5 vagy 10 évvel később – a vizsgálati tervek készülnek. A jelentős előnyök közé kell sorolni, hogy nem szükséges felülettisztítás, ill. fémtiszta felület, valamint segéd energia alkalmazása, továbbá az MMM módszer bizonyítottan hatékony a földalatti, vagy szigetelt vezetékek megbontás nélküli diagnosztikája terén is.
- A mért indikációkból mennyiségi következtetés nehezen vonható le, illetve csak megfelelő kalibráció vagy más módszerekkel történő kiegészítő vizsgálat után. Így az MMM egy nagyszerű screening módszernek is tekinthető, mely a létező anyagszerkezeti hiányosságokon kívül a szerkezetben kialakult feszültséggyűjtő helyeket is detektálja. A feszültséggyűjtő helyek a továbbiakban repedések, korrózió, illetve egyéb károsodások kiindulási pontja. Az MMM jól használható hegesztett szerkezetek vizsgálatához is.
- Az utóbbi időben az MMM nemzetközi kutatásai a fémes anyagok mágneses és mechanikai tulajdonságainak kapcsolatára irányulnak. Ha megfelelően kialakított modell alkalmazásával, a fémszerkezetek felületén mért mágneses indikáció alapján, a szerkezeti elemei mechanikai tulajdonságainak gyors meghatározása elérhető lesz, akkor ez átütő eredményt hozhat a módszer alkalmazásában.
- Az MMM eljárás összhangban van és kiszolgálja a károsodások korai detektálása (PMDM) koncepciót, így helye lesz az ipari létesítmények élettartam gazdálkodás/üzemidő hosszabbítás tevékenységében.
- Sajnálatos módon az MMM hazai alkalmazása erősen lemarad a környező országok gyakorlatától, – amint erre a cikkben rámutattunk – sok tényezőre vezethető vissza.

Irodalomjegyzék

- [1] ISO 24497-1:2020 Non-destructive testing, Metal magnetic memory-, Part1: Vocabulary and general requirements
- [2] ISO 24497-1:2020 Non-destructive testing, Metal magnetic memory-, Part2: Inspection of welded joints
- [3] A. A. Dubov Metal Magnetic Memory Method. History of Origin and Development. Moscow: FSUE "Izvestiya" Publishing House UD P RF, 2011-256p.
- [4] A.A.Dubov, V.T.Vlaszov: Physical basis of the Metal Magnetic Memory Moscow, 2004, 2019. Moszkva
- [5] A.A.Dubov, V.T.Vlaszov: Physical Theory of the "Strain-Failure" process Part I., Part II., Moscow, 2013
- [6] Skopál István: Az MMM vizsgálat alapjai. A MAROVISZ RAKK 2015 évi konferencián elhangzott előadása
- [7] An. A. Dubov, Al. A. Dubov, P. Ladanyi. Tensile testing of steel specimens using the metal magnetic memory method // Digest of papers of the 7th International Conference „Diagnostics of equipment and structures using the metal magnetic memory”. Moscow: Energodiagnostika Co. Ltd., 2013. 89 p.
- [8] An. A. Dubov, Al. A. Dubov, P. Ladanyi, A. Yu. Marstenkov, Tensile testing of steel specimens using the metal magnetic memory method // The Gas Safety Journal, Oct. 2016, pp. 42-47, the paper was presented online at the IIW Annual Assembly (July 17, 2020)
- [9] A. Dubov, S. Kolokolnikov, Assessment of the Material state of Oil and Gas Pipelines based on Metal Magnetic Memory Method, Welding in the World, 2012, vol 54
- [10] Expert Panel Report on Proactive Materials Degradation Assessment, NUREG/CR-6923, U.S.NRC, Washington DC, 2006
- [11] Bond, L. J., Moving Beyond Nondestructive Examination to Proactive Management of Materials Degradation, J. Pressure Vessel Technology, February 2012, Vol 134.
- [12] TLW KFT. M12087 Tread 2B szárító MMM vizsgálati jelentése
- [13] TLW KFT. M13044 Tread 2B szárító MMM vizsgálati jelentése
- [14] TLW KFT. M12158, M13010 - Vizsgálati jelentés a 36 db reaktor cső vizsgálatáról
- [15] TLW KFT. M13022 BKV M3 metró sínvizsgálati jelentés
- [16] TLW KFT. M13112 MOL Pilot Project – Fejlett inspekciós módszerek MMM vizsgálati jelentése

1. Melléklet: MMM eljárás hazai bevezetésének főbb eseményei

- 1994: A Nemzetközi Hegesztési Intézet 47. Pekin-i éves közgyűlésén A.A. Dubov professzor először mutatja be az MMM eljárás alapjait (No.11-628-94).
- 2002-2013: A Nemzetközi Hegesztési Intézet V. és XI. Bizottságában Dubov professzor és munkatársai évente rendszeresen előadást tartanak az MMM eljárás alapjairól és gyakorlatáról, ahol a magyar hegesztési és anyagvizsgálati (Dr. Ladányi Péter, Prof. Dr. Trampus Péter) delegátusok megismerkednek az eljárás alapjaival. Az 1994-től-2019-ig 50 IIW dokumentumot fogadtak el ebben a témában a szerzőtől.
- 2005: A TÜV Rheinland InterCert (Budapest) műszaki-tudományos területen komoly érdeklődést mutat az eljárás iránt és tárgyalásokat kezdeményez az Energodiagnostika céggel.
- 2006: TLW Kft. kapcsolatfelvétele az Energodiagnostika Co.-val.
- 2007: A TÜV Rheinland Létesítménytechnikai Konferenciáján A. Dubov professzor először tart előadást Magyarországon.
- 2007: Az MMM ISO szabványok megjelenése 12 ország részvételével, melynek létrejöttéhez a magyar IIW delegátus is többéves munkával hozzájárul:
- ISO-24497-1:2007 Non-destructive testing - Metal magnetic memory – Part 1: Vocabulary
 - ISO-24497-2:2007 Non-destructive testing - Metal magnetic memory – Part 2: General requirements
 - ISO-24497-3:2007 Non-destructive testing - Metal magnetic memory – Part 3: Inspection of welded joints.
- 2010: A Paksi Atomerőmű Zrt. 4 főt beiskoláz MMM 1. szintű képzésre és vásárol egy készüléket.
- 2011: A TÜV Rheinland InterCert műszaki-tudományos szerződést köt az Energodiagnostika céggel és ez évben átfogó validálási programot hajt végre Budapesten melynek eredményeit hazai és nemzetközi fórumokon is bemutatja. Sor kerül az első magyar TÜV szakember kiképzésére és berendezés vásárlására.
- 2012: Első MMM publikáció megjelenése magyar társszerző részvételével:
An. Dubov, Al. Dubov, Ladányi P.: Acél próbatestek szakítóvizsgálata MMM módszerrel (Tensile testing of steel specimens using the metal magnetic memory method // Digest of papers of the 7th International Conference „Diagnostics of equipment and structures using the metal magnetic memory”. Moscow: Energodiagnostika Co. Ltd., 2013. 89 p.)
2012. február: Moszkva – A TLW Kft. első MMM szakember 1. szintű kiképzése Moszkvában az Energodiagnostika akkreditált Laboratóriumában.
2012. december: BKV M3 metróvonal sínvizsgálat headcheck hibák és hegesztési hibák feltárására.
- 2012 – 2013: TVK Nyrt. LDPE 2 üzemében ultra nagy (3500 bar) nyomású – tűzbe került – reaktor csövek vizsgálata.
2013. február: Moszkva – A második és harmadik TLW Kft. MMM szakember 1. szintű kiképzése Moszkvában az Energodiagnostika akkreditált Laboratóriumában.
2013. június: Columbian Tiszai Koromgyártó Kft. TREAD 2B forgószáritó MMM vizsgálata.
2013. december: „MOL Nyrt. Dunai Finomító Korróziós Felzárkóztatási Projekt Fejlett Inspekciós Módszerekkel” – Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. szervezésében. Az MMM eljárás is bemutatásra került 3 berendezésen, közöttük egy föld alatti csővezetéken.
2014. március: Prága – 2 fő TLW Kft. MMM szakember kiképzése az Energodiagnostika Prágába kihelyezett oktató központjában.
2014. május 8.: I. Közép-kelet európai Metal Magnetic Memory Konferencia megszervezése Budapesten a MAROVISZ égisze alatt. A magyar előadások:
- Dr. Ladányi Péter: Introduction of MMM method in Hungary and its validation, TÜV senior expert, Interproject Europe
 - Lajos Magyar, Kristóf Dandé: Application of MMM method in the Hungarian oil and gas industry, and railway inspection, Trans Lex Work, Hungary
2014. május 15.: AGREEMENT on cooperation between Energodiagnostika co. Ltd. (Moscow, Russia) and Trans Lex Work Kft. (Budapest, Hungary).
2015. január 16: Budapest – Megalakul a MAROVISZ égisze alatt a Metal Magnetic Memory (MMM) Szakbizottság.
- 2015: MAROVISZ rendezésű RAKK Konferencia
- Dr. Ladányi Péter: Bevezetés a „Metal Magnetic Memory” (MMM) eljárás elméletébe
 - Dr. Skopál István: Az MMM vizsgálat alapjai
 - Dandé Kristóf: A fémek mágneses memória módszerének magyarországi alkalmazása a

- vegy-, olaj-, és energiaipar területén
- 2015: Karbantartási menedzser képzés elindult a PANNON EGYETEMEN. Megkezdődik Magyarországon az MMM oktatása.
2015. november: MÁV teszt pályán headcheck hiba vizsgálata.
2015. december: MÁV KfV Kft. -nél sínhajlítás és sín-törés mérése MMM eljárással.
2016. május 19-20: Budapest – Az EFNDT égisze alatt MAROVISZ rendezésben sor kerül – The 1st International Conference on diagnostics of structures and components using Metal Magnetic Memory method konferenciára. Magyar előadások:
- Dr. Ladányi Péter, Méhész István: Validation procedures for the industry, Detection of Residual Stress using the Metal Magnetic Memory Method (Hungary)
 - Dandé Kristóf: The Hungarian application of the metal magnetic memory method in the territory of chemical-, oil- and energy industry (Hungary)
 - Joó Gyula: Industrial application of MMM inspection method on high pressure reactor tubes (Hungary)
2016. május: kapcsolatfelvétel a Nemzeti Közlekedési Hatóság Útügyi, Vasúti és Hajózási Hivatal Vasúti Főosztályával.
- 2016: Balatoni Ankét:
- Dr. Ladányi Péter, Prof. Dr. Trampus Péter: Új módszer a szerkezeti károsodás korai kimutatásához. Osztályozási javaslat
2017. április: Prága – 2 fő TLW Kft. MMM szakember-nél a 2. vizsgáló szint meghosszabbítása az Energodiagnostika Prágába kihelyezett oktató központjában.
- 2017: Az ICNDT égisze alatt, a MAROVISZ-szal, mint házigazdával, létrejön a Nemzetközi MMM Specialist International Group az MMM tevékenység világméretű támogatására.
- 2017: MAROVISZ RAKK Konferencia:
- Dr. Ladányi Péter: Metal Magnetic Memory (MMM) eljárás alkalmazása az ipari káresek korai megelőzésében
2018. április 24-25: Budapest – AZ EFNDT égisze alatt MAROVISZ megrendezi a 2. Nemzetközi MMM Konferenciát (The 2nd International Conference "Diagnostics of structures and components using the metal magnetic memory method".
- 2018: ISO 24497-1 -2 -3 szabványok felülvizsgálata magyar részvétellel. Szakcsoport gyűlés Budapesten a MAROVISZ szervezésében.
2018. április: BME IST által rendezett kazánbiztosi továbbképzés keretei között az MMM eljárás alkalmazhatóságának bemutatása.
2018. május: TLW Kft. Anyagvizsgáló és Diagnosztikai Laboratóriuma megszerzi az akkreditált státuszt többek között – Európában 2. laboratóriumként – az MMM vizsgálatra vonatkozóan is.
2019. április-május: Pannon Egyetem BSc képzés – Üzemfenntartás tantárgy keretében az MMM oktatása.
2019. október-november: Pannon Egyetem MSc képzés – Üzemfenntartás tantárgy keretében az MMM oktatása.
- 2019: Prága: The 3d International Conference "Diagnostics of structures and components using the metal magnetic memory method",
- A. A. Dubov, P. Ladanyi, P. Trampus: Detection of local stress concentration zones in engineering components. The missing link in the quality system
- 2019: Prága ICNDT MMM SIG Group Konferencia megszervezése három magyar szakember részvételével és előadásával.
- 2019: Balatoni Ankét:
- Dr. Ladányi Péter: Nyomástartó rendszerek, műszaki berendezések feszültség-alakváltozási állapot ellenőrzésének új energetikai koncepciója
2020. május-június: Pannon Egyetem MSc képzés – Esettanulmányok tantárgy.
- 2020: Az új MMM ISO szabvány közreadása, amelynek végleges kidolgozásához 7 ország, köztük Magyarország szakemberei járultak hozzá:
- ISO 24497-1:2020 Non-destructive testing - Metal magnetic memory – Part 1: Vocabulary and general requirements
 - ISO 24497-2:2020 Non-destructive testing - Metal magnetic memory – Part 2: Inspection of welded joints
2020. július: BME IST által rendezett kazánbiztosi továbbképzés keretei között az MMM eljárás alkalmazhatóságának bemutatása.
- 2020 szeptember 21.: A Magyar Szabványügyi Testület JELÖLŐLAP-ot bocsájtott ki az angol nyelvű szabványok és szabvány jellegű dokumentumok magyar nyelvű kiadásához, amelyben kezdeményeztük az ISO 24497-1 és 2:2020 MMM szabványok magyar nyelvű fordítását.

Az MMM vizsgálat alapjai

Skopál István

egyéni vállalkozó, skopal.i@marovisz.hu

Összefoglaló

Az MMM vizsgálatok célja az, hogy roncsolásmentesen feltárjuk a különböző ferromágneses fémtermékekben vagy fém szerkezeti elemekben lévő inhomogén anyagtartományokat, melyek károsodások kiinduló pontjai lehetnek, valamint a már létrejött anyagfolytonossági hiányokat. A módszer az ilyen helyeken, a csak a földi mágneses térnek kitett fémtestből kiszivárgó és annak felülete mentén detektálható mágneses fluxusra épül. E tanulmány a fluxus-szivárgás fizikai hátterét és lehetséges okait tekinti át. Egyúttal rámutat arra, hogy önmagában az MMM-jel nem adhat mindig egyértelmű információt a vizsgált objektum állapotáról.

Kulcsszavak

MMM vizsgálat, ferromágneses fémtestek, inhomogén anyagtartományok, fluxus-szivárgás, károsodások

1. Bevezetés

Az MMM (Metal Magnetic Memory) koncepciót és vizsgálatot 1996-ban a párizsi IIW konferencián, majd 1998-ban a 7. ECNDT-n ismertette először nemzetközi hallgatóság előtt Anatolij Dubov[1], aki munkatársaival akkor már húsz éve foglalkozott ezen új roncsolásmentes technika fejlesztésével, ipari alkalmazásaival, valamint a hozzá való vizsgáló eszközök tervezésével és gyártásával. Az azóta eltelt bő két évtizedben több orosz szabadalmat és hatóságilag elfogadott, iparági MMM vizsgálati technológiát dolgoztak ki, miközben cégük, az Energodiagnostika nevű vállalat tevékenységét kiterjesztették MMM vizsgálók képzésére és tanúsítására is – kezdetben az orosz szabályozást, majd az ISO 9712 szabványt követve. Fontos előrelépést jelentett az eljárás szabványosítása, előbb Oroszországban, majd 2007-ben nemzetközi szinten is. Az ISO szabványsorozatot Oroszországban és néhány más országban honosították, az utóbbi három évben pedig átdolgozták [2].

Ezzel párhuzamosan a világban többfelé, különösen Kínában és Lengyelországban, kezdtek el behatóan tanulmányozni az MMM eljárást. A célkitűzés

jól érzékelhetően mindenütt az, hogy pontosan tisztázzák, mire és milyen korlátokkal használható ez a technika. Publikációk sora tárgyalja az ezzel kapcsolatos különféle elméleti megfontolásokat és (laboratóriumi) kísérleti mérések eredményeit. Néhányra jelen tanulmány is hivatkozik, miközben áttekintés ad a ferromágneses anyagok azon fizikai sajátosságairól, jelenségeiről, amelyek fő szerepet játszhatnak az MMM indikációk keletkezésében. A cél változatlan: megkeresni a helyét és lehetőségeit ennek a több szempontból ígéretesnek és előnyösnek tűnő, ugyanakkor mind a mai napig széles körben még nem elfogadott, sőt sokak által elutasított roncsolásmentes vizsgálati eljárásnak.

Mindenekelőtt két, szóhasználatlalt kapcsolatos megjegyzést kell tenni. Először is, e helyütt a nemzetközileg ismert, angol elnevezést, illetve annak „MMM” rövidítését használjuk, mert egyrészt nincs hivatalos magyar név, másrészt a szó szerinti fordítás – fém mágneses memória – furcsa, sőt értelmetlen lenne. (Sajnos már maga az angol elnevezés erősen vitatható.) Másodszor pedig, eljárásról beszélünk (nem módszerről), ami (a magyar roncsolásmentes vizsgálati terminológia szerint) azért jogos, mert – bár ez esetben is a munkadarab felszíne mentén lévő, szórt mágneses fluxushoz kötődik az indikáció – más fizikai jelenség áll a szórt fluxus keletkezésének hátterében, mint a hagyományos mágnesezhető poros és térérzékelős vizsgálatoknál. Az MMM technika fő jellemzői röviden a következők:

- A vizsgálatok során nem mágnesezik fel a munkadarabokat, azokra csak a földi mágneses tér hat.
- Igen érzékeny mágneses térmérő szondákat alkalmaznak.
- A cél (az anyagfolytonossági hiányokon túl) a nagy belső feszültségű, ún. feszültség koncentrációs helyek felderítése, amelyek üzemelés közben károsodási folyamatok kiindulópontjai lehetnek.

A következőkben a ferromágneses anyagok doménszerkezetével és magneto-elasztikus viselkedésével foglalkozunk, továbbá néhány, a témánkkal foglalkozó laboratóriumi mérés eredményeit idézzük és elemezzük.

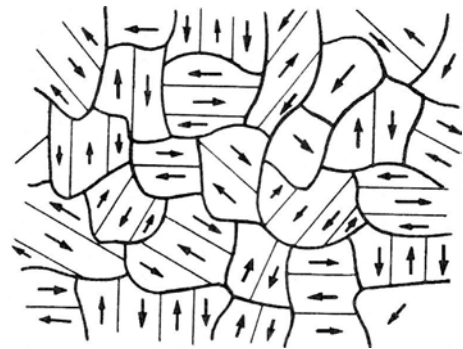
2. Doménszerkezet

2.1 Az elemi momentumok rendeződése

A ferromágneses¹ anyagok azért mágnesezhetők erősen – szemben a para- és diamágneses anyagokkal –, mert eleve mágnesezett tartományokból, ún. doménekből állnak. Ezek spontán kialakulnak, amint az anyag a rá jellemző kritikus hőmérséklet, a Curie-hőmérséklet alá hűl. A folyamathoz semmilyen külső mágneses térre nincs szükség; a mindig jelenlévő, gyenge földi mágneses tér hatása elhanyagolható. Továbbá mindegy, hogy olvadákból éppen megszilárdult öntvény, varratanyag, hegesztett kötés hőhatás-övezetének anyaga, vagy gyártástechnológiai okból felhevített ötvözet hűl le. Az egyes domének telítésig mágnesezettek, azaz bennük az elemi mágneses momentumok teljesen rendezettek. Tehát – bár az analógia nyilván durva – minden domén mikroszkópikus mágnesnek tekinthető. (A doméneket gyakran Weiss-féle tartományokként emlegetik.)

Az anyag elemi mágneses momentumait az atomok, közelebről azok elektronjai hordozzák. (Az atommagban lévő részecskék a ferromágnesesség szempontjából figyelmen kívül hagyhatók.) Ha az atomoknak van teljesen be nem töltött elektronhéjuk, és egyéb, itt nem részletezhető feltételek is teljesülnek, akkor eredő momentummal is rendelkeznek. Ha ezen felül a mondott elektronhéjaknak (más néven elektronpályáknak) az átmérője és a szomszédos atomok távolsága megfelelő arányban van egymással, akkor érvényesül egy viszonylag erős kölcsönhatás, ami az elemi momentumokat egy irányba állítja be, legalábbis bizonyos tartományon belül, azaz létrejönnek a domének. (Ez az ún. kicserélődési kölcsönhatás egyébként elektrosztatikus jellegű és csak a kvantummechanika keretén belül értelmezhető.) A rendező kölcsönhatással kapcsolatban érdemes hangsúlyozni az atomtávolságok, tehát az anyagszerkezet szerepét magának a ferromágneses állapotnak a létrejöttében. (Megemlíthető például az α - és γ -fázisú vasötvözetek eltérő viselkedése, vagy az, hogy a 70Fe30Ni permalloy néhány ezreléknyi zsugorodást okozó kompresszió hatására szobahőmérsékleten paramágnesessé válik [3].)

Számos megfigyelés és mérés azt támasztja alá, hogy a ferromágneses testek – a kisméretű egykristályok speciális esetét leszámítva – igen sok doménből állnak, amit sematikusan az 1. ábra illusztrál.



1. ábra: Ferromágneses anyag mikroszerkezete lemágnesezett állapotban

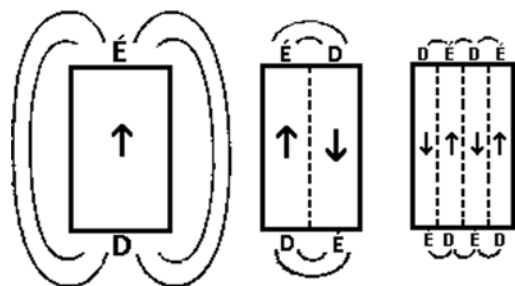
(A vékony vonalak doménhatárok, a vastagok kristály- és egyben doménhatárok.)

A különféle anyagok általában 10-1000 μm méretű kristályszemcséiben 100-100.000 domén is lehet (noha nem kizárt a 10 alatti darabszám sem). Az átlagos doménméretek 0,1 és 100 μm közé tehetők. A szemcsékhez képest kicsi, de a rácsállandókhoz képest nagy domének 10^{12} - 10^{18} atomot tartalmazhatnak.

2.2 Az energiaminimum elve

A spontán, külső mágneses tér nélkül kialakuló teljes doménszerkezet az energiaminimum elve alapján érthető meg a legegyszerűbben. Ez az általános fizikai elv azt jelenti, hogy a természetben önmaguktól végbemenő folyamatok eredményeként a folyamatokban érintett testek és közegek összes energiája a lehető legkisebb értéket éri el.

Az elemi momentumok rendeződése a kölcsönhatásban lévő atomok (elektronok) együttes energiáját csökkenti. Ezzel párhuzamosan azonban a fejlődő doménen mint piciny mágnesen kívül mágneses tér és vele térenergia keletkezik, ami növeli az egész rendszer energiáját. Ezért kedvezőbb, ha egy kristályszemcsében egy nagy helyett két kisebb és ellentétesen mágnesezett domén jön létre egymás mellett, mert akkor kisebb lesz a külső – a szórt – tér energiája (2. ábra).

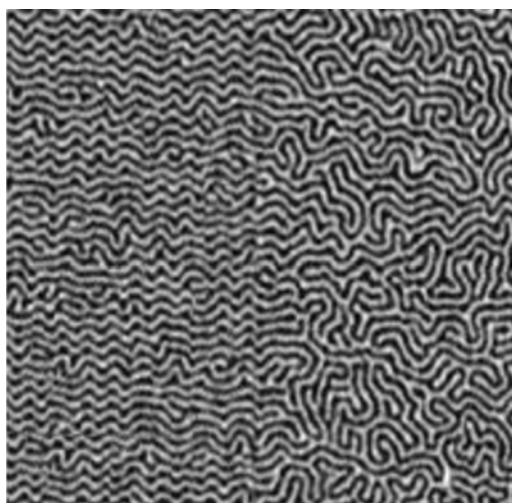


2. ábra: A szórt fluxus csökkenése a domének számának növekedésével

¹ Az MMM vizsgálatok szemszögéből érdektelen ferrimágneses és antiferromágneses anyagokkal most nem foglalkozunk.

Sőt, kiszámítható, hogy a szórt mágneses tér energiája – az ábra szerinti egyszerű esetben – a domének vastagságával (átmérőjével) arányos [4], ami a doménszám növekedésének irányában hat, adott szemcsén belül.

Az ábra nem teljesen elvi: ilyen doménszerkezet létrejöhet egy párhuzamos síkokkal határolt, nem túl vastag rétegben, ha abban az elemi momentumok rendeződésének kedvező iránya (ld. 2.4 Mágneses anizotrópia fejezetben) merőleges a párhuzamos felületekre (3. ábra).



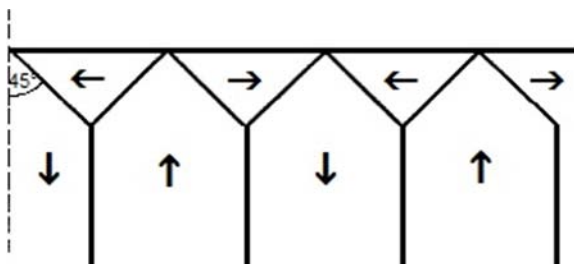
3. ábra: Vékony rétegbeli doménrendszer felülnézetben [5]
(A fekete és fehér sávok a változó irányítottaságú szomszédos domének, melyek magnetooptikai effektusnak köszönhetően különböztethetők meg.)

A hivatkozott számítás szerint – feltéve, hogy sok domén található az anyagban – a szórt mágneses tér egységnyi felületre jutó energiája:

$$E_{\text{szórt}} \approx M^2 a_d, \quad (1)$$

ahol M az egyes domének mágnesezettsége, a_d pedig a vastagsága.

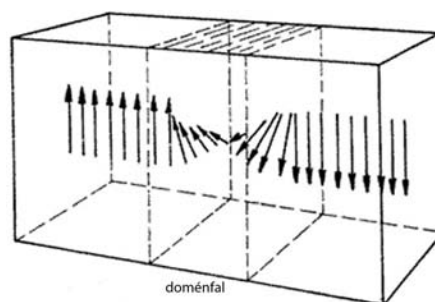
A szórt tér csökkentése szempontjából az optimális az, ha ún. záródomének alakulnak ki a felületnél, melyek révén négy domén egy zárt mágneskört alkothat (4. ábra). Ebből legfeljebb a felület menti éleknél lép ki csekély fluxus.



4. ábra: Felülettel párhuzamos mágnesezettségű záródomének

2.3 Doménfalak

A szomszédos doméneket nagyságrendben 10-100 rácscsillag vastagságú doménfalak (Bloch-falak) választják el egymástól. A falak átmenetet képeznek az eltérő mágnesezettségű tartományok között úgy, hogy bennük fokozatosan változik az elemi momentumok iránya (5. ábra). Tehát a doménfalakban nincs rendezettség, és e miatt többletenergiát hordoznak a doménekhez képest. (Az összehasonlításnak persze csak egységnyi anyagtérfogatra vagy anyagmennyiségre van értelme.) Az egész rendszert tekintve, ha nő a doménszám, akkor egyfelől csökken a szórt tér energiája, másfelől nő a doménfal-energia.



5. ábra: Az elemi momentumok irányának fokozatos változása a doménfalban

2.4 Mágneses anizotrópia

A doménfalak energiáját nemcsak az elemi momentumok rendezetlensége, de a mágneses anizotrópia is növeli. Egykristályokál megfigyelhető, hogy a legnagyobb mágnesezettség akkor érhető el adott nagyságú külső térerősséggel, ha annak iránya párhuzamos az egyik kristálytani tengellyel. Ezt nevezzük könnyű mágnesezési iránynak, ami a térközepes köbös szerkezetű α -vasnál az [100] tengely, azaz a kockarács éleinek iránya, míg a lapközepes köbös ráccsal rendelkező nikkelnél az [111] tengely, a kockák térátlóinak iránya. A könnyű mágnesezési irányok az elemi momentumok spontán rendeződése számára is nyilván kedvezőek, így az egyes domének mágnesezettsége rendszerint ezekbe az irányokba mutat. A 180° -kal különböző irányok természetesen egyenértékűek: azonos energiájú állapotot eredményeznek. α -vasra hasonló megállapítást tehetünk a 90° -os eltérésre is, mert a [010] és [001] is nyilván könnyű irány. Ebből következően a 4. ábrán vázolt záródoménekhez nem társul anizotrópiából eredő energia. (A nikkelnél bonyolultabb a helyzet, ugyanis a térátlók közötti szög kb. 70° .) Mivel a doménfalban az elemi momentumok nem tudnak a könnyű mágnesezési irányba beállni, ezért

a falenergia egy anizotrópia-járulékot is tartalmaz:

$$E_{\text{fal}} = E_{\text{rend}} + E_{\text{an}}, \quad (2)$$

ahol a jobb oldali első tag az elemi momentumok egymáshoz viszonyított, a második pedig a könnyű irányhoz viszonyított kedvezőtlen szögállásából – a rendezetlenségből és az anizotrópiából – ered. (A fenti egyenlet egységnyi faltérfogatra értendő!) Köbös kristályban az anizotrópia-energia sűrűsége első közelítésben az alábbi alakban írható fel [6]:

$$E_{\text{an}} = \frac{\beta}{2} (M_x^4 + M_y^4 + M_z^4), \quad (3)$$

ahol β az anyagra jellemző anizotrópia állandó, a zárójelben pedig a lokális mágnesezettség komponensei vannak. Két, ellentétesen mágnesezett domén közti doménfalnál egyszerűsödik a képlet. Legyen z a domének mágnesezettségének iránya és x a falra merőleges irány, θ az elemi momentumok M_e vektorának iránya a z -tengelyhez képest. Ekkor:

$$E_{\text{an}} = \frac{\beta}{2} M_e^4 (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta), \quad (4)$$

amelyben a θ függ az x -től ($M_x=0$, vö. 5. ábra). Ezt integrálva a falvastagság mentén, 0-tól d -ig, megkapjuk az egységnyi doménfal-felületre eső anizotrópia-energiát:

$$E_{\text{an}}^{\text{ef}} = \beta d \frac{3}{8\pi} M_e. \quad (5)$$

Tehát az anizotrópia miatt előnyös, ha kicsi a doménfal vastagsága – főleg nagy anizotrópia-állandó esetén –, ugyanakkor a rendező kölcsönhatás miatt nem. Ugyanis, az E_{rend} járulék annál nagyobb, minél gyorsabban változik az elemi momentumok iránya a falban [4], másként fogalmazva: minél nagyobb az $M_e(x)$ y - és z -komponensének gradiense. (Az előbb tárgyalt konfigurációban az $M_e(x)$ -nek nincs x -komponense.) Közelebről:

$$E_{\text{rend}} = \frac{\alpha}{2} M_e^2 \left\{ \left[\frac{d \sin \theta(x)}{dx} \right]^2 + \left[\frac{d \cos \theta(x)}{dx} \right]^2 \right\}, \quad (6)$$

ahol α a rendező kölcsönhatással kapcsolatos állandó, ami ugyancsak anyagfüggő paraméter. Feltételezve, hogy az elemi momentumok szöge egyenletesen változik a falban 0° és 180° között, és így a $\theta(x)$ deriváltját π/d -nek véve, majd átalakítások után elvégezve az integrálást a falvastagság mentén, az egységnyi doménfal-felület rendezetlenségi energiájára az

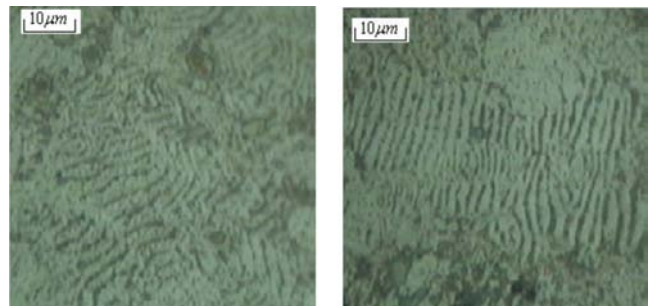
$$E_{\text{rend}}^{\text{ef}} = \alpha \frac{1}{d} \frac{\pi^2}{2} M_e^2 \quad (7)$$

egyenlőség adódik. (Megjegyzendő, hogy vékony fal esetén, amikor is kisszámú momentum rész-energiájával kell számolni, nem szabad integrálni a falvastagság mentén, hanem diszkrét értékeket kell összegezni. De ez a lényeges trendeket nem módosítja.) Tehát a doménfalak vastagságát alapvetően az előzőekben kifejtett, vastagsággal arányos, illetve azzal fordítottan arányos energia összegének minimuma szabja meg. Köbös kristályokban az anizotrópia-energia viszonylag kicsi, ezért bennük a rendező kölcsönhatás a domináns a doménfal-energiában. Mindent összevetve, egy kristályszemcse egészében a spontán módon kialakuló domén-szerkezetet több, mágneses eredetű – szórt tér, rendezetlenség, anizotrópia – energia összegének a minimuma határozza meg. Mindezt bonyolítja az, hogy a szemcsén belüli energiákat lokálisan (néhány atomtávolságra kiterjedően) befolyásolják a jelenlévő diszlokációk, vakanciák, idegen atomok és ezek aggregátumai, valamint az, hogy a szemcsék mérete és alakja sem elhanyagolható tényező.

2.5 Szemcsehatárok

A szemcsehatároknál megszakad a rendeződés, mert egyrészt a legközelebbi atomok távolsága általában már túl nagy, ahhoz, hogy a kicserélődési kölcsönhatás érvényesülhessen, másrészt a szemcsék közötti orientációbeli eltérés is gátolja az egységesebb doménszerkezet létrejöttét (vö. anizotrópia). Ráadásul a szemcsehatárokon gyakran dúsulnak fel szennyező atomok vagy válnak ki második fázisok. Következésképpen a test felszínén, az oda kifutó szemcsehatárok mentén is kialakul szórt fluxus a spontán mágneseződés nyomán.

A spontán mágneseződés következtében létrejövő, természetszerűleg gyenge szórt fluxus kimutatható speciálisan elkészített, igen finom vasoxid porral, kellően előkészített felületen, mikroszkóp alatt (Bitter-módszer, 6. ábra).



6. ábra: Kilagyított, kis kristályokból álló, szénacél (C20-as balra és C45-ös jobbra) minta felület menti doménszerkezete. A sötét vonalak a doménfalak mentén lerakódott vasoxid szemcsék. Nagyítás 600-szoros [7].

A 6. ábrából az látszik, hogy a különböző szemcsék doménjei (doménfalai) véletlenszerűen helyezkednek el egymáshoz képest, ugyanakkor kisebb régiókon belül egységes a szerkezet, párhuzamosak a lamellaszerű domének elválasztó falak [7].

3. Magneto-mechanikai jelenségek

3.1 Magnetostrikció

Az eddigi megfontolások közben feltételeztük, hogy a ferromágneses testben nincsenek külső eredetű mechanikai feszültségek. Belső feszültséggel azonban óhatatlanul számolni kell, még a gondosan kilágyított anyagok esetében is, a magnetostrikció miatt. Ez elsősorban makroszkópikus jelenségként ismert: felmágnesezés közben rugalmasan nyúlik vagy rövidül a ferromágneses test a mágnesezés irányában, miközben arra merőlegesen ellentétesen deformálódik. A telítésig bekövetkező relatív hosszváltozás rendszerint 10^{-6} - 10^{-5} nagyságrendű. Mértéke – ami akár nulla is lehet – és előjele függ az anyagminőségtől és a mágnesező tér erősségétől (7. ábra).

A makroszkópikus deformáció a felmágnesezés során végbemenő doménfal-mozgásoknak és a doménekben – nagyobb térerősségeknél – bekövetkező mágnesezettség átfordulásoknak tulajdonítható. Mindezek hátterében a kristályrács mágneses eredetű deformációja áll, ami az elemi momentumokat rendező, valamint az azok közötti

dipól-dipól jellegű kölcsönhatásokra vezethető vissza. (Általában az elemi momentumok és a kristályrács elektromos terének kölcsönhatásával is számolni kell. Ez és a dipól-dipól kölcsönhatás a mikroszkópikus oka a mágneses anizotrópiának is.) Ez érthető, ha figyelembe vesszük, hogy az elemi momentumok a rácspontokban ülő atomokhoz tartoznak, mintegy azokhoz rögzítettek, tehát a köztük fellépő erők módosíthatják az atomtávolságokat, azaz rácsdeformációt idézhetnek elő.

A mágneses anizotrópia és a magnetostrikció közös gyökereire utal az is, hogy maga a magnetostrikció is anizotróp: például a vaskristály telítésig elért relatív hosszváltozása [100] irányú mágnesezésnél $\lambda_{100}=19,5 \cdot 10^{-6}$, míg [111] irányúnál $\lambda_{111}=-18,8 \cdot 10^{-6}$ (előjelváltás!) [8].

Az elmondottakból az következik, hogy már a spontán mágnesezettség kialakulásakor is fellép a doménekben magnetostrikció, és ez bizonyos mértékű belső feszültséget okoz. Ezt alapállapotnak tekinthetjük, ehhez tudunk viszonyítani minden további változást.

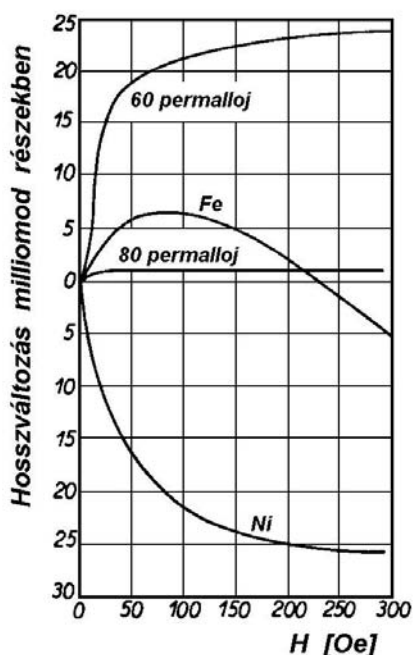
Túl a magnetostrikción, gyakorlatilag mindig jelen van belső feszültség az anyagokban a kristályhibák miatt. Az idegen atomok, kiválások, diszlokációk, stb. környékén torzul a rácsszerkezet. Bár ez a torzulás csak néhány vagy néhányszor tíz rácscellányi terjedelemben számottevő, de azon belül erősen befolyásolja az elemi momentumok rendeződését, illetve a doménfalak felépülését és mozgását.

3.2 Villari-effektus

Ha külső feszültségnek tesszük ki egy ferromágneses testet, akkor azt tapasztaljuk, hogy a mágnesezettsége állandó külső térerősség mellett is megváltozik. E jelenséget gyakran Villari-effektusként emlegetik, mert – éppen 155 éve – E. Villari olasz fizikus fedezte fel. A Villari-effektus a magnetostrikció inverze: az előbbinél deformáció következtében változik a mágnesezettség, az utóbbinál a mágnesezettség miatt deformálódik a test. A kettő kapcsolatát a Le Chatelier-elvből származtatott, alábbi egyenlet is leírja, ami azonban csak kismértékű, reverzibilis változások esetén érvényes [9]:

$$\left(\frac{d\lambda}{dH}\right)_\sigma = \mu_0 \left(\frac{dM}{d\sigma}\right)_H. \quad (8)$$

(μ_0 a vákuum-permeabilitás, σ a mechanikai feszültség.) Ez egyben azt is jelenti, hogy csak annál az anyagnál figyelhető meg Villari-effektus, amelynek van magnetostrikciója, és olyan mágnesező térnél,

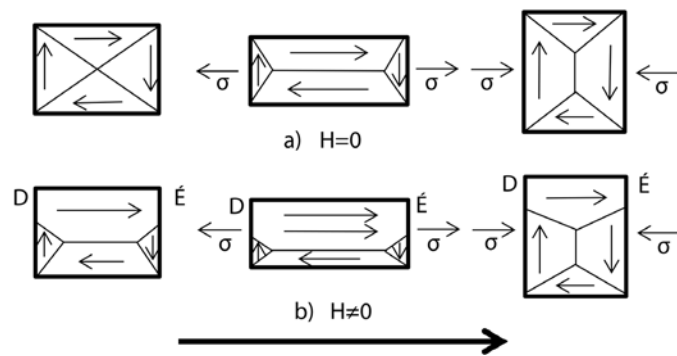


7. ábra: Néhány (polikristályos) anyag magnetostrikciója [3]

ahol a $\lambda(H)$ görbének nincs szélsőértéke (azaz a jobb oldali derivált nem nulla).

(Megjegyzés: Bár a magnetostrikció maga is világosan mutatja, hogy szoros kapcsolat van a ferromágneses anyagok mechanikai és mágneses viselkedése között, a szakirodalomban sok helyen csak a Villari-féle jelenséget nevezik magneto-elasztikus vagy magneto-mechanikai effektusnak.)

A mágneses tér és a mechanikai feszültség együttes hatását a 8. ábra szemlélteti sematikusán, pozitív magnetostrikciójú anyag esetén [10]. A húzófeszültség irányában mágnesezett domének térfogata megnő, a nyomófeszültség irányában mágnesezeteké viszont csökken. A hozzájuk képest merőleges orientációjú domének térfogata ugyanakkor ellentétesen változik.



8. ábra: Húzó- és nyomófeszültség hatása pozitív magnetostrikciójú anyag doménszerkezetére

Ha csak spontán mágnesezettség van az anyagban ($H=0$), akkor a domének átrendeződése ellenére sem válik makroszkópiusan mágnesezetté az egész test pusztán a külső feszültség hatására. (Megjegyzés: Ilyen értelemben nincs piezomágnesség.) Amint az az a) ábrából látható, a domének páronként továbbra is semlegesítik egymást. Az akár csak a földi tér által mágnesezett test ($H \neq 0$) mágnesezettsége viszont megváltozik húzó- vagy

nyomófeszültség alkalmazásakor. (Ez egyébként negatív magnetostrikciójú anyagra is érvényes.)

Hangsúlyozni kell, hogy a doménszerkezet 8. ábrán mutatott megváltozásában nemcsak a doménfalak elmozdulása, de az elemi momentumok egy részének elfordulása is szerepet játszik – az anizotrópia miatt. Azt is meg kell jegyezni, hogy a doménszerkezet módosulása még $H=0$ esetén is megváltoztathatja a test felületén, a doménhatároknál érzékelhető szórt mágneses fluxust. Különösen igaz ez akkor, ha az alkalmazott feszültség kicsi, és az anyagba „betáplált” rugalmas energia nem elég ahhoz, hogy a doménfalak túljussanak az őket lehorgonyzó rács-hibákon, illetve ahhoz, hogy sok elemi momentum irányt váltson.

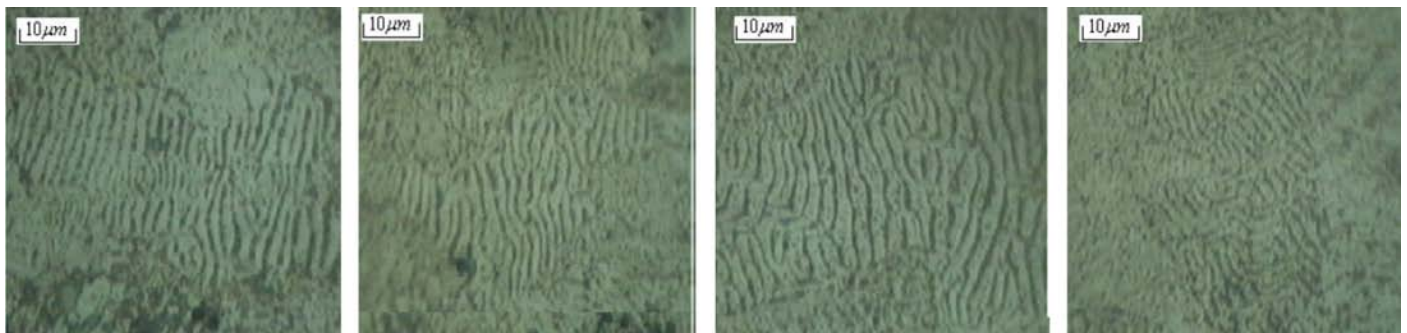
A doménszerkezet módosulásait mutatják a 9. ábra Bitter-módszerrel készített felvételei [7]. Egytengelyű nyomófeszültséggel egyre nagyobb maradó belső feszültséget hoztak létre egy C45-ös, kilágyított acélmintában. (A vasoxid por felhordása előtt a terhelést mindig levették.)

A kísérlet során a minta mindvégig a földi mágneses térben volt.

A képeken látható a nyomófeszültségre merőleges doménfalak távolságának növekedése, azaz a megfelelő domének vastagodása, 90°-os doménfalak megjelenése és az egyre inkább labirintusszerű szerkezet kialakulása.

3.3 Elméleti modellek

A mechanikai feszültség és a mágnesezettség kapcsolatára először Jiles és Atherton adott olyan magyarázatot és matematikai formulát, amiből a kísérleti eredmények nagy hányadával egybeeső $M(\sigma)$ görbék számíthatók ki [11]. Gondolatmenetük kiindulópontja az, hogy külső feszültség hatására a doménfalak túl tudnak jutni az őket lehorgonyzó kristályhibákra, és ezáltal a mágnesezettség



9. ábra: A doménszerkezet változása növekvő, maradó belső feszültség hatására. A felvételek a téglatest alakú minta egyik, a nyomóerő irányával párhuzamos oldallapján készültek. A terhelés, balról jobbra haladva, 0, 10, 50 és 60 kN volt. (10 kN ≈ 100 MPa az adott próbatesten; nagyítás = 600.)

közeledni fog az adott (állandó) térerősséghez tartozó M_{an} hiszterézis-mentes értékhez. (Az „an” index az angol ‘anhysteretic’ kifejezésre utal, nem keverendő össze a máshol az anizotrópiát jelölő, azonos indexszel.) A hiszterézis-mentes mágnesezettség – feszültség nélküli állapotban – akkor alakulna ki egy ferromágneses testben, ha benne a külső tér hatására csak energia-disszipációval nem járó, reverzibilis folyamatok játszódnának le. A modell alapegyenlete – a „közelítés törvénye” – a következő:

$$\frac{dM}{d\sigma} = \frac{\sigma}{E\xi} (M_{an} - M) + c \frac{dM_{an}}{d\sigma}, \quad (9)$$

ahol E a Young-modulusz, ξ és c pedig modell-paraméterek. (A részleteket ld. [11]-ben.)

Lényeges, hogy maga az M_{an} is feszültségfüggő. Mivel a feszültség hatása – a rugalmas tartományon belül – úgy interpretálható, mintha egy megváltozott

$$H_{eff} = H + \alpha M + H_\sigma \quad (10)$$

effektív mágneses tér hatna az anyagra, az ismert $M_{an}(H)$ összefüggésben H -t ezzel az effektív térrel kell helyettesíteni:

$$M_{an}(H, \sigma) \equiv M_{an}(H_{eff}). \quad (11)$$

Izotróp (gyakorlatilag a sokkristályos) anyagokra az

$$M_{an}(H_{eff}) = M_s \left[\coth\left(\frac{H_{eff}}{a}\right) - \frac{a}{H_{eff}} \right] \quad (12)$$

egyenlet használható, amelyben M_s a telítési mágnesezettség, a pedig termodinamikai eredetű (a Boltzmann-állandót, a kelvinben mért hőmérsékletet és egyfajta átlagos domén-mágnesezettséget magába foglaló) mennyiség: $a = k_B T / \mu_0 m$ [12].

Az effektív tér feszültségfüggő része a magnetostrikción keresztül hordozza a magneto-elasztikus csatolást:

$$H_\sigma = \frac{3\sigma_0}{2\mu_0} \left(\frac{d\lambda}{dM} \right)_\sigma (\cos^2 \theta - \nu \sin^2 \theta), \quad (13)$$

ahol σ_0 és θ az alkalmazott egytengelyű feszültség nagysága és a külső mágnesező tér (H) tengelyéhez viszonyított szöge, ν pedig a Poisson-szám. (Az effektív tér második tagja az elemi momentumokat rendező kölcsönhatásból, illetve a domének egymásra hatásából származik.)

A magnetostrikció és a mágnesezettség, illetve a feszültség kapcsolatát az adott szemcse- és domén-szerkezet szabja meg, ami általában nem ismert. Ezért az alábbi empirikus képletet szokták használni:

$$\lambda(M, \sigma) = \sum_{i=1}^n \gamma_i(\sigma) M^{2i}, \quad (14)$$

és első közelítésként megállnak $n=2$ -nél. A γ_i együtt-hatókat is Taylor-sorként írják fel:

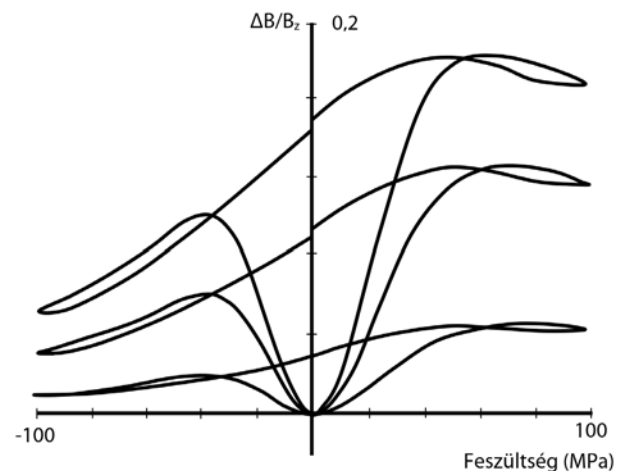
$$\gamma_i(\sigma) = \gamma_i(0) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sigma^k}{k!} \gamma_i^{(k)}(0), \quad (15)$$

ahol (k) a k -adik deriváltat jelzi, amit a $\sigma=0$ érték-nél kell venni. A γ_i együtt-hatók és ezek feszültség-függései, bizonyos korlátok között, mérésekből meghatározhatók.

Összegezve, Jiles és Atherton magneto-mechanikai modellje a következő feltevésekkel érvényes:

- a feszültség egytengelyű,
- a deformáció rugalmas,
- az anyag egésze izotróp.

A modellt több, korábban elvégzett mérésre alkalmazták és jó kvantitatív, sőt kvalitatív egyezést találtak a mért és számított görbék között. Ilyen számított mágnesezettség-feszültség görbék láthatók példaként a 10. ábrán. (A relatív indukcióváltozás egyenlő a relatív mágnesezettség-változással.)



10. ábra: Számított indukcióváltozás-feszültség görbék. A vonatkozó méréseket előzetesen lemágnesezett, lágyacél próbatesteken végezték 26, 80 és 132 A/m külső térerősség mellett. (A számított változás a térerősséggel együtt nő.)

A 10. ábra görbéi jól tükrözik azt az általános kísérleti tapasztalatot, ami szerint a mágnesezettség kisebb húzó- és nyomófeszültségek hatására egyaránt nő, ugyanakkor – acéloknál – bizonyos feszültségnél a $dM/d\sigma$ derivált előjelet vált, különösen növekvő kompresszió mellett.

A modell – ami egyébként könnyen kiterjeszthető összetettebb feszültség-állapotokra is – a mai napig is általánosan elfogadott, számos vizsgálati eredmény elemzéséhez felhasználták már.

Ugyanakkor – elsősorban éppen az MMM vizsgálat szemszögéből – szükség volt egy olyan modellre is, amely a plasztikus deformációk mágnesezettségre gyakorolt hatását is figyelembe veszi. Fontos ez azért is, mert az elasztikus és plasztikus deformációk eltérően befolyásolják a mágnesezettséget: az előbbi elősegíti a doménfalak mozgását, az utóbbi viszont – a megnövekvő diszlokáció koncentráció miatt – gátolja azt.

Wang és társai ezt úgy oldották meg, hogy egy újabb tagot adtak hozzá az effektív térerősséghez, ami a plasztikus hatást képviseli [10]:

$$H_{\sigma}^p = -\frac{b \langle \epsilon_{\pi} \rangle}{2\mu_0 m} \left| \epsilon^p \right|. \quad (16)$$

A felső index utal a plasztikus térerősség-járulékra, illetve a plasztikus deformációra. Az $\langle \epsilon_{\pi} \rangle$ az az átlagos energia, amire a doménfalaknak szükségük van ahhoz, hogy legyőzzenek egy-egy helyi, diszlokációk képezte akadályt. (Feltevés, hogy csak relatíve 180°-os orientációjú domének elválasztó falak vannak jelen.) Itt m az átlagos domén-mágnesezettség, b pedig egy anyagi paraméter. A formulában a plasztikus deformáció abszolút értéke szerepel, mert a diszlokáció-sűrűség növekedése független a feszültség, illetve a deformáció irányától.

Wang modellszámítása szerint a plasztikus hatás csak kis térerősségeknél számottevő: a mágnesezettség $\epsilon^p=10\%$ esetén $H=40$ A/m-nél 50%-kal, míg $H=1$ kA/m-nél mindössze kb. 2%-kal csökken.

Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy minél erősebb a külső tér, annál több domén orientációja egyezik már meg a mágnesező tér irányával, vagy áll már ahhoz közel, és így annál kevésbé számít a diszlokációk számának növekedése. Érdekes kiemelni, hogy ez a jelenség jó alapot ad ahhoz, hogy gyenge mágneses térben (pl. magában a földi térben) végezzünk a munkadarabok feszültségállapotát felderítő mágneses vizsgálatokat.

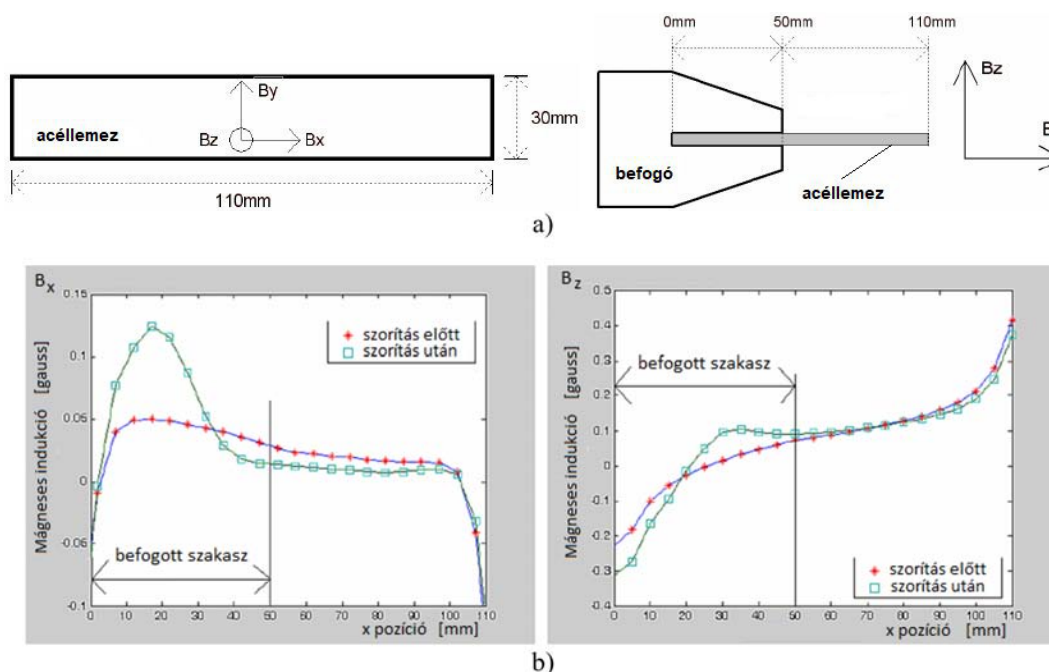
4. Szórt fluxusok – Kísérleti eredmények

A következőkben néhány mérési eredményt tekintünk át.

1. eset

A maradó feszültség hatását vizsgálták a 11. ábra a) részén látható elrendezésben egy húzott és előzetesen lemágnesezett acéldarabon, melyet egy befogóval szorítottak meg [13]. A nyomófeszültség akkora volt, hogy pontszerű, felületi sérüléseket is okozott.

A mágneses indukció két komponensét (11. ábra b) rész) magnetorezisztív érzékelővel mérték a minta felületén. A grafikonok a 10 és 30 mm közötti szakaszon mutatják a legnagyobb indukcióváltozást, összhangban azzal, hogy ebben a tartományban keletkezett a legtöbb felületi sérülés. A kék görbék jellegzetes lefutásúak: a B_x -nek maximuma, a B_z -nek inflexiós pontja van a legnagyobb feszültségnek kitett szakasz közepe táján.



11. ábra: Maradó feszültség létrehozása acél lemezdarabban ($v=2$ mm) (a), és a felület mentén detektált mágneses indukció x - és z -komponense a nyomófeszültség alkalmazása előtt és után (b)

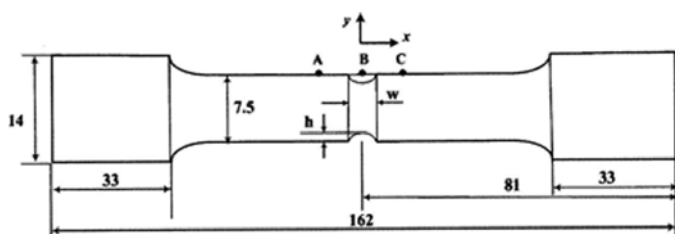
2. eset

Ciklikus hajlítással fárasztották a 12. ábrán bemutatott, kör keresztmetszetű, középen mesterséges horonnyal ellátott, C45-ös lágyacél próbatestet, és néhány ciklusonként MMM magnetométerrel mérték a térerősség x - és y -komponensét [14]. A méréseket a jelzett A, B és C síkban, a felülettől 2 mm-re végezték. Mindhárom síkban 7-7 pontban mérték és a kapott értékeket átlagolták.

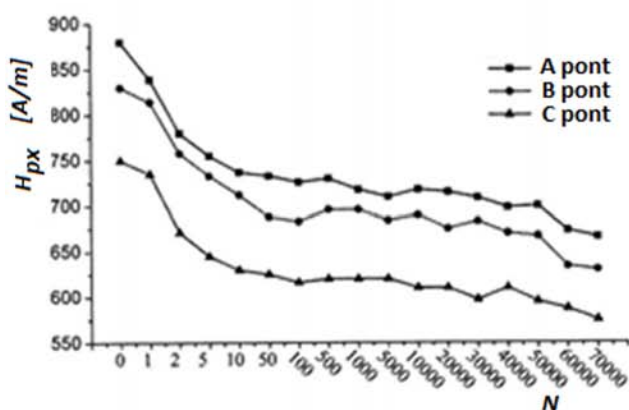
A mérési eredmények azt mutatták, hogy a térerősség mindkét komponense, a kezdeti viszonylag gyors változás után, stabilizálódik és az elasztikus deformációk tartományában gyakorlatilag állandó marad (13. ábra). Újabb, számottevő változás csak a folyás kezdetekor tapasztalható. Más szerzők [15] hasonló kísérlet nyomán úgy találták, hogy a H_{py} kezdeti változása szoros összefüggésben van a diszlokációk mozgásával, illetve az új diszlokációk keletkezésével, stabilizálódása pedig a diszlokáció-sűrűség telítődésének tulajdonítható.

3. eset

Japán kutatók könnyűvízes reaktorok tartályainak anyagát vizsgálták plasztikus deformáció és fáradás szempontjából, szórt mágneses fluxus mérésén keresztül [16]. A megfelelő anyagú szakítópróbatest



12. ábra: Hajlítással fárasztott acél próbatest, az alkalmazott koordináta-rendszerrel és a három (A, B, C) mérési síkkal



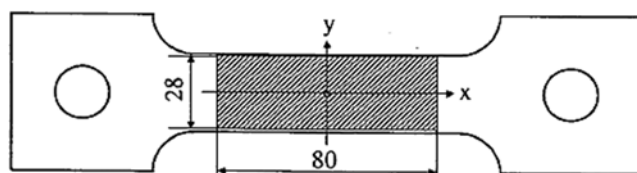
13. ábra: A felületközelbeli mágneses térerősség axiális és normális komponense a fárasztási ciklusszám függvényében

felszínétől 0,2 mm-re, a 14. ábrán sraffozással jelölt tartományon, 0,25 mm-enként mérték a mágneses indukció B_z normális komponensét Hall-szondával. A mért értékekből dB_z/dx deriváltakat számoltak. A mérés előtt a szakítógépről levett próbatestet demagnetizálták, majd 80 kA/m erősségű homogén térrel felmágnesezték. (Megjegyzés: A hivatkozott cikkben olvasható „80 kA/m” irreálisan nagynek tűnik, valószínűleg a 80 A/m a helyes érték.)

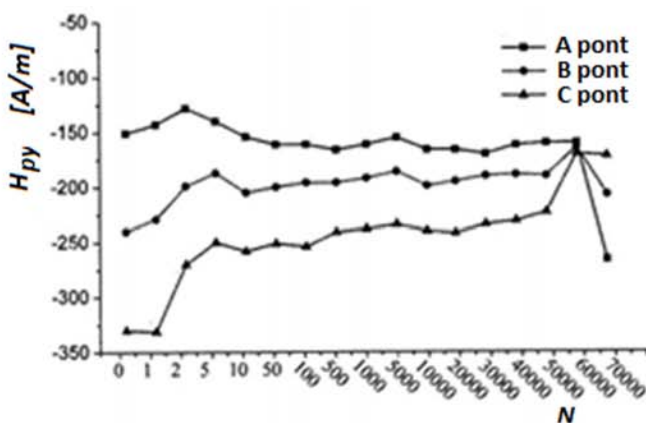
Ezzel párhuzamosan röntgendiffrakciós módszerrel mérték az anyag deformációját, 1 mm-es felbontással, 2 mm-enként az $y=0$ egyenes mentén. A mérésekből σ_x feszültséget és $d\sigma_x/dx$ -et származtattak. A mérések eredményeit a 15. ábra foglalja össze. Kétségtelenül megállapítható, hogy a $|d\sigma_x/dx|$ és $|dB_z/dx|$ derivált abszolút értékek korrelálnak egymással. A képlékeny deformáció megjelenésekor, illetve kis képlékeny deformáció mellett kirajzolódó csúcsok Lüders-sávoknak tulajdoníthatók.

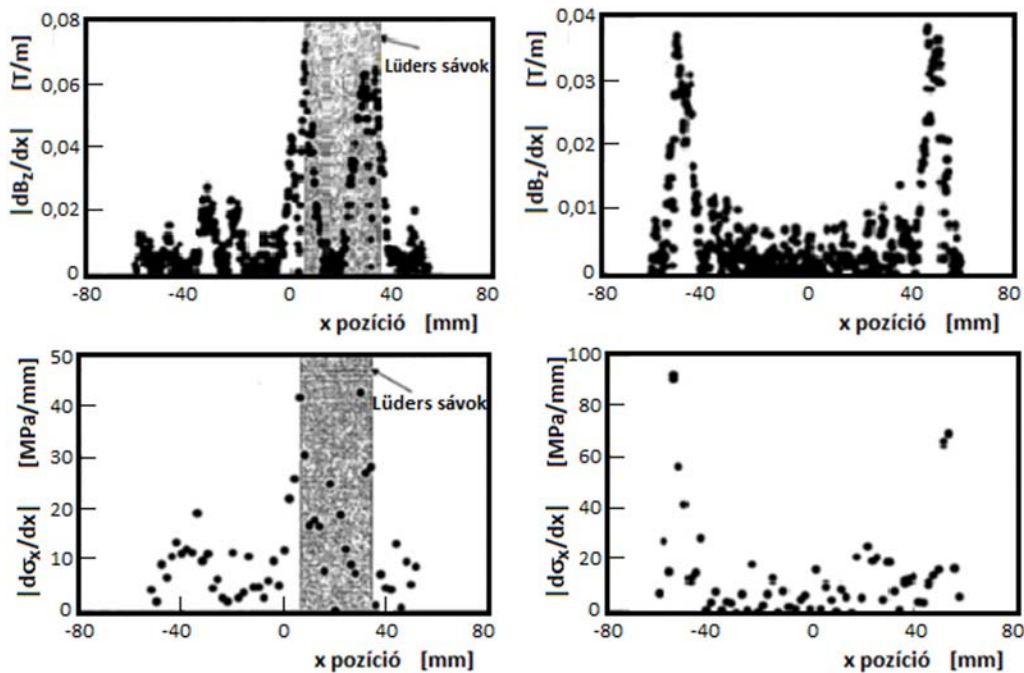
4. eset

Végül érdemes idézni kínai kutatók [17] egy diagramját, mely jól demonstrálja, hogy az MMM-jel érzékeny a próbatest tengelye és a helyi földi mágneses tér iránya közti szögre (16. ábra). Az MMM-jel a szórt tér normális komponensének megváltozása egy egytengelyű húzófeszültségnek kitett próbatest felszínén, adott feszültség hatására. A testet csak a földi tér polarizálta.

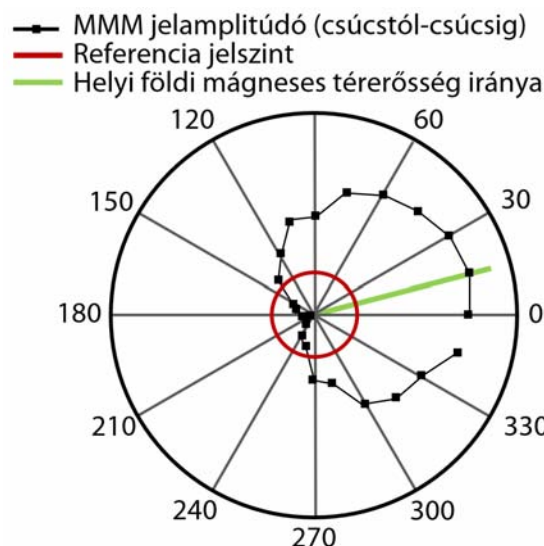


14. ábra: A szórt mágneses tér mérési tartománya a vizsgált próbatesten





15. ábra: A szórt mágneses tér és a mechanikai feszültség hely szerinti deriváltja a próbatest hossz tengelye mentén. A plasztikus deformáció mértéke 0,378% (balra) és 7,35% (jobbra).



16. ábra: Az MMM-jel amplitúdója a próbatest tengelye és a földi mágneses tér közötti szög függvényében

4. Összefoglalás

Elméleti megfontolások és kísérleti tapasztalatok alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

1. A ferromágneses anyagú testek felülete mentén már a spontán módon kialakuló domén-szerkezet eredményeként is létrejön szórt mágneses tér, miközben a test eredő mágnesezettsége nulla.
2. Külső mechanikai feszültség hatására a domén-szerkezet és – ha az anyag mágnesezett – a mágnesezettség módosul. A változás tükröződik a szórt térben is.
3. Rövid vagy a mágnesezés irányában változó keresztmetszetű testek esetében a szórt teret illetően éles különbséget kell tenni a ferromágneses test egésze mint mágnes körüli tér és az inhomogén szerkezet miatti, lokális szórt fluxusok között. A Jiles-Atherton modell az előbbi változásáról ad számot, viszont az MMM vizsgálat szempontjából lényeges információt sok esetben az utóbbi hordozhatja.
4. A lokális szórt fluxus – akár folytonossági hiányokról, akár doménhatárokról vagy diszlokáció-csoportokat tartalmazó tartományról van szó – értelmezhető úgy, hogy ezeken a

helyeken kis mágneses dipólusok vannak valamilyen felület menti és mélységi eloszlásban. (Az ezek által a testben létrehozott teret nevezik lemágnesező térnek.)

5. A lokális szórt fluxusra mindig érvényes az, hogy az indukció felületre merőleges (normális) B_n komponense valahol a kérdéses tartomány fölött előjelet vált, és ugyanott a $dB_n(x)/dx$ derivált maximális értéket vesz fel. (Az x a mágnesezés irányával párhuzamos koordináta-tengely.) Tehát, pusztán e jellemzőkből nem lehet meghatározni a szórt fluxus okát.
6. A maradó belső feszültséggel rendelkező anyagok mágneses szerkezete is eltér a feszültségmentesített anyagokétól, és természetesen ez is megmutatkozik a szórt térben. Azonban mérések alapján csak akkor lehet következtetni belső feszültségre, ha minden más, potenciális tényezőt ki tudunk zárni.
7. Az elasztikus és plasztikus deformációk hatása elvileg szétválasztható. Fáradási folyamatban a kezdeti plasztikus deformáció észrevehető.
8. Fáradás során, a kezdeti gyors változást követően, közepes ciklusszámnál állandósul a szórt fluxus, ezért egyedi MMM mérésekből – a jelen ismeretek szerint – nem lehet vagy legalábbis igen kockázatos élettartamot becsülni.
9. Mivel a mágnesezettség sok esetben éppen kis külső mágneses tereknél reagál érzékenyebben a mechanikai feszültségre, pontosan kell ismerni a vizsgált objektum helyén a földi mágneses tér, illetve az esetleges környező forrásokból származó tér nagyságát és irányát.
10. A mért MMM jelekből bármiféle mennyiségi következtetést, nyilvánvalóan, csak megfelelő kalibráció után vonhatunk le. A kalibrációnak – a különféle anyagok mágneses tulajdonságainak sokszínűsége és a lehetséges zavaró körülmények miatt – a vizsgált objektumra vonatkozóan specifikusnak kell lennie, úgy az anyagminőséget és a geometriát, mint az üzemi terhelést és a helyi mágneses teret illetően.

Irodalomjegyzék

- [1] E. Schneider és A. A. Dubov: Zerstörungsfreie Charakterisierung des Eigenspannungszustandes mit der Metall Memory Method (MMM), DGZfP Jahrestagung 2007
- [2] ISO 24497:2020 sorozat, Non-destructive testing – Metal magnetic memory – 1. rész: Vocabulary and general requirements, 2. rész: Inspection of welded joints
- [3] Istvánffy Edvin: Mágneses anyagok és alkalmazásuk, VII. rész Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest, 1951
- [4] L. D. Landau és E. M. Lifschitz: Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band VIII. Elektrodynamik der Kontinua, §39. Akademie Verlag, Berlin, 1971
- [5] Dr. Gasparics Antal; alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/10_Magneses_kepalkotas/
- [6] L. D. Landau és E. M. Lifschitz: Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band VIII. Elektrodynamik der Kontinua, §37. Akademie Verlag, Berlin, 1971
- [7] Ji-lin Ren et al: Experimental research on the microcosmic mechanism of stress-magnetic effect for magnetic memory testing, 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, 2008
- [8] Arun K. Ghosh: Introduction to Transducers, Chapter 7, PHI Learning Private Ltd, Delhi, 2015
- [9] B. D. Cullity: Introduction to Magnetic Materials, Addison-Wesley, New York, 1972
- [10] Z. D. Wang et al, Journal of Applied Physics 109, 083928 (2011)
- [11] D C Jiles, Journal of Physics D: Applied Physics 28 (1995) 1537
- [12] D C Jiles and D L Atherton, J. of Magnetism and Magnetic Materials 61 (1986) 48
- [13] J Wilson et al, Residual magnetic field sensing for stress measurement and defect detection, ECNDT 2006, We.4.2.1
- [14] Mingxiu Xu et al, Journal of Applied Physics 112, 093902 (2012)
- [15] Jianwei Li et al, Journal of Nondestructive Evaluation 32 (2013) 238
- [16] Masatoshi Kuroda et al, Materials Science Research Int. Vol 7, No 3, 213 (2001)
- [17] LiQiang Zhong et al: Progress in nondestructive evaluation of stress concentration with MMM method, 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, 2008

Ultra nagynyomású rendszerek meghibásodásai: a megelőzés érdekében végzett ellenőrzések és MMM vizsgálat

Joó Gyula

műszaki felügyelet vezető, MOL Petrolkémia Zrt. Műszaki Felügyelet, gyjoo@mol.hu

Összefoglaló

A nagynyomású technológiák berendezései speciális anyagminőségből, egyedi gyártástechnológiával készülnek. Az extrém üzemi igénybevételek az idő előrehaladtával a berendezések károsodásaihoz vezetnek, mely meghibásodásoknak időben való kiszűrése elengedhetetlen. A nagynyomású szerkezeti elemek tönkremenetelének legjellemzőbb formája a repedések kialakulása és terjedése.

A berendezések ellenőrzésére alkalmazott diagnosztikai vizsgálatokkal ezen repedések feltárását célozzuk meg. A vizsgálati módszerek széles skáláját alkalmazzuk, szemrevételezéses, mágnesezhető poros-, folyadékbehatolásos-, örvényáramos-, ultrahangos repedéskereső vizsgálatokat, akusztikus emissziós-, tömörségvizsgálatokat és nyúlásmérést végzünk, valamint rendszer szilárdsági nyomáspróbát hajtunk végre meghatározott időközönként a – várható, vagy már tapasztalt – meghibásodások bekövetkezésének megelőzésére, de kísérleti jelleggel alkalmazzunk MMM vizsgálati módszert is.

Kulcsszavak

nagynyomású rendszerek, nagynyomású reaktorok, üzemi viszonyok, anyagok, diagnosztika, MMM ellenőrzés, meghibásodások

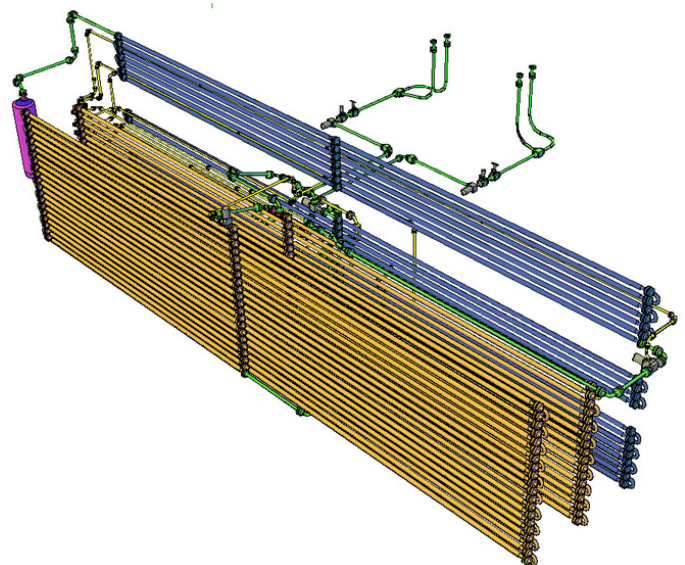
Közlemény célkitűzései:

- Annak ismertetése, hogy milyen üzemeltetési viszonyok lépnek fel egy nagynyomású szerkezeti elemnél.
- Milyen anyagokból kell készíteni és ezeknek mik a sajátosságai?
- Milyen károsodások léphetnek, illetve léptek fel?
- Az MMM eljárás alkalmazható-e az eltérések megállapítására?

1. Bevezetés

A kissűrűségű polietilén gyártása magas nyomáson történik. A MOL Petrolkémia Zrt. már 1970-től üzemeltetett egy három termelő sorból álló kissűrűségű polietilén gyárat, az ICI technológián alapuló

LDPE 1 üzemet. A folyamatos üzemelésű, keverővel ellátott polimerizáló reaktorban 1800-2200 bar üzemi nyomás volt, termék típustól függően. Az LDPE 2 üzem 1991-ben indította be a kissűrűségű polietilén termelését BASF technológián alapulva. Itt nagynyomású csőreaktorban – terméktípustól függően 2400-3200 bar nyomáson – évi 65 kT polietilén terméket gyártunk. A nagynyomású technológia paraméterei extrém igénybevételt jelentenek az üzemben lévő nagynyomású csövekre, készülékekre és egyéb szerkezeti elemekre (lásd 1. ábra). A meghibásodások elkerülése, valamint idő előtti kiszűrése érdekében széleskörű és nagyszámú roncsolásmentes diagnosztikai vizsgálatot alkalmazunk.



1. ábra: Nagynyomású rendszer 3D rajza.

A technológia sajátosságából adódó igénybevételek, amelyek a szerkezeti elemeket érik:

- nagy nyomás;
- nagy anyagvastagság miatt háromtengelyű feszültségállapot;
- dugattyús kompresszor működése miatt nyomás pulzáció, ismétlődő terhelés;
- hirtelen nyomás- és/vagy hőmérsékletnövekedés (dekompozíció), kisciklusú fáradás és hőfáradás;
- rezgés okozta dinamikus fárasztó igénybevétel;

- hőfeszültség, kifűjásnál gyors lehűlés az eltérő hőmérsékleti viszonyok miatt.

A szerkezeti anyagban lévő belső hibák, valamint a kifáradás hatására meginduló meghibásodások repedések formájában jelennek meg az anyagban, ezért diagnosztikai vizsgálataink alapvetően a belső anyaghibák felderítésére, valamint a repedések keresésére irányulnak.

1.1 Anyagminőségek

A vastagfalú edények repedési hajlama nagyobb, mint a héjaké, mert azonos kezdeti repedési hosszok esetén a terjedő repedést okozó kritikus repedési feszültséghez közelebb állnak a terhelésből származó, a nagynyomású edényekben a héjakénál általában nagyobb megengedett, illetve keletkező feszültségek.

Az LDPE 2-ben nagynyomású berendezésekhez használt jellemző szerkezeti anyagok – valamint azok összetétele – az 1. táblázatban, a szilárdsági tulajdonságok a 2. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Technológiában alkalmazott szerkezeti anyagok vegyi összetétele

[%]	Reaktorcső 30CrNiMo8 nemesíthető	180° és 90° ívek BÖHLER E 101 nemesíthető	4AS1 24CrMo10 II hidrogén nyomásálló
C	0,26-0,34	0,17-0,22	0,20-0,28
Si	≤0,40	≤0,30	0,15-0,35
Mn	0,30-0,60	0,40-0,60	0,50-0,80
P	≤0,035	≤0,01	≤0,035
S	≤0,035	≤0,002	≤0,035
Cr	1,80-2,20	0,90-1,20	2,30-2,60
Ni	1,80-2,20	3,40-4,00	≤0,80
Mo	0,30-0,50	0,50-0,70	0,20-0,40
Al	≤0,1	0,01-0,03	≤0,10

2. táblázat: A szerkezeti anyagok szilárdsági tulajdonságai

	Reaktorcső 30CrNiMo8 nemesíthető	180° és 90° ívek BÖHLER E 101 nemesíthető	4AS1 24CrMo10 II hidrogén nyomásálló
Rm [MPa]	950-1150	980-1130	640-780
Rp0,2 [MPa]	850	835	440
A5 [%]	min. 15	min. 14	17
Z [%]	min. 40	min. 45	-

1.2 Inhomogenitás

Az egyrétegű, vastag falú anyagok szövetszerkezete és felépítése több inhomogenitást tartalmaz, mert a gyártási megmunkálások során a gázzárványok és szennyeződések nehezebben oszlanak szét.

A szemcseszerkezetek és a szemcseméretek a

szelvényvastagság függvényében változnak, ezért nemesítés során az átedzhető szelvényátmérő függvényében az anyagminőség tulajdonságai eltérőek lehetnek.

Ennek elkerülése érdekében kovácsolják át teljesen a végleges alakadás előtt a vastag falú szerkezeteket.

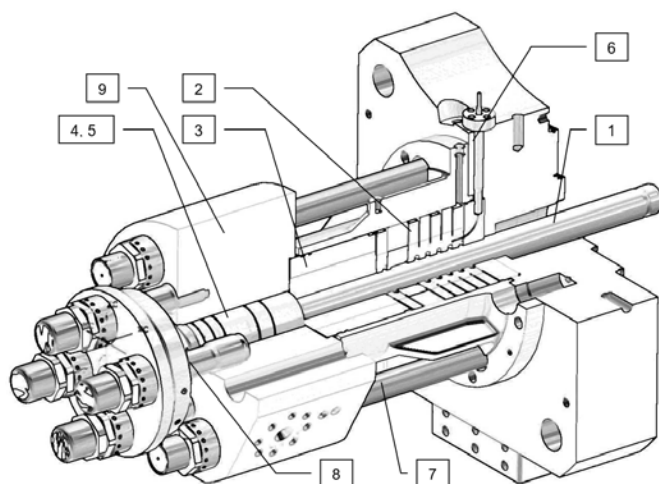
2. Szerkezeti elemek vizsgálata

Az említett igénybevételek hatására a szerkezeti elemek tönkremenetelének legjellemzőbb formája a repedés kialakulása és terjedése. A diagnosztikai vizsgálatok ezen repedések feltárására lettek bevezetve.

2.1 Kompresszor alkatrészek

A hiper kompresszor egy kétfokozatú dugattyús gép, amelynek szívónyomása 1050 bar, kilépő nyomása pedig 2800-3200 bar. A nagy nyomás mellett a működésből származó egyéb igénybevételek is előidézhetik a meghibásodást.

A nagynyomású henger felépítése a 2. ábrán látható [2].



2. ábra: Nagynyomású henger térbeli ábrája

1 Dugattyúrúd

A dugattyúrúd porkohászati úton előállított szuper kemény fém wolfram karbid fémes alapú kötőanyagban. Keménysége 89,1 HRa körüli nagyságú. A repedés – megjelenése esetén – a rideg anyag teljes keresztmetszetében végigfut. A dugattyúrúd szerelését cérnakesztyűben végzik, hogy az emberi bőr savas pH-ja ne okozzon kárt a dugattyúrúd anyagában.

A dugattyúrúdon szemrevételezéses vizsgálatot, mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot, valamint ultrahangos anyagvizsgálatot végzünk összeszerelés előtt.

2 Tömszelence csészék

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A tömszelence csészék két részből túlfedéssel illesztett elemek. A csészék közötti tömitést felvitt ipari ezüstréteg biztosítja. A keresztmetszet változásoknál repedés megjelenésre lehet számítani, ezért a teljes felületet, valamint a furatokat mágnesezhető poros vizsgálattal ellenőrizzük permanens mágnessel UV fényben.

3 Spacer

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A spacer két részből túlfedéssel illesztett, vagy egy anyagból készült, autofrettage-olt szerkezet. A keresztmetszet változásoknál repedés megjelenésére számítunk, ezért teljes átmágnesezéssel illetve permanens mágnessel végzett mágnesezhető repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk UV megvilágításban.

Egy korábbi – egy rétegben készített – spacer 12 óra üzemeltetési idő után teljes keresztmetszetben kettérepedt (lásd 20. ábra).

4 Poppet-szelepek

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A szelepek keresztmetszet változásainál repedés megjelenésére, valamint a záró felületeken leverődésre, anyagleválásra lehet számítani, ezért mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot és szemrevételezéses vizsgálatot végzünk.

5 Szelepház

Anyagminőség: 34NiCrMo16

A szelepház alakos részein, illetve keresztmetszet változásainál repedések jelennek meg, mágnesezhető poros repedésvizsgálatot végzünk UV megvilágítással.

6 Olajbefecskendezők

Anyagminőség: 35NiCrMo15

A menetes részen, a tömítő felületen, illetve a paláston repedések jelennek meg az igénybevétel hatására, hosszú behatolási idejű folyadékbehatolásos repedéskereső vizsgálattal a hibák feltárhatók.

7, 8 Henger összefogató és hengerfej lefogató csavarok

Anyagminőség: 40NiCrMo7

A csavartestben keletkezett repedések kiszűrésére ultrahangos anyagvizsgálatot, a menetes részeken mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot végzünk.

9 Hengerfej

Anyagminőség: 30NiCrMo12

Keresztmetszet változások és furatok környékén mágnesezhető poros vizsgálatot végzünk UV megvilágításban.

2.2 Csövek, ívek

Elsődleges vizsgálatként szemrevételezéses vizsgálatot végzünk a külső felületen, valamint videóendoszkóppal a belső felületen. A menetes részeket mágnesezhető poros vagy folyadékbehatolásos repedéskereső vizsgálattal és ultrahangos anyagvizsgálattal ellenőrizzük.

A kiserelt csöveken nyomáspróbát végzünk 4680 bar nyomáson. A rendszerben lévő csöveket időszakosan 3600 bar-os rendszer nyomáspróbával ellenőrizzük.

Amennyiben egy csőszálat újra-autofrettage-olásnak vetjük alá, akkor a gyártóműben felveszik az eljárás értékeléséhez szükséges nyomásterhelés közbeni nyúlásmérést.

Meghatározott reaktor és hűtőcsöveknél a belső felületen örvényáramos repedéskereső vizsgálatot végzünk (lásd 3. ábra).

A csövek köpenyezett részén lévő hegesztési varratok ellenőrzésére folyadékbehatolásos és mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk.



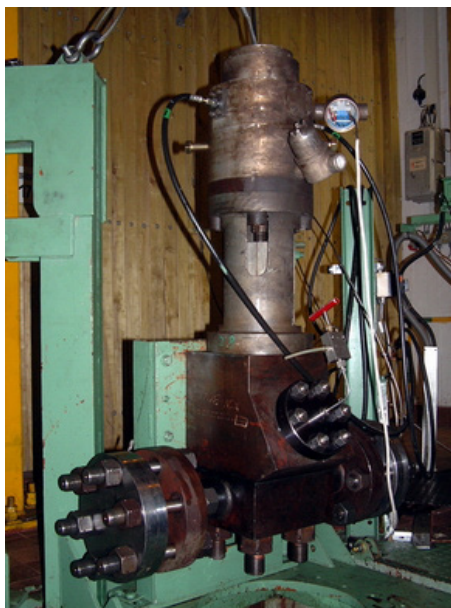
3. ábra: Örvényáramos vizsgáló berendezés

2.3 Szerelvények

A szabályzó- és vészleürítő szelepeken szemrevételezéses vizsgálatot végzünk szétszereléskor. Az alsó tömbrészen örvényáramos anyagvizsgálatot és ultrahangos vizsgálatot, a szeleptesten ultrahangos repedéskereső vizsgálatot végzünk. A menetes részeken, üléken és furatokon folyadékbehatolásos vagy mágnesezhető poros repedéskeresést alkalmazunk.

Összeszerelés után működésvizsgálattal egybekötött tömörségvizsgálatot végzünk víz alá merítéses

módszerrel a szelepvizsgáló állomáson. Ekkor a szelep házának tömörségét 3600 bar nyomáson, a szelep tömörzését pedig 3200 bar nyomáson ellenőrizzük (lásd 4. ábra).



4. ábra: Nagynyomású vészleürítő szerelvény tömörségi vizsgálat előtt a Nagynyomású Szerelvényvizsgáló Állomáson

2.4 Biztonsági szelepek

A biztonsági szelepek szemrevételezéses vizsgálatát és méretellenőrzését a biztonsági szelepek revíziója (szétszerelése) során végezzük. Összeszerelés után nyitónyomást állítunk be fúróolaj-víz emulzió közeggel.

A biztonsági szelepeknél a nyitónyomás 90%-án tömörségi vizsgálatot végzünk (lásd 5. ábra).

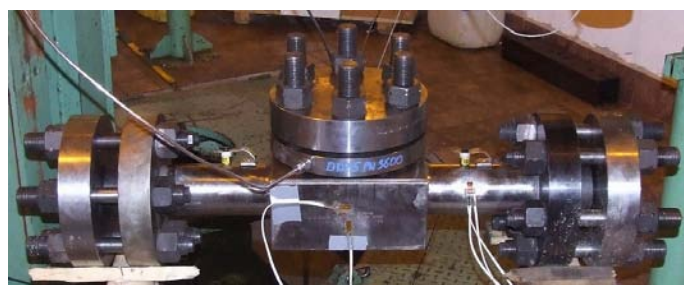


5. ábra: 325 bar nyitónyomású biztonsági szelep tömörség ellenőrzése

2.5 Keverési pont

A keverési pont az egész rendszer legnagyobb hőfeszültségnek kitett szerkezeti eleme. Itt keveredik össze a meleg és a hideg anyagáram. A keverési ponton szemrevételezéses vizsgálatot végzünk, valamint repedéskereső vizsgálatokat, a testen ultrahangos, a belső felületen örvényáramos, a menetes részen folyadékbehatolásos vagy mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot.

A keverési pontot akusztikus emisszióval és mérőbéllyes nyúlásméréssel kiegészített szilárdsági nyomáspróbának vetjük alá 4680 bar nyomáson (lásd 6. ábra).



6. ábra: Keverési pont vizsgálat közben a Nagynyomású Szerelvényvizsgáló Állomáson akusztikus emisszióval és nyúlásméréssel kiegészített szilárdsági nyomáspróba

2.6 Kötőelemek

A csavarokon (lásd 7. ábra) szemrevételezéses vizsgálatot, valamint ultrahangos anyagvizsgálatot végzünk a csavar homlokfelületén besugározva. A menetes részeken mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot alkalmazunk.



7. ábra: Kötőelemek és lencse összeszerelt állapotban

2.7 Tömítő lencsék

A tömítő lencsék felületén kisereléskor szemrevételezéses vizsgálatot, valamint a menetes részeken folyadékbehatolásos vagy mágnesezhető poros repedéskereső vizsgálatot végzünk.

Dekompozíció után a hirtelen nyomás és hőmérsékletnövekedés miatt, a lencsék felkeményedése következhet be, ezért ekkor keménységmérést végzünk.

2.8 Rendszer nyomáspróba

A teljes nagynyomású rendszer nyomáspróbáját első körben 4, majd később a tapasztalatok alapján 8 nyomókörre bontva végeztük el. A próbanyomás 3600 bar volt. A rendszerről nyomáspróba előtt a szerelvényeket, hasadó elemeket ki kell szerelni. A nyomáspróba közege fehérrolaj lesz és a rendszer teljes légtelenítéséről gondoskodni kell. A nagy nyomáspróba érték miatt különleges biztonsági intézkedéseket kell tennünk.

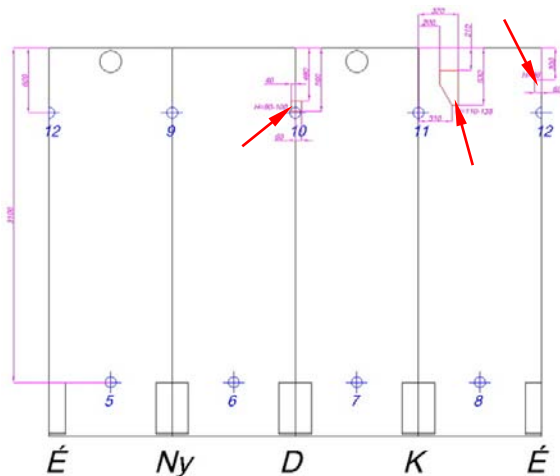
2.9 Nagynyomású szeparátor

A nagynyomású szeparátor különösen érdekes anyagvizsgálati szempontból, ugyanis a készülék köpenyében gyártásból ismert belső hiba – rétegesség van.

A készüléken szemrevételezéses vizsgálatot végzünk a külső felületen, a belső felületen pedig videó-endoszkóppal.

Szilárdsági nyomáspróbát fehérrolaj közeggel 910 bar-on végezzük el akusztikus emisszióval kiegészítve. Az ismert hiba helyét – a hozzáférhető helyeken – ultrahangos anyagvizsgálattal ellenőrizzük (lásd 8. ábra).

Akusztikus emisszióval a belső hiba detektálható.



8. ábra: Nagynyomású szeparátor kiterített palástja az ismert hibák helyével

3. Megtörtént meghibásodások

Az eddigi üzemeltetés során bekövetkezett meghibásodások a nagynyomású rendszer szinte minden elemét érintették, melyek az alábbiak:

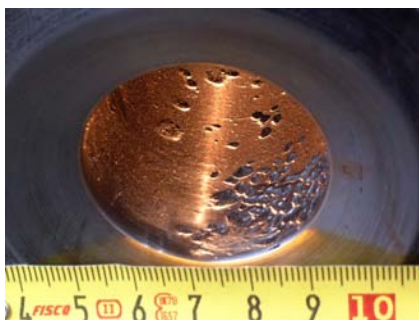
- repedés a kompresszor kilépő csomakhoz kapcsolódó vezetékszakaszon menetes részén (lásd 9. ábra);
- korróziós nyomok a nagynyomású csövek külső felületén (lásd 10. ábra);
- gyors-zár tömszelence darabokra törése;
- nyomás-távadó kiszakadása a lencséből;
- repedés a vészleürítő szelep ülékén;
- korróziós gödrösödés a vészleürítő szeleptesten (lásd 11. és 12. ábrák);
- korróziós fogások a fokozatközi hűtő külső oldalán (lásd 13. ábra);
- fokozatközi puffer-tartály záró fedelének repedése (lásd 14. és 15. ábrák);
- kompresszor alkatrészek meghibásodásai;
- tömszelence csészék repedése (lásd 16. ábra);
- dugattyúrúdtörés (lásd 17. ábra);
- spacer repedések (lásd 18. és 19. ábrák) és törés (lásd 20. ábra);
- poppet-szelep törések (lásd 21. ábra);
- szelepház repedések (lásd 22. ábra);
- olajbefecskendezők repedése (lásd 23. és 24. ábrák);
- hengerfej repedés (lásd 25. ábra).



9. ábra: Repedés a kompresszorhoz csatlakozó passzdarab menetes részén



10. ábra: Dörzsöléses korrózió a nagynyomású ív külső felületén



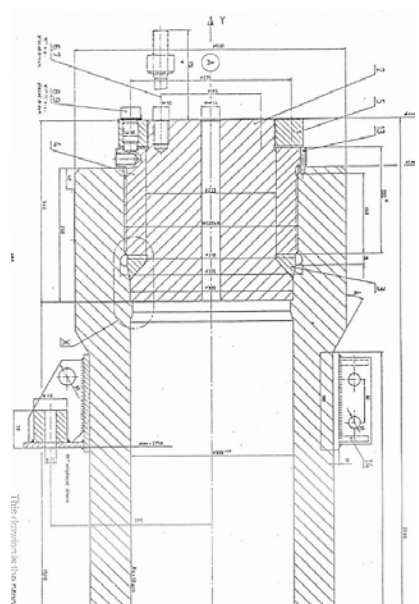
11. ábra: Korróziós gödrösödés a nagynyomású szelep alsó részén



12. ábra: Korróziós anyagfogyás a nagynyomású szelep alsó részén



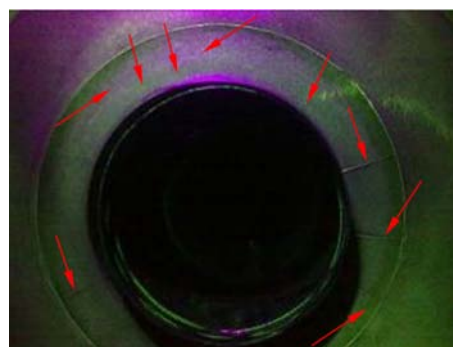
13. ábra: Korróziós fogások a fokozatközi hűtőnél



14. ábra: Kompresszor fokozatközi puffer felső részének rajza



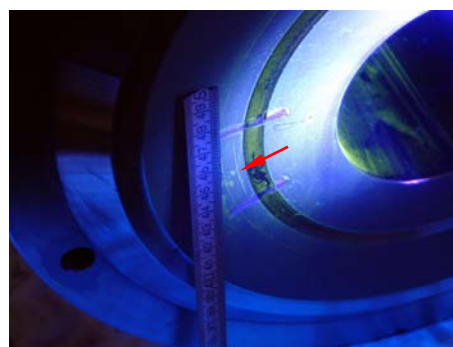
15. ábra: Repedt fedél



16. ábra: Repedt tömszelence csésze UV fényben



17. ábra: Törött dugattyúrúd töretfelülete



18. ábra: Repedés a spacer homloklületén UV fényben



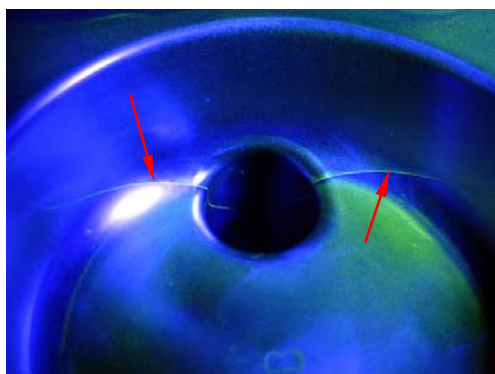
19. ábra: Repedés a spacer külső palástján UV fényben



20. ábra: Kettérepedt spacer



21. ábra: Sérült poppet-szelepek



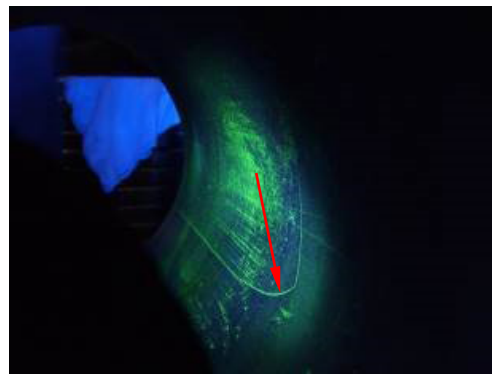
22. ábra: Repedés a szelepház alakos részén



23. ábra: Repedés az olajbefecskendező menetes részén



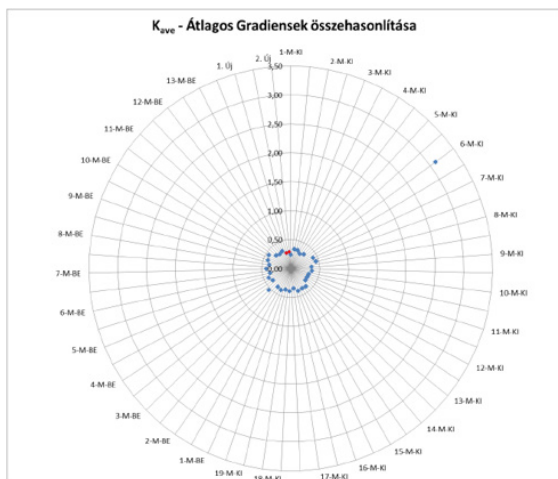
24. ábra: Repedés az olajbefecskendező tömítő felületén



25. ábra: Repedés a hengerfej belső felületén UV fényben

4. Mágneses Memória Módszer

- Az MMM módszer a fém által kibocsájtott saját mágneses térerősséget méri (Self-Magnetic Leakage Field – SMLF);
- a mágneses térerősség eloszlása tükrözi a feszültségzónák és az alakváltozások eloszlását a magnetoelasztikus elv szerint;
- a mágneses térerősség változásából következtetni lehet ezen feszültségeloszlásokra;
- alapfeladat nem anyaghibák keresése, hanem feszültségállapot feltérképezése;
- a mért érték H_p (mágneses térerősség) és abból



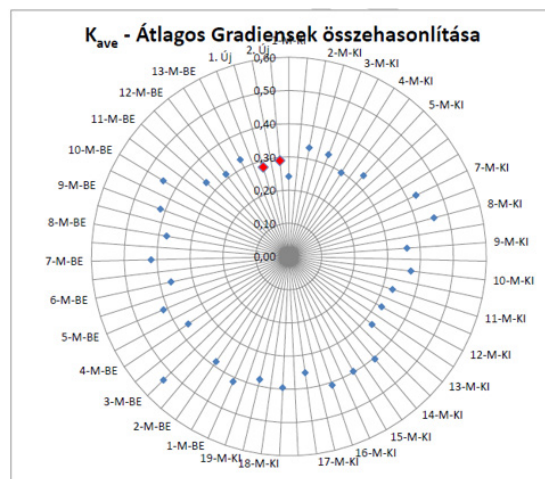
26. ábra: Átlagos gradiensek értékei az összes vizsgált cső esetében

számolt $K = dH_p/dx$ (mágneses térerősség változás) elemzéséből tapasztalati és statisztikai úton lehet határértéket meghatározni;

- K értéke függ az anyagminőségtől, konstrukciótól és gyártási technológiától;
- a vizsgálati eredményt befolyásolhatja még az ún. Villari effektus, amely szerint mechanikus erő alkalmazásából ferromágneses domén struktúra változás következik be, amely hatással van a mágneses tulajdonságokra;
- normális és tangenciális irányú összetevők érzékelésére alkalmas – 8 érzékelővel ellátott – detektor alkalmazása;
- a vizsgálat célja alapvetően annak megállapítása, hogy az autofrettage-olt csövek feszültségállapota és az új reaktorcsövek feszültségállapota hogyan hasonlítható össze MMM módszer alkalmazásával.

4.1. Az elvégzett MMM vizsgálat eredményei

- A világon elsőként végeztünk MMM vizsgálatot nagynyomású autofrettage-olt csöveken, korábbi tapasztalat nem állt rendelkezésre,
- összehasonlító vizsgálatként az ellenőrzött csövek eredményeit lehetett összevetni,
- a „0” állapot felmérés eredményei az eredeti csövekre hiányoztak,
- az új beszerzésű csövek szerkezeti anyagminősége eltér a 25 éve üzemelő csövek anyagminőségétől (30CrNiMo8 – 1.6580 és U-V129SA – 1.6952),
- kiugró értéket egy csőnél – a beérkezés óta raktárban lévő tartalék csőnél – detektáltak (lásd 26. ábra),
- az új beszerzésű csövek és az évek óta üzemelt



27. ábra: Átlagos gradiensek összehasonlítása a raktárban lévő cső kihagyásával

csövek jellemző számértékei sorra megfeleltethetők egymásnak (lásd 27. ábra),

- mindezeket figyelembe véve az eredmények alapján szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a nagynyomású csöveken végzett MMM vizsgálat eredményei között.

5. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését, az elvégzett vizsgálatokat és azok eredményeit tekintve a következő megállapítások tehetők:

- A nagynyomású technológia okozta igénybevételek speciális szerkezeti anyagok alkalmazását és vastag falú szerkezetek gyártását teszik szükségessé.
- A szerkezeti elemek falvastagságának növekedésével a gyártáskor keletkező hibák valószínűsége nagyobb.
- Az üzemeltetés okozta igénybevételek a szerkezetek kifáradásához, repedések megjelenéséhez vezetnek.
- Az általunk alkalmazott széles körű roncsolásmentes diagnosztikai vizsgálatok ezen repedések, valamint a feszültségállapot feltárására irányulnak.

Irodalomjegyzék

- [1] Vegyipari Gépészek Kézikönyve, Főszerkesztő: Fábry György, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987, ISBN: 963 10 6583 5
- [2] Proceedings of PVP 2006: Pressure Vessels and Piping Conference, 23-27 July 2006, Vancouver, BC, Canada PVP2006-ICPVT11-93231, Copyright © 1996 by ASME
- [3] Trans Lex Work Kft. Vizsgálati jelentés a TVK LDPE csővezetékek MMM vizsgálatáról, 2012



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

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

SZAKMAI KÉPZÉSEK Roncsolásmentes vizsgálati módszerek és minősítések

ELŐZETES - 2021

Távoktatás



Digitális
oktatás



Online oktatás



E-learning



Jelenléti oktatás

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek portréja

Tetmajer Lajos (vagy ahogyan a mérnöki tanulmányok során megismertük, Ludwig von Tetmajer) 125 éve, 1895. szeptember 9-11. között Zürichben életre hívta az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét. A MAGYAR ANYAGVIZSGÁLÓK EGYESÜLETE másodikként, 1897. június 16-án alakult meg azzal az alapvető céllal, hogy hazánkat a nemzetközi rendezvényeken ez, és ne az osztrák-magyar egyesület képviselje. A II. Világháború végéig szervezetünk folyamatosan működött, majd az alapítás 100. évfordulóján, a Miskolctapolcán elindult kezdeményezés hosszas vajúrást követően (Anyagvizsgálók Lapja, 2013/3-4) végül 2012-ben beérett. Az eltelt – immáron történelmi – kor nem csupán lehetőséget biztosít a Felelős Szerkesztőnek a visszatekintésre, hanem fel is szólítja arra, hogy megemlékezzünk dicső elődjeinkről. Az alapvető kérdés ebben a helyzetben: hogyan, milyen módon, miképpen? A történelem megismételhetetlen. Ami elmúlt, visszahozni nem lehet, még törekedni sem szabad erre, hiszen a kudarc eleve adott. Mégis kapaszkodóként szolgálhat az a tény, hogy mindig és mindenkor voltak olyan emblemikus személyek, akik többet vállaltak a szakmáért, annak fennmaradásáért, a szakemberek összefogásáért, a tudás népszerűsítéséért.

Ezek voltak az Egyesület elnökei. Álljon itt a névsoruk:

1897-1904	Czigler Győző (műegy. tanár)
1904-1910	Nagy Dezső (műegy. tanár)
1910-1914	Czékus Aurél (min. tanácsos)
1914-1917	Rejtő Sándor (műegy. tanár)
1917-1924	Zielinski Szilárd (műegy. tanár)
1924-1927	Gállik István (alelnök, államtitkár)
1927-1930	Czakó Adolf (műegy. tanár)
1930-1934	Zorkóczy Samu (műsz. vezérig.)
1934-1939	Mihalich Győző (műegy. tanár)
1939-1942	Quirin Leo (műegy. tanár)
1942-1944	Misángyi Vilmos (műegy. tanár)

2012-2014 Gillemot László, Dr.

2014-2019	Czinege Imre (professzor emeritus)
2019 -	Bíró Gyöngyvér, Dr. habil

A 14 nevet felsorakoztató névsorból Dr. Bíró Gyöngyvér és Dr. Czinege Imre tevékenységének rövid ismertetését olvashattuk lapunk korábbi számaiban. Most pedig a 2012-2014 közötti intervallumban „karmester pálcát” forgató elnök életével, szakmai tevékenységével ismerkedhet meg a Tisztelt Olvasó. Sajnos már nem volt lehetőségem életrajzának összeállítására, mert dr. Gillemot László 2018. május 22-én átlépett a végtelenség mezsgyéjére.

Tóth László
ny. egyetemi tanár

Gillemot László

Dr. Gillemot László 1944. január 30-án született Budapesten. Középiskolai tanulmányait a Ciszterci Rend Szent Imre Főgimnázium jogutódában, az Újbudai József Attila Gimnáziumban végezte. Az egyházi indíttatású színvonalas képzés abban az időszakban, amikor a fiatal agy még „szivacs-ként szívja magába az új ismereteket” mindenképpen meghatározta a továbblépését, ami nála a Budapesti Műszaki Egyetemet jelentette. Itt szerzett gépészmérnöki diplomát 1967-ben. Első munkahelye a Fémipari Kutató Intézet (volt FKI), amelynek alapításában édesapja ugyancsak meghatározó szerepet játszott. Ugyanis az 1948-ban létrehozott Vas- és Fémipari Kutató Intézet alapító igazgatója, majd ezek 1952-ben történt szétválása után az FKI első igazgatója volt.



Munkahelyei, további tanulmányai, tudományos pályájának állomásai:

- 1971-ben képlékenyalakító szakmérnök a Budapesti Műszaki Egyetemen.
- 1973-ban e szakterületen (forgatott kőrtartós huzalhúzás témában) Dr. tech. fokozatot szerez.
- 1973-tól a Fémipari Kutató Intézet (FKI) munkatársa különböző beosztásokban.
- 1980-as évek elejétől az iparági tanácsadó központ (ALTAK) megbízott vezetője az FKI és az Aluterv összevonását követően.
- Később az UNIDO által támogatott nemzetközi kutatási projektek vezetésében, szervezésében, végrehajtásában vállalt feladatokat a legkülönbözőbb szinten Indonéziától Bécsig hódoló földrajzi környezetben.
- 1989-1998 KFKI Atomenergia Kutató Intézet, ahol a neutron besugárzott fémek öregedésének problémakörével foglalkozott.
- 1989- ABB Power Generation Ltd. (később ALSTOM) gyártásközi ellenőrzésének vezetője annak megszűnéséig.
- 2012-től a Magyar AnyagvizsgálókEgyesületének

újraszervezésében vállalt jelentős szerepet. Az első alakuló ülés történéseit az eredeti jegyzőkönyv rögzíti. Gillemot Lászlót a MAE elnökké választja. E tisztséget 2014. november 27-ig töltötte be.

- 2015. január 1-től a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség irodavezetőjeként támogatja, szervezi a szakmai közösséget, miközben betölti az Anyagvizsgálók Lapjának felelős szerkesztői feladatait is. A 2017-ben megjelent utolsó számot még közösen jegyeztük, miközben nagy segítséget nyújtott ennek összeállításában.

Aki Gillemot Lászlót egy kicsit is jobban ismerte, egyéniségének jellemzése kapcsán biztosan említené a következő szavak nagy többségét: megbízhatóság, precizitás, segítőkészség, szarkasztikus humor, jellegzetes mosoly, tenisz, kenu, vitorlázás, a víz szeretete. Akik utolsó útjára kísérték 2018. június 18-án, azoknak bizonyára nem csupán az Európa hajó gyászoló közösségének egységes szomorú búcsúja töltötte ki gondolatait, hanem fejükben kavargtak a Lacival eltöltött időszakokban szerzett kellemes tapasztalatok is.

*Tóth László
ny. egyetemi tanár*

¹ MAE jegyzőkönyvek: <http://mae2012.hu/iratok/alakulo-ules-jegyzokonyve/> (2020.11.20.)

² Taggyűlés 2014 jegyzőkönyve: <http://mae2012.hu/wp-content/uploads/2018/03/Taggyűlés-2014-jegyzokonyv.pdf> (2020.11.20.)



**Legyen Ön is a partnerünk!
Vegye igénybe szolgáltatásainkat!**

Fővállalkozás | Géptelepítés | Diagnosztika | Anyagvizsgálat | Karbantartás | Javítás



Szakértelemmel, Felelősséggel a Minőségért és Környezetünkért!

Joó Gyula portréja

Az elmúlt huszonöt év örvényáramú anyagvizsgáló tanfolyamainak hallgatói között két-három kiemelkedő képességűt ismerhettem meg. Az egyikük Joó Gyula volt, aki nem csak tudásával, de egész személyiségével igen jó benyomást tett rám. Remélem, hogy az alábbi beszélgetésből a Tisztelt Olvasó számára is kiderül, hogy nem csal az emlékezetem.



Azt gondolom, az olvasók úgy fele-harmada ismer Téged, de a többség nem. Ezért először is egy rövid bemutatkozást kérek Tőled: hol dolgozol, mivel foglalkozol.

A MOL Petrolkémia Zrt. (MPK, régi nevén Tiszai Vegyi Kombinát – TVK) Műszaki Felügyeletét vezetem. 2013. januárjában vettem át ezt a munkakört az akkor nyugdíjba vonuló Szútor Istvántól, és ezzel a teljes felügyeleti tevékenység ellátása a feladatomban lett. Az azóta eltelt idő alatt:

- megnöveltük a berendezéseken végzett vizsgálatok mennyiségét,
- új megközelítést alkalmazunk a nyomástartó berendezések vizsgálatában, figyelembe véve a jellemző és potenciális meghibásodási lehetőségeket, és koncentrálna a korai szakaszban lévő meghibásodások kiszűrésére,
- új roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket és eljárásokat vezettünk be és honosítottunk meg a vállalatnál, amelyek közül több, már az üzemelési időszakban információt nyújt a berendezés állapotáról, segítve a felkészülést a leállási időszak alatt elvégzendő feladatokra,
- külső és belső oktatásokkal tovább képeztük és jelenleg is képezzük a kollégáinkat, fejlesztjük a kompetenciáikat, roncsolásmentes és roncsolásos anyagvizsgálati eljárásokban éppúgy, mint a nyomástartó berendezések vagy az atmoszférikus tárolótartályok ellenőrzésében,
- korróziós ellenőrző dokumentumok kidolgozásával mélyítjük az ismereteinket az üzemi technológiáink esetében előforduló meghibásodásokról,

- üzemelés közben alkalmazott, célzott, online paraméter-mérésekkel szerzünk információt az egyes berendezések korróziós meghibásodásait befolyásoló, úgynevezett kulcsparaméterekről.

Mindezt azért, hogy a berendezéseink integritását és a rendelkezésre állási mutatóit folyamatosan javítani tudjuk.

2018-ban duális képzést indítottunk a Miskolci Egyetemmel közösen, amelyen az első MSc-s hallgatók már végeztek és a vállalatcsoportunknál helyezkedtek el. Létrehoztuk a MOL Petrolkémia Gépészeti Intézeti Tanszéket, amelynek tanszékvezetője vagyok. Célunk, hogy az egyetemmel közösen olyan, gyakorlati ismereteket is tartalmazó képzést állítsunk össze, amelynek révén könnyebben vonhatjuk be a vállalatunk iránt érdeklődő hallgatókat a mindennapi életünkbe, kihasználva, hogy célirányos tudást szereznek már az egyetemi éveik során. Az elméleti oktatás mellett gyakorlati képzést is kapnak a leendő kollégák, és "forognak" az egyes szervezetek között, ezzel is biztosítva azt, hogy több oldalról találkozzanak ugyanannak a problémának a különböző vetületeivel és a megoldási lehetőségekkel. Engem külön jó érzéssel tölt el, ha azok a fiatalok, akik most végeznek, már találkoznak azoknak az ismereteknek egy jelentős részével, amelyhez nekem 25 év tapasztalata kellett. Most már én igyekszem ezeket az ismereteket továbbadni.

Szót kell ejtsek a Meghibásodási Archívumunkról, amelynek létrejöttét az elődjeinknek köszönhetjük. Az országosan egyedülálló gyűjtemény annak – a korát megelőző – felismerésnek köszönhető, hogy a meghibásodott darabok elemzésével, kiterjedt vizsgálataival, a gyökérokok feltárásával és megfelelő intézkedések meghozatalával megelőzhetőek lesznek az ismételt meghibásodások. Az évek során keletkezett – jellemző meghibásodási mechanizmusokat bemutató – darabok beazonosítva, a bekövetkezés okait kielemezve és kiállítva tekinthetőek meg nálunk. A Meghibásodási Archívumot folyamatosan igyekszünk népszerűsíteni konferenciákon, szakmai találkozókra, egyetemeken, hogy az érdekelt és érdeklődő szakemberek megismerhessék, megnézhessék és „kézbe vehessék” az egyes darabokat, és tanuljanak az esetekből. Az utóbbi időben több egyetem szakirányú hallgatói, hatóságnál dolgozó kollégák, szervezetek és egyesületek jöttek meglátogatni az archívumot, nagy örömünkre.

Gratulálok a sok fejlesztéshez és a kitűnő kezdeményezésekhez. Ezekhez kapcsolódva kérdezem, hogyan látod az anyagvizsgálat és diagnosztika helyzetét a felsőoktatásban? Van-e tennivaló, és ha igen, mi lenne az?

A felsőoktatásban tananyag mind a roncsolásmentes, mind a roncsolásos anyagvizsgálat. Minden mérnök találkozik munkája során az anyagvizsgálatokkal, bármilyen szakterületen helyezkedjen is el. Nagyon fontosnak tartom, hogy a vizsgálatok elvégzésének feltételeivel, a kimutatható hibák jellemzőivel, valamint a kapott eredmény értelmezésével is tisztában legyenek. Ehhez szükség van arra, hogy a vizsgálati módszereket ne csak elméletben tanulják a hallgatók, hanem maguk is végezzenek minél több különböző vizsgálatot, ismerjék meg a vonatkozó előírásokat és azok alapján tegyenek megállapításokat és értékeljenek. Ez hozzásegít ahhoz, hogy reális képük legyen arról, mit várhatnak egy-egy vizsgálatról, illetve melyik vizsgálati eljárás lehet célravezető egy adott feladat megoldásához. Nagyon fontos mérföldkőnek tartom, hogy megjelentek az anyagvizsgáló mérnöki képzések a felsőoktatásban.

Milyen anyagvizsgálati munkákat végeztél, mielőtt a jelenlegi pozícióba kerültél, milyen tanúsítványaid vannak?

Első feladataim közé tartozott az üzemelő polipropilén – majd később polietilén – gyárak műszaki felügyeletének ellátása. A műszaki felügyelet az MPK-n olyan speciális tevékenységek sorozatát jelenti, amely – együttműködve a hatósággal – lehetővé teszi, hogy a cég tulajdonában lévő nyomástartó berendezéseket (készülékeket, csővezetékeket és biztonsági szelepeket) saját hatáskörben ellenőrizzük. A jogszabály szerinti ellenőrzéseket olyan diagnosztikai vizsgálatokkal egészítettük ki, amelyek eredményeképpen sokkal átfogóbb információk álltak rendelkezésünkre az adott berendezésről. Ehhez a tevékenységhez elengedhetetlen, hogy az egyes roncsolásmentes vizsgálati eljárásokat elszámítsuk. Első körben az „egyszerűbbeket” (VT, PT, MT és LT) sajátítottam el és kezdtem el használni. Munkám során mindig arra törekedtem, hogy a nyomástartó berendezések meghibásodásait – még az esemény bekövetkezése előtt – időben detektáljuk, és megfelelő intézkedéseket hozhassunk, hogy a meghibásodás kiteljesedését elkerüljük. A sokrétű és változatos feladatok – amelyekkel a munkám során találkoztam – megtanítottak arra, hogy soha

nem elég az a tudás, amit addig összegyűjtöttem, üzemelő rendszereknél mindig akad olyan kihívás, amely szakmai szempontból fejlődési lehetőséget jelent számomra.

2005-ben új területet kaptam, a diagnosztikát. Az addigi roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokkal való kapcsolatomból ezáltal magasabb szintre kerülhettem. További anyagvizsgálói tanfolyamokat végeztem el (ET, AT), hogy – most már a másik oldalról, a diagnosztika felől – a berendezéseket minden igényt kielégítően tudjuk ellenőrizni. Ötvöztük a különböző roncsolásmentes és roncsolásos anyagvizsgálati módszereket, hogy teljes képet kapjunk az adott készülékről. A két terület nem választható el egymástól!

A diagnosztikai tevékenységünk megbízhatóságának érdekében – és a hatósági megfelelés érdekében – akkreditált vizsgáló laboratóriumi státuszt szereztünk, amelyet 2000 óta tartunk fenn folyamatosan. Ebben a munkában egykor mint anyagvizsgáló és mint akkreditációs felelős vettem részt, most már laboratórium vezetőként látom el a teendőket.

Hogyan kerültél közel ehhez a szakmához, és mit találtál érdekesnek benne?

Emlékszem, egyik első feladatom volt az akkor bontásra ítélt Műtrágyagyár egyik szeparátorának nyomáspróbájához szükséges csonklezárásokat megtervezni, hogy a készüléket – akusztikus emissziós vizsgálattal folyamatosan figyelve – tönkremenetelig szétnyomjuk. A készüléken kitüntetett gyengítések készítettünk elő, ahol a berendezés palástján a falat félig beköszörültük. A vizsgálatot a hatóság és a Miskolci Egyetem szakembereivel együtt végeztük el, és értékes eredményeket kaptunk arra vonatkozóan, hogy milyen jelek detektálhatók egy akusztikus emissziós vizsgálattal kísért készülék-felrepszés során. (Hasonló kísérletekben később is részt vettünk több laboratóriummal együtt.)

Egy ilyen indítás mindig mély nyomot hagy egy kezdő mérnökben, a kíváncsiság, az adatgyűjtés és -feldolgozás, valamint a problémamegoldás a mindennapi munka részévé válik.

Milyen képzések, és ha volt korábbi munkahelyed, milyen munkatapasztalatok birtokában kerültél az egykori TVK-hoz?

1995-ben végeztem a Miskolci Egyetem Vegyipari Gépész szakán, végzés után rögtön az akkori Tiszai Vegyi Kombinátnál (TVK), a mostani Mol Petrolkémia Zrt.-nél helyezkedtem el. A Dr. Szabó Mihály által

vezetett Biztonságtechnika, és a Szútor István által vezetett Műszaki Felügyelet biztosította számomra, hogy az egyetemen tanultak minden részét alkalmazni tudjam a gyakorlatban. Sokat segített ebben a közvetlen csoportvezetőm Szabó Endre, valamint Baróczi János és Pálházi István, akik óriási gyakorlati tapasztalattal rendelkeznek, ezúton is köszönöm nekik.

Munka mellett végeztem el a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Karának Közgazdász szakát.

Egy rövid ideig az akkori petrokémiai beruházási projektnél dolgoztam a vállalatban, ahol az újonnan épülő üzem csővezetékeinek építését ellenőriztük, koordináltuk. A szakmai újdonság itt sem maradt el, hiszen – bár voltak korábban üzemépítéssel és kapacitásnöveléssel kapcsolatos beruházási tapasztalataim – a kivitelezés során jelentkező feladatok és problémák megoldása új területeket – sokszor irányítási feladatokat – nyitottak meg előttem.

A már megemlített roncsolásmentes anyagvizsgáló képzésen túl elvégeztem a nyomástartó berendezés üzemi vizsgálói, az atmoszférikus tárolótartály vizsgálói, és az illékony szénhidrogén detektálással kapcsolatos képzéseket, továbbá a termográfias alaptanfolyamot is.

A szorgalmad és felkészültséged imponáló. Érdekes, hogy több olyan mérnökről olvastam már, akik pénzügyi-gazdasági végzettséget is szereztek. Te miként tudod hasznosítani a közgazdász diplomádat?

Meghatározó mértékben mérnöki feladataim vannak, a gazdasági végzettségemet, mint vezető elsősorban költségtervezési időszakban, valamint a költségek követésében, szükség esetén a beavatkozásban tudom alkalmazni.

Öröm hallani, olvasni, hogy szívesen emlékszel vissza a pályád kezdeti szakaszára, a vezetőid és kollégáid által nyújtott támogatásra. Most már negyedszázad áll mögötted, ugyanazon a munkahelyen, amiért régen törzsgárda jutalmakat adtak. Mi kell ahhoz szerinted, hogy egy sikeres beilleszkedést ne kövessen gyors távozás? Mit tudsz tenni, immár vezetőként, azért, hogy a Műszaki Felügyeleten ne legyen számottevő a munkatársak fluktuációja (ami egyébként sokfelé komoly probléma)?

Sok múlik azon, hogyan sikerül megszólítani azokat a kollégákat, akik hozzánk jelentkeznek és

kiválasztásra kerülnek. Abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy az anyagvizsgálatok széles körét a gyakorlatban is alkalmazzuk. Betanulási programmal kezd minden új kolléga, amelynek során megismerkedik a feladatainkkal, a szervezeti felépítésünkkel, a működésünkkel és az alkalmazott vizsgálatokkal, nem csak elméletben, hanem a gyakorlatban is. Szakképzett és tapasztalt kollégák segítségével ismerkednek a laboratóriummal és járnak ki területre, hogy a helyszínen elvégzett vizsgálatokat lássák, megtanulják és begyakorolják. A szakképesítést adó tanfolyamokra ezek után kerül sor. Rendszeresen mentorálunk és visszajelzünk, amelyek nagyon fontosak ahhoz, hogy a betanulás sikeres legyen, és a mostani fiatal generáció igényli is ezeket a visszajelzéseket. A feladatunkból adódóan – a napi munkák mellett – mindig van egy-egy érdekesség, ahol az anyagvizsgálónak alaposan át kell gondolnia, meg kell terveznie, hogy milyen vizsgálatot és hogyan tud elvégezni. Mivel minden üzemelő berendezés más, lehet kihívásokat jelentő feladatokat találni. Persze ezek mellett is előfordul, hogy egy kolléga nem hosszú távra tervez ezen a területen, de a vállalatban belüli elhelyezkedést nem tartom problémának, sőt úgy gondolom, hogy szükség van olyan emberekre, akiknek ilyen irányú tapasztalatai is vannak.

A TVK nyilvánvalóan egy veszélyes üzem (vagy inkább veszélyes üzemek együttese), tele nyomástartó edényekkel és önmagukban is veszélyes közegekkel. Következésképpen mind a berendezések létesítésekor, mind a karbantartásuk során fontos szerepe van a roncsolásmentes anyagvizsgálatoknak. Adódik a kérdés: mennyire becsülik a szakmánkat és a szakembereket nálatok?

A vállalatnál üzemelő berendezések technológiai paraméterei széles határok között mozognak, speciális megoldásokat kívánnak az ultra nagy nyomású berendezések, az alacsony hőmérsékleten üzemelő, cseppfolyósított gázt tároló tartályok és a magas hőmérsékleten üzemelő berendezések vizsgálatai. Ezeknél nem a szokványos megoldásokat kell alkalmazni, hanem mindig valami „plusszal” kell kiegészíteni a megszokott ellenőrzési módszereket. Részt vettem speciális vizsgáló berendezések kifejlesztésében, tesztelésében és a vizsgálatok mindennapi bevezetésében mind repedések keresése, mind szerkezeti anyagok megfelelőségének ellenőrzése kapcsán. Csakhogy néhány módszert említsek: az akusztikus emissziós vizsgálat alkalmazása, vagy a nagynyomású csövek örvényáramos vizsgálati.

Ezekből is látszik, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatnak nagyon fontos szerepe van a megfelelőség értékelésében. Akár egy berendezés időszakos anyagvizsgálatáról, akár egy új gyártású vagy javított készülék vagy csővezeték anyagvizsgálatáról van szó, kiemelt szerepet kap az anyagvizsgálatok megléte, megfelelősége és a vizsgálatok által kapott eredmények értékelése. A hegesztéssel javított berendezéseket addig nem engedjük beüzemelni, ameddig a megvalósulási tervet kézhez nem kapjuk, és nem ellenőrizzük tételesen. Ennek a tervnek tartalmaznia kell a hegesztéssel végzett munka minden fontos bizonylatát és a roncsolásmentes anyagvizsgálati eredményeket is. Persze külső anyagvizsgáló cégek is dolgoznak a területen, de a szükséges vizsgálatokra érvényes akkreditációs státusszal nekik is kell rendelkezniük.

Az anyagvizsgálat a mindennapi életünk fontos része, az általuk közölt eredmények meghatározó részei a munkánk egészének. Ennek megfelelően az anyagvizsgálóinkat is megbecsüljük. Az anyagvizsgálók – mint ahogy más területen dolgozó kollégák is – megtervezett karrierúttal rendelkeznek, amely lehetőséget ad a szakmai fejlődésre és az előrelépésre.

Voltak-e emlékezetes munkáid – roncsolásmentes vagy mechanikai vizsgálataid – a korábbi években?

Igen, nagyon sok, csak hogy néhány példát kiragadjak:

- 3600 bar üzemi nyomású berendezések repedéskereső anyagvizsgálatai és nyomáspróbái,
- -48°C-on üzemelő 5000 tonnás atmoszférikus folyékony propilént tároló tartály teljeskörű anyagvizsgálata,
- belső hibával rendelkező nagynyomású szeparátor állapotkövetése,

- használatból kivont és kiszertelt készülékek roncsolódásig terhelt, akusztikus emissziós vizsgálattal követett nyomáspróbái,
- hidrogén-korróziós károsodásnak kitett reaktor állapotfelmérése,
- „idős” üzem általános állapotfelmérése,
- magas hőmérsékleten üzemelő kemencecsövek anyagszerkezeti állapotának nyomon követése.

A nálunk üzemelő berendezések vizsgálatairól, a vizsgálati filozófiánkról és ezek gyakorlati alkalmazásairól több konferencián és ankéton tartottam előadást, igyekeztem bemutatni a tapasztalatainkat.

A szakma középgenerációjához tartozol – ami sajnós (mint sok más területen is) túlzottan kis létszámú –, nem kevés tapasztalattal és széleskörű ismeretekkel. Milyen jövőt látsz a hazai anyagvizsgálat és anyagvizsgálók előtt?

A beindított anyagvizsgáló képzések nagyban segítik a szakember képzést, így a szakképzett utánpótlás biztosított lehet. Beruházási időszakokban persze nagy számban van szükség anyagvizsgálókra, de nem minden időszak bővelkedik beruházásokban, ezért sokan vállalnak külföldön munkát. Ez a ciklikusság korábban is jellemző volt a szakmára. Egy korábbi nagy projektünkénél nem volt könnyű megfelelő számú, képesítéssel rendelkező minősített hegesztőt és anyagvizsgálót bevonni a beruházásba úgy, hogy a projekt befejezése után évekig nem volt várható ismét ilyen volumenű munka az országban.

Azok az anyagvizsgálók, akik időszakos vizsgálatoknál végeznek munkát, azt tapasztalják, hogy a leállások ciklusideje növekszik. Úgy látom, hogy a jövőben az üzemelés közben végzett vizsgálatok felé fog eltolódni a hangsúly, a leállások alatt pedig koncentráltabban kell a „hagyományos” anyagvizsgálatokat elvégezni. A kifejlesztett vizsgálati technológiáknak is ezt kell majd követniük.

Skopál István



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu

Publikálási lehetőség egyetemi hallgatók részére

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség nyomdai formátumra szerkesztett kiadványa, az Anyagvizsgálók Lapja, amely negyedévente jelenik meg online. Célja elsősorban a nagyobb horderejű cikkek, publikációk, összetett műszaki információk megjelentetése, ezenfelül lehetőséget kínál a magyar anyanyelvű, kutatással foglalkozó egyetemi BSc, MSc hallgatók, valamint fiatal kutatók és PhD hallgatók kutatási témájuk, eredményeik és tervezett disszertációjuk irodalmi összefoglalásának szerkesztett, cikkszerű bemutatására.

A hallgatók dolgozatai az erre a célra létrehozott rovatban (Szakmai rovat hallgatóknak) jelenik meg. A lap az alábbi főbb témakörökhöz kapcsolódó cikkeket várja: állapotellenőrzés, élettartam gazdálkodás, minőségbiztosítás (minőség, megbízhatóság), roncsolásmentes anyagvizsgálatok, roncsolásos anyagvizsgálatok, anyag, anyagszerkezet.

A fenti témákban született, a formai és minőségi követelményeknek megfelelő kéziratok az év során folyamatosan beküldhetők. A közlésre szánt kéziratokat .docx formátumban a szerkesztőségnek szükséges megküldeni a csatolt képekkel együtt. Az egyetemi hallgatók esetén kérjük konzulenseik jóváhagyását a közlésre. A cikk bejelentő űrlap, valamint formai követelmények az Anyagvizsgálók Lapjának honlapján található. A beküldést követően a szerzők értesítést kapnak arról, hogy minden szükséges dokumentum elküldésre került-e. Hazánk elismert szakembereinek bírálatát követően a szerkesztők beszerkesztik a lap formátumának megfelelően (kétoszlopos formátum) a cikket és az esetleges javítási javaslatokat megküldik a szerzők felé.

A publikációs költségről a MAROVISZ állít ki számlát.

Részletesebb információk a folyóirat weboldalán olvashatók.

*Tóth László
felelős szerkesztő*

Az Anyagvizsgálók Lapjának weboldala: www.anyagvizsgaloklapja.hu

A Szerkesztőbizottság elektronikus elérhetősége: avilap.szerk@gmail.com

VITAFÓRUM

„Anyag” - „Anyagtudomány” - „Anyagtechnológia” definíciója

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottsága (ATTB) 2020. szeptember 25-én napirendre tűzte az „anyag”, „anyagtudomány” és „anyagtechnológia” fogalmak definíciójának megfogalmazását. Az ülés előkészítéséhez egy vitaindító cikk készült [1]. Az elektronikus formában megtartott ülést megelőzően, de főleg azt követően meglehetősen intenzív diskusszió alakult ki a szakemberek széles körének önkéntes részvételével. Tudom, hogy a lehetetlenre vállalkozom azzal, hogy megkísérlem összefoglalni az elhangzott véleményeket, de személy szerint a vita elindítójaként úgy érzem, hogy egy nem szakmai összegzésként az általános megállapításokat célszerű kijelentő mondatokba foglalni. Röviden írva ezek a következők (is) lehetnek:

- A felvetett témákban valóságos igények fogalmazódtak meg, hiszen jelenleg sem a nemzetközi szakirodalmakban, sem pedig a lexikonok oldalain nem találhatók meg az **általánosan elfogadott** definíciók.
- Az ATTB tagjai – különösen a felsőoktatásban érdekelték köre – **hiányát** és egyben a szükségességét érzik a használt gondolatkörök egyértelmű definiálásának. Következésképpen ilyen vagy olyan módon, leginkább az oktatott tantárgyaik speciális témáihoz és struktúrájához igazodó definíciókat fogalmazott meg.

Ezek azonban számottevően különböznek egymástól és többnyire a művelt tudományterület által meghatározottak.

- A használt különböző definíciók az általános definíciók **„induktív gondolkodásmód elemeinek”** tekinthetők. Hogy ezekből miképpen és hogyan fogalmazhatók majd meg a tudományos igényű, általános, a közlemény címében említett definíciók, amelyekből a részletek is értelmezhetők, valóban a „jövő zenéje”.
- A vita folyamán számos olyan gondolati elemmel lehetett találkozni, amelyekből **induktív gondolkodásmóddal** esetleg **felépíthető** egy általánosan elfogadható definíció-csokor.
- Egy dolog azonban biztos – mint ahogyan ezt Dr. Verő Balázs meg is fogalmazta – az induktív és a deduktív gondolatmenettel alkotott általános definícióknak össze kell érniük.

Az előző gondolatok készítették az Anyagvizsgálók Lapja Szerkesztő Bizottságának tagjait arra, hogy folyamatosan helyt adjanak az olyan rövid közleményeknek, amelyek elősegítik a majdani definíciók megalkotását azzal, hogy rövid lényegre törő álláspontokat ismertetnek. E közleményekben csak a „mi és miért” típusú álláspontok taglalása kerülhet be, a „mi és miért nem” álláspontok bemutatásától eltekintünk. Ez utóbbit majdán végezzék el azok, akik egy hosszabb időszak véleményeit fogják elemezni.

Tóth László
ny. egyetemi tanár

Triplán megbízható társ a webes világban



tripladuplav.hu

VELÜNK HÁROMSZOR JOBBAN JÁR

www.tripladuplav.hu **webstúdió**

„Anyag” - „Anyagtudomány” - „Anyagtechnológia” definíciója

Tóth László

nyugalmazott egyetemi tanár, laszlo.toth@bayzoltan.hu

1. Bevezetés

Korábbi vitaindító gondolataim [1] rövid, célirányos összefoglalásával megkísérlek egy olyan definíció-sorozatot megfogalmazni, amelyet „alkalmazott mechanikusi vénám” táplál. Ezt minden – általam kérdésnek ítélt – esetben a kontinuummechanika kiválóságainak magyar nyelvű könyvének előszavában leírt mondatainak szószerinti idézeteivel igyekszem alátámasztani [2].

A kérdéses definíciók megalkotásánál a következő gondolatmenet (is) követhető:

2. A cél megfogalmazása

KERESSÜK az anyag (élő és élettelen természetben) definícióját abban a **geometriai térben**, amelyben az **idő** függvényében különböző **folyamatok** mennek végbe, ahol a folyamatok hajtóereje az energia (energiakülönbség).

Kiindulási pont alátámasztása [2]:

„A fizika egyik legáltalánosabb modellje a kontinuum (szokásos elnevezések még a magyar nyelvben: test, folytonos közeg), amely az alábbi két alapvető idealizált tulajdonsággal rendelkezik:

- Az anyag - elhanyagolva, de nem elfelejtve a molekuláris és finomabb szerkezetet - a geometriai teret folytonosan tölti ki.
- Az anyag állapotát és állapotváltozásait leíró függvények a helykoordinátáknak (helyvektornak) és az időnek olyan tenzorfüggvényei, amelyek - véges számú belső felülettől eltekintve megfelelő számú deriváltjaikkal együtt folytonosak.”

„A kontinuummechanika a mechanika része, feladata a gázok, folyadékok és a nem merev szilárd testek globális mechanikai mozgásának (mechanikai állapotainak és állapotváltozásainak, pl. alakváltozásának, sebességeloszlásának, hullámok terjedésének) a kontinuummodell segítségével történő vizsgálata. Jelen könyv a kontinuummechanikának ezt az értelmezését egyrészt azzal a kiegészítéssel használja, hogy a termodinamikai vizsgálatokat a nem mechanikai állapotokra és állapotváltozásokra is kiterjeszti, másrészt azzal a szűkítéssel, hogy a vizsgálatokat a háromdimenziós euklideszi geometria segítségével a klasszikus, nem relativisztikus mechanika és termodinamika alapján végzi.”

„Kontinuumelemnek (más elnevezésekkel tömegelemnek, tömegpontnak, anyagi pontnak, elemi tömegnek, részecskének) nevezzük a kontinuum olyan kis részét, amelynek mechanikai állapota egyetlen pontjához kötött véges számú mennyiséggel kellő pontossággal megadható.

A kontinuum és a kontinuumelem értelmezéséből következik, hogy a kontinuum bármely pontjának alkalmasan kicsi környezete kontinuumelemnek tekinthető és az is, hogy a kontinuum bármely időpillanatban végtelen sokféle módon felosztható egymástól megkülönböztethető kontinuumelemekre. A felosztást rendszerint koordinátafelületek segítségével képzeljük el, és a kontinuumelemet is koordinátafelületekkel határoltnak gondoljuk.

Magát a kontinuumot bármely időpillanatban kontinuumelemek összességének tekinthetjük, és a kontinuum állapota alatt a kontinuumelemek állapotainak összességét értjük.”

2.1 Az anyag és energia ekvivalenciája

Mindaddig, amíg az Einstein-féle egyenlet ($E=mc^2$) érvényes és/vagy a c =állandó, az anyag fogalmának definiálására a kontinuumszemléletet érvényesnek tartom. Ezen összefüggés egyben azt is kifejezi, hogy a tömeg lokális megváltoztatásához, lokális energia-változtatásra van szükség!

2.2 A hely és az idő függvényében lejátszódó folyamatok

E szemléletben leírható a tér maga, a hely és az idő függvényében lejátszódó folyamatok, azok hajtóerői, az energia (deriváltak) is (Euler, Lagrange leírási móddal).

„A kontinuummechanika tenzor (helyvektor, idő) függvényeinek változóit vagy geometriai (tehát helytálló), vagy kontinuum- (tehát mozgó) pontokhoz kötjük. Ennek megfelelően különböző kontinuummechanikai leírási módokról beszélünk.

Az Euler-féle (tér szerű vagy lokális) leírási módnál a tenzormezőket a vonatkoztatási koordináta-rendszer geometriai pontjaihoz kapcsoljuk. Ilyenkor Euler-féle tenzormezőkről, tenzorokról, ill. koordinátákról beszélünk. A tenzormező valamely időpillanatban és pontban felvett értéke az Euler-féle leírásnál annak a kontinuumelemnek az állapotához rendelhető hozzá, amelynek kontinuumpontja a pillanatnyi konfigurációban éppen egybeesik az illető geometriai ponttal.

A Lagrange-jéle leírási módnál a tenzormezőket a kezdeti konfiguráció által elfoglalt térbeli tartomány geometriai pontjaihoz kötjük és Lagrange-féle tenzormezőkről, tenzorokról, ill. koordinátákról beszélünk. A tenzormező valamely időpillanatban és pontban felvett értéke a Lagrange-féle leírásnál annak a kontinuumelemnek az állapotához rendelhető hozzá, amelynek kontinuumpontja a kezdeti konfigurációban éppen egybeesett az illető geometriai ponttal.”

2.3 Anyag (javasolt) definíciója a 2.1 és 2.2 evidenciák figyelembevételével

Anyag: a tér zárt felülettel határolt m tömegű térfogata.

2.4 A 2.3 pont szerint definiált anyag további sajátosságai

- A kiválasztott térrészben, térfogatban definiálhatók az anyag szerkezetére, struktúrájára vonatkozó legkülönbözőbb jellemzők (nagy gradiensű, homogén, izotróp, anizotróp, fázisok, szerkezetre utaló paraméterek, stb.)
- **Térfogati és felületi tulajdonságok** definiálhatók.
- Egyszerűen (és szemléletesen) a fenti tulajdonságok relatív fontossága a **mérethatásban**.
- Definiálhatók **térfogatban lejátszó jelenségek** (sugárzás, lebomlás, ...) és **felületi hatásra bekövetkező térfogatra kiterjedő folyamatok**.
- Ismeretes az a matematikai eszközrendszer, amely a térfogati és felületi integrálok közötti kapcsolatot megteremti.

2.5 Az „anyagtudomány” és „anyagtechnológia” definíciói

A 2.3 pontban definiált **ANYAG** figyelembevételével egyszerűen definiálhatók az „anyagtudomány” és „anyagtechnológia” kifejezések is. Javasolt

(lehetséges) definíciók:

- **Anyagtudomány:** Az m tömegű anyag térfogatában és környezetétől elválasztó felületén lejátszó jelenségek megismerésére, feltárására, tudatos befolyásolására irányuló tudományos ismeretek halmaza.
- **Anyagtechnológia:** Az m tömegű anyag térfogatának és környezetétől elválasztó felületének tudatos befolyásolására reprodukálhatóan alkalmazott technológiai eljárások összessége.

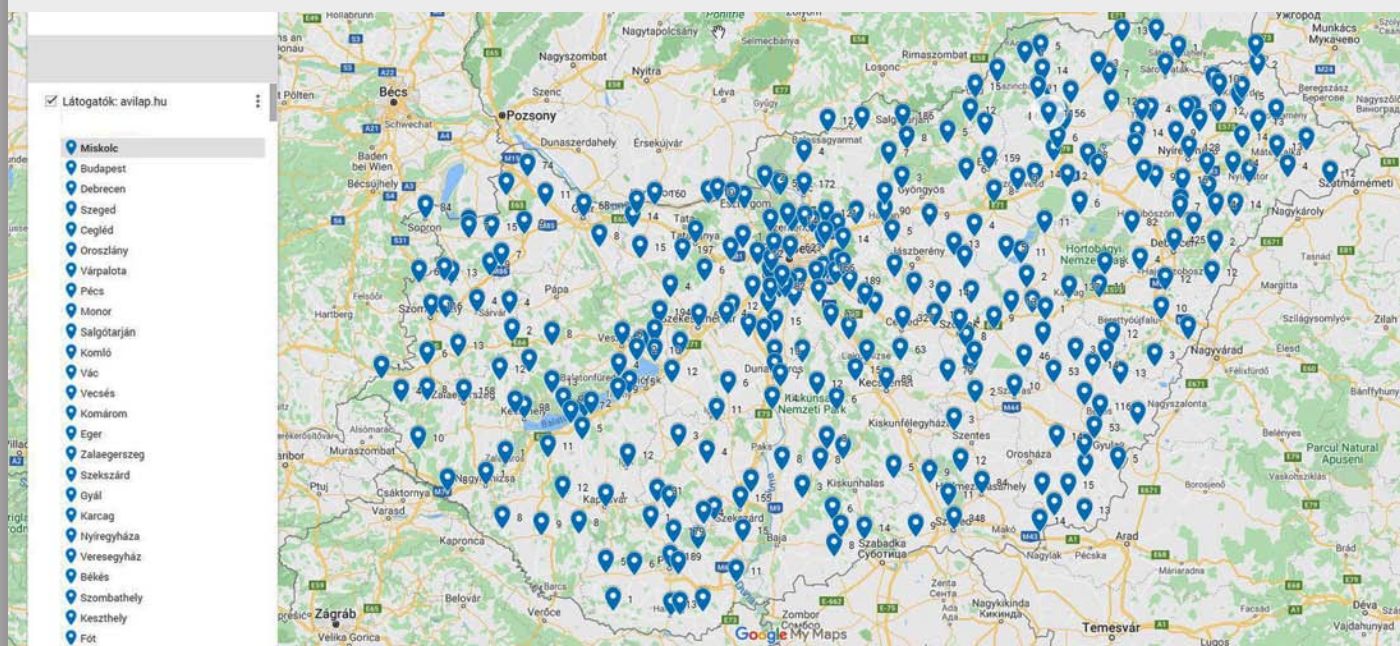
3. Összefoglalás

A javasolt definíciók a deduktív gondolkodásmódot követik, és mindaddig elfogadhatónak tűnnek, amíg az Einstein – féle $e=mc^2$ összefüggéssel definiált anyag-energia ekvivalencia érvényesnek tekinthető. Ez ugyanis azt is kifejezi, hogy az anyag tömegének lokális megváltoztatásához lokális energiaváltoztatásra van szükség.

Irodalomjegyzék

- [1] Tóth László: „Anyag” - „Anyagtudomány” definíciója - Vitaindító közlemény. Anyagvizsgálók Lapja, (2020: II-III), 91-95.
- [2] Béda Gy., Kozák I. Verhás J.: Kontinuummechanika. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1986

Az Anyagvizsgálók Lapjának online látogatottsága



A 2020-as év mindannyiunk számára tartogatott meglepetéseket, a weboldal látogatottsági statisztikája kellemes meglepetésekkel szolgált. Az oldalletöltések száma önmagában kevés egy online folyóirat látogatottságának megítéléséhez, ezért a weboldalt felkereső hazai látogatók hozzávetőleges földrajzi helyzetét az adott térségből érkező látogatók darabszámával súlyozva megjelenítettük hazánk térképén. Jól látható, hogy a legtöbb látogató továbbra is a nagyvárosokból érkezik weboldalunkra, élen Miskolccal és Budapesttel, azonban a térképen megjelenített pontthalmaz alapján nyugodtan kijelenthetjük, az Anyagvizsgálók Lapja országos látogatottsággal bír.

A műszaki anyag, a műszaki anyagtudomány és az anyagtechnológia definíciói

Kaptay György

Miskolci Egyetem, FKNI, Nanotechnológiai Tanszék, egyetemi tanár

MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, kutatócsoport vezető

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási KN Kft., BAY-ENG, vezető kutató, gyorgy.kaptay@bayzoltan.hu

1. Bevezetés

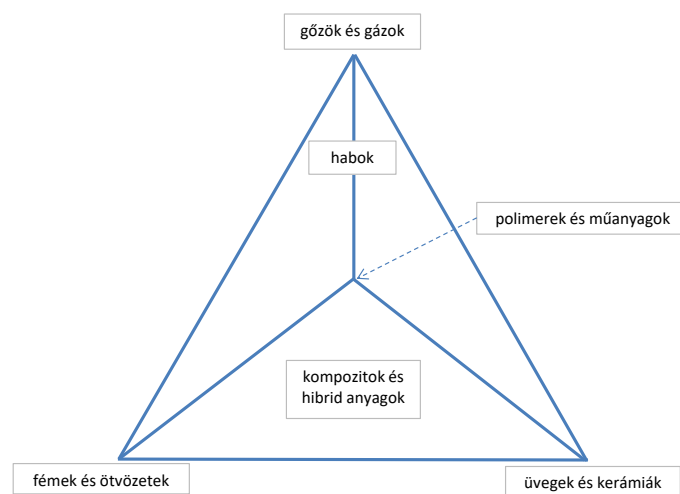
E lap főszerkesztője, Tóth László érdekes vitaindítót tett közzé a közelmúltban [1]. Ez a cikk egy lehetséges válasz a sok válasz-lehetőség közül (lásd Köszönetnyilvánítás is), építve az előzményekre [2-15]. A feladat tehát az „anyag” és az „anyagtudomány” definíció megadása [1], amit én itt a „műszaki anyag”, a „műszaki anyagtudomány” és az „anyagtechnológiák” definíciójára szűkíték. Elsőként a definíciók közepébe vágok¹, majd következnek a „magyarázkodások” és „elhatárolódások”.

Az itt közölt definíciókat négy szimbolikus tetraéderrel teszem vizuális élménnyé (lásd 1-4. ábrák). A tetraéder az OATK (Országos Anyagtudományi Konferencia) logója [16], amely logó szabadon hagyja a résztvevők fantáziáját, szemben az itteni 1-4. ábrákkal (lásd még [9, 17], mint egyéb lehetséges megoldások ugyanarra a tetraéder témára). Másik különlegessége e magyar nyelvű cikknek, hogy Robert Cahn megkerülhetetlen monográfiáját [9] leszámítva csak magyar nyelvű műveket fogok hivatkozni, ezzel is hozzájárulva a magyar műszaki nyelv fejlődéséhez [18].

2. A definíciók

A **műszaki anyag** olyan élettelen és mesterséges (nem a természetben talált, hanem ember által létrehozott) anyag, amely a Föld felszínének közelében fellelhető 81, gyakorlatilag stabil (az életre nem károsan radioaktív [19]) elemből alkotott egyedi fázisok vagy változatos fázisok összességét jelenti, beleértve a fázisokon belüli, illetve a fázisokat elválasztó/összekötő határfelületeket is. Mivel ebből a 81 elemből 61 elem egynél több természetes izotóp keveréke és az izotóp-elválasztás költséges művelet, a műszaki anyagok ezt a 81 elemet általában természetes izotópösszetételükben tartalmazzák. A műszaki anyagok tartalmazhatnak szilárd kristályos, szilárd amorf, folyékony és gáz állapotú fázisokat, tetszőleges kombinációkban.

A műszaki anyagokat szerkezeti és funkcionális anyagokra szokás osztani. A szerkezeti anyagok főleg a mechanikai terhelésekkel kapcsolatos tulajdonságaik miatt hasznosak. A szerkezeti anyagokat gyakran fémes, keramikus, vagy polimer csoportokba sorolják, ideértve a hibrid anyagokat is (lásd 1. ábra).

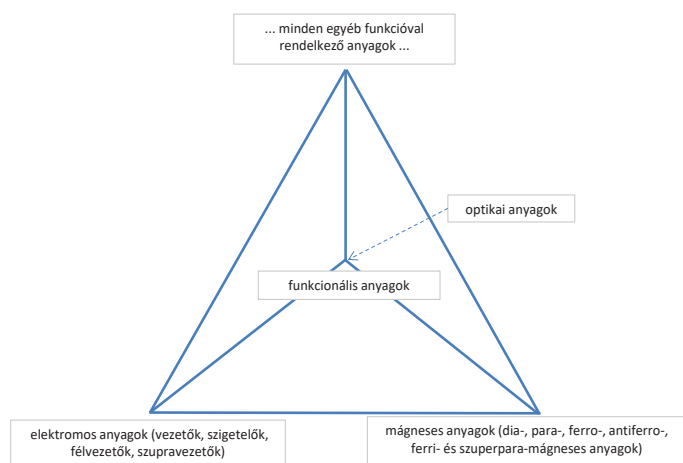


1. ábra. Egy szimbolikus tetraéder a szerkezeti anyagok definíciójához [20]. A tetraéder csúcaiban a különböző anyagcsoportok vannak feltüntetve, míg a tetraéder oldalai mentén ezen alkotók térfogathányadát mérjük. Néhány kiragadott magyar nyelvű hivatkozás a fémek és ötvözetek [21-33], az üvegek és kerámiák [34-41], a polimerek és műanyagok [42-43], a fémmátrixú kompozitok [44-52], a polimerhátrixú kompozitok [53-63], a fémhabok [64-71], és a polimerhabok [72-73] témaköréből. Míg a kerámiák és polimerek részben kristályos, részben amorf állapotúra sikerülnek „véletlenül” is, az amorf fémek létrehozása igazi kihívás [74-78].

A funkcionális anyagok egyéb funkciójuknak köszönhetően hasznosak [79]. Példák a funkcionális anyagok lehetséges funkcióira: félvezető [80-81], szupravezető [82], mágneses [83-86], optikai [87-88], érzékelő [89-90], foto-voltaikus [91-92], korrózióálló [93-98], hőtároló [99-100], esztétikai [101-102], stb. (lásd 2. ábra). A funkcionális anyagok többsége (pl. a mágneses anyagok) ugyan az 1. ábra

¹ Az Olvasók többsége a háta közepére sem kívánja ezeket a definíciókat, nekik szeretnék örömet okozni ezzel a lábjegyzettel, amit egy ismeretlen őskori szerző barlangrajzából silabizáltam ki egy Miskolc környéki barlangban, amit azóta sajnos eltemetett egy kőomlás: „Az anyagtudományt legalább olyan jól ismerem, mint a feleségemet, de ez nem jelenti azt, hogy bármelyiket definiálni merném”.

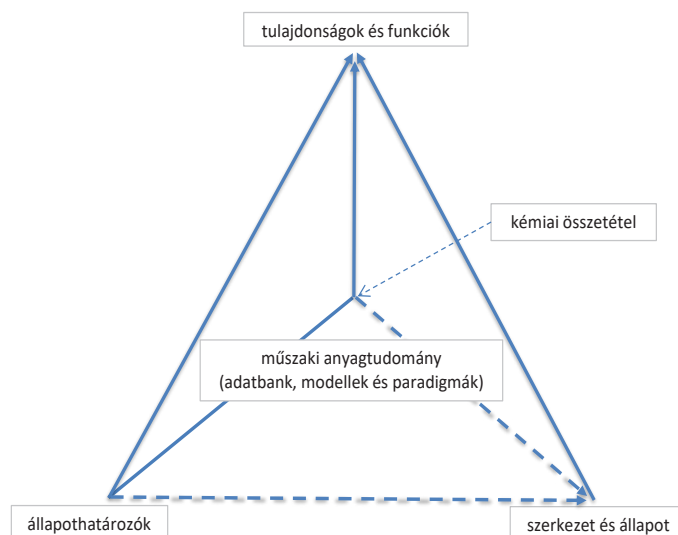
szerint is kategorizálható, de ha így tennénk, akkor pont a lényegüket (értsd: a funkciójukat) veszítenénk el, ráadásul pl. a szilícium, mint félvezető nehezen lenne beilleszthető az 1. ábrába.



2. ábra. Egy szimbolikus tetraéder a funkcionális anyagok definíciójához (minden lehetséges funkció bemutatásához egy nagyon sok szögből álló poliéderre lenne szükség, jobb híján erre utalunk a tetraéder felső csúcsában).

A **műszaki anyagtudomány** az a tudományág, aminek feladata a műszaki anyagban időben és térben végbemenő, energiaváltozással kísért folyamatok kísérleti feltárása, értelmezése és modellezése. Célja a különböző összetételű és szerkezetű anyagok kémiai összetétele, szerkezete, tulajdonságai és különböző funkciókra való alkalmassága közötti kapcsolatok kísérleti feltárása, értelmezése és modellezése az egyéb állapothatározók (hőmérséklet, nyomás, elektromos-, mágneses- és gravitációs erők) és szilárd fázisok esetén egyéb paraméterek (az anyagot érő különböző sugárzások fluxusa, a fázis kialakulását kísérő körülmények, mint pl. a hűlési sebesség, illetve a hőkezelési, alakítási és igénybevételi paraméterek) függvényében (lásd 3. ábra). A műszaki anyagtudomány tevékenységei közé tartozik a laboratóriumi eljárások fejlesztése adekvát próbadarabok előállítása céljából, laboratóriumi mérési módszerek kidolgozása és fejlesztése, kísérleti adatokat tartalmazó adatbankok gazdagítása újabb és újabb mért adatokkal, illetve különböző jellegű (atomi felbontású, kontinuum-mechanikai, termodinamikai, kinetikai, transzport, stb...) szimulációk futtatása és komplex modellek fejlesztése, melyek legmagasabb szintje az új paradigmák megfogalmazása.

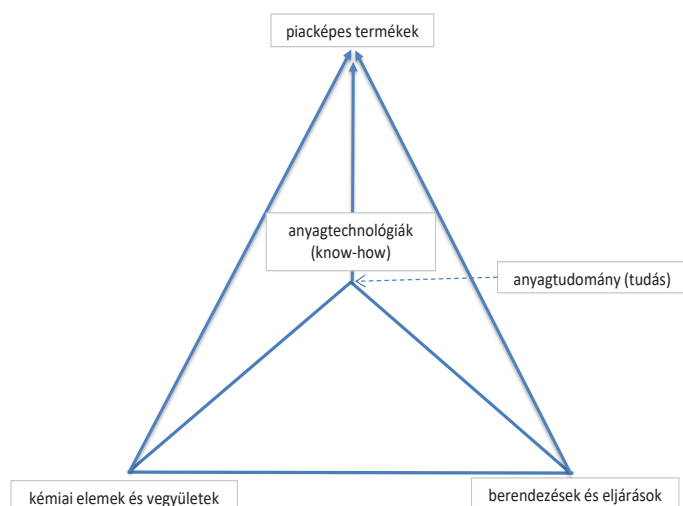
A műszaki anyagtudomány interdiszciplináris tudományág, ami mai integrált formájában az 1950-1960-as években alakult ki a kohászat, a (szilárdtest) fizika és a (fizikai) kémia határterületén [9], ezért



3. ábra. Egy szimbolikus tetraéder a műszaki anyagtudomány definíciójához, aminek célja e tetraéder kitöltése empirikus adatokkal, elméleti modellekkel és paradigmákkal. A tetraéder alsó csúcsaiban a különböző „alkotók” vannak feltüntetve, melyek a felső csúcsban feltüntetett anyagtulajdonságokat és anyagfunkciókat együttesen determinálják. A kémiai összetétel és az egyéb állapothatározók (hőmérséklet, nyomás, illetve a gravitációs-, elektromos- és mágneses erők) ugyan determinálják az egyensúlyi szerkezetet és állapotot, de a valós szilárd műszaki anyag lehet ettől eltérő szerkezetű és állapotú is a különböző sugárzások és a fázis kialakulását kísérő paraméterek, pl. az olvadáráramlások függvényében [103-104], illetve a hőkezelések [105-106], alakítások [107-114] és igénybevételek [115-121] következtében.

általában az ezekben a tudományágakban feltárt törvényszerűségeket és módszereket használja fel, de maga is hozzájárul új törvényszerűségek felismeréséhez és új módszerek megalkotásához. A műszaki anyagtudomány interdiszciplináris jellege abból a felismerésből fakad, hogy önmagában se a fizika, se a vegyészet, se a kohászat, se a kerámiatan, se a polimertan (se semmi más) nem képes megfelelő hatékonysággal sem értelmezni, sem modellezni a komplex műszaki anyagokat, nem beszélve azok optimális előállítási technológiáinak kidolgozásáról legalább laboratóriumi körülmények között. Ennek az új tudományágnak a létrejöttét a társadalmi igények is kikényszerítették, hiszen az emberiség minden, a való-világban megjelenő alkotásának színvonalát és teljesítőképességét az adott korban rendelkezésre álló (vagy hiányzó) műszaki anyagok határozzák meg az orvostudománytól az energetikán és az elektronikán át az űriparig, és ez nem csak most van így, így volt ez az emberi civilizációk kezdete óta (lásd kőkor – rézkor – bronzkor – vaskor).

Az anyagtechnológiák olyan eljárások összessége, melyekkel reprodukálható módon, különböző léptékű ipari berendezésekben (optimális esetben gazdaságosan és fenntartható módon [122]) hozhatóak létre olyan kémiai összetételű, szerkezetű, állapotú és geometriájú műszaki anyagok, melyek önállóan, vagy más műszaki anyagokkal összeépítve a felhasználók adott igényeit kielégítő tulajdonságokkal és funkciókkal rendelkeznek és így piacképes terméké válnak (lásd 4. ábra). Míg az anyagtudomány a „miért”-ek tudománya, az anyagtechnológiák a „hogyan”-okra keresik a választ [2]. Az anyagtechnológus-fejlesztőmérnök a mindenkor műszaki anyagtudomány eredményeire alapozva hozza létre a lehető legfenntarthatóbb eljárások összességét egy adott felhasználói igény kielégítésére [123-141].



4. ábra. Egy szimbolikus tetraéder az anyagtechnológiák definíciójához. A tetraéder alsó háromszögének csúcsaiban vannak feltüntetve azok az összetevők (a hozzávaló kémiai elemek és vegyületek, a gyártó berendezések és eljárások, illetve a fent tárgyalt anyagtudományi tudás), melyekből az anyagtechnológiák (know-how) piacképes termékeket képesek létrehozni (avagy a nem-piacképes termék nem igazi termék [142-147]).

Az anyagtechnológiák napjainkban a szerkezeti anyagokból relatíve nagy tömeget gyártanak viszonylag kis fajlagos értékkel, míg a funkcionális anyagokból relatíve kis tömeget gyártanak viszonylag nagy fajlagos értékkel. A szerkezeti anyagok gyártása napjainkban tehát relatíve kis hozzáadott értéket képvisel, mivel nagytömegű szerkezeti anyagokat már évezredek – évszázadok óta sikeresen tudunk létrehozni (lásd piramisok, függőkertek,

viaduktok, hidak, templomok, várak és kastélyok, nem is beszélve pajzsokról, dárdákról és kardokról stb.). Ezzel szemben napjainkban a funkcionális anyagok gyártása viszonylag nagy hozzáadott értéket képvisel, aminek fő oka az, hogy az elektronikai és egyéb funkciókkal bíró eszközök tömeggyártása csak az elmúlt évtizedekben kezdődött el. E történelmi tények mögött tudományos okok is vannak. Addig, amíg a szerkezeti anyagok (tégla, bronz, vas stb.) 2N-es tisztasági fokkal² is elfogadhatóan működnek, addig a szilícium 2N-es tisztasági fokkal még csak ötvözőnek jó, félvezetőként azonban egyáltalán nem működik. Ahhoz, hogy a szilíciumból napelemet tudjunk gyártani, minimum 6N-es tisztaság szükséges, míg ahhoz, hogy számítógépet tudjunk gyártani belőle, minimum 10N-es tisztaság kell, és akkor még nem említettük a kristálytani hibákkal szembeni követelményeket egy szilícium félvezető kristályban.

3. Fogalmaink érvényességi köre, illetve az interdiszciplináris határok kijelölése

Az MTA-nak 11 osztálya van, azon belül kb. 100 Tudományos Bizottság. Nekünk úgy illik definiálnunk/körülhatárolnunk saját tevékenységünket (= a műszaki anyagtudományt és az anyagtechnológiát) és kutatásaink tárgyát (= a műszaki anyagot), hogy nem hatolunk be túl mélyen más Tudományos Bizottságok felségterületére. Azt azonban érdemes kijelölni, hogy hol vannak az interdiszciplináris területek a különböző társtudományokkal.

A műszaki anyagtudomány a műszaki anyagok szerkezetével és annak komplex tulajdonságaival foglalkozik a 0,1 nm-től, azaz az atomi szinttől felfelé, de jellemzően nem foglalkozik az atomokat alkotó elemi részecskével. Ha azonban a műszaki anyagot elemi részecskék (elektronok, protonok, neutronok, ionok, atommagok stb.) árama, vagy elektromágneses sugárzás éri és annak érzékelhető hatása van a műszaki anyag szerkezetére és tulajdonságaira az atomos szint feletti mérettartományban is, akkor a műszaki anyagtudomány e kölcsönhatásokkal is foglalkozik, jellemzően az adott területet művelő szakemberekkel (pl. részecske- lézer- és kvantum-fizikusokkal) való együttműködésben [148-157]. A műszaki anyagtudomány fejlődését segíthetik a kvantumkémia és számítógépes kémia modelljei [158], ezekkel a kérdésekkel jellemzően a vegyészekkel együttműködésben

² Az XN-es tisztasági fok X db 9-essel (N=nine) fejezhető ki a tisztaság %-os értékében, tehát a 2N-es anyag 99% tisztaságú, a 4N-es pedig 99,99% tisztaságú.

foglalkozunk. Ezen túl a **vegyésszmérnökökkel** is együttműködünk [159-160], főleg kémiai anyagok technológiájának fejlesztésében vagy hulladékok ártalmatlanításában. A **kémiai metallurgia** szintén a műszaki anyagtudomány – anyagtechnológiák természetes szövetségese, hiszen a metallurgusok állítják elő fémes alapanyagainkat primer [161-164] vagy szekunder [165-168] nyersanyagokból.

A műszaki anyagtudomány jellemzően az anyaggyártó iparban gyakorlatilag elérhető legnagyobb mérethatárig (dimenzióként maximum 100 m nagyságrend) foglalkozik a műszaki anyagokkal. A műszaki anyagtudomány által felhalmozott tudás azonban hasznos lehet az ennél sokkal nagyobbra épített mérnöki konstrukciók esetében is, vagy akár az égitestek/csillagközi tér analízisében; ezekkel a kérdésekkel az adott területen dolgozó mérnök-ökkel és természettudósokkal (**gépész-, építés-, és építőmérnökökkel**, illetve **geofizikusokkal vagy csillagászokkal**) együttműködve foglalkozunk. Itt érdemes megjegyezni, hogy az „**úr-anyagtudomány**”, mint úrkörülmények között érvényes anyagtudomány alatt még mindig csak a 0,1 nm és a 100 m közötti nagyságrendeket értjük [169-173].

A műszaki anyagtudomány az élettelen és mesterséges anyag a fent említett 0,1 nm...100 m mérettartomány 12 nagyságrendjét fogja át. Ezen belül az alsó 3 nagyságrend (0,1...100 nm) az ún. nano-anyagok világa [174-189], melyek definíciója: a **nano-anyag** olyan anyag, amiben van legalább egy **nano-fázis**, azaz legalább egy olyan fázis, aminek legalább az egyik dimenziója 100 nm alatti. Mindebből az atomi méret ismeretében (0,1 nm-es nagyságrend) az következik, hogy a nano-fázisokban a határfelületi atomok részaránya mérnökiileg is szignifikáns, azaz 0,1% feletti. Összekombinálva ezt azzal, hogy a fázisok belsejében lévő térfogati atomoknak és a fázisok határfelületén lévő atomoknak különbözőek a lokális tulajdonságai, megállapíthatjuk, hogy a nano-fázisok (és ezért a nano-anyagok) összes tulajdonsága méretfüggő lesz. Konkrétabban a tulajdonságok a nano-fázisok fajlagos felületével arányosak. A fenti méretfüggés gyakorlatilag megszűnik a csak olyan fázisokat tartalmazó anyagokban, melyek minden

dimenziójukban 100 nm-nél nagyobbak. Ezért van az, hogy a 12 nagyságrendet átfogó „műszaki anyag” definíció felső 9 nagyságrendjében a tulajdonságok méretfüggése szinte ismeretlen fogalom³. Itt érdemes megjegyezni, hogy **nano-technológiai** módszerekkel jellemzően funkcionális (kis tömegű) anyagokat/szerkezeteket hozunk létre (pl. integrált áramköröket, vagy nano-mágneses eszközöket), de várhatóan a nano-szerkezetű, de nagy térfogatú anyagok (pl. nano-kompozitok) idővel a szerkezeti anyagok piacát is forradalmasítani fogják.

A műszaki anyagtudomány az élettelen műszaki anyagok szerkezetével és tulajdonságaival foglalkozik mind a tömbi fázisok, mind az azokat elválasztó/összekötő határfelületek szintjén. Van azonban olyan esetek, amikor az élő és élettelen anyagok kapcsolatba kerülnek egymással oly módon, hogy az befolyásolja az élettelen műszaki anyagok funkcióját, vagy megváltoztatja azok szerkezetét és tulajdonságait (pl. az implantátum/élő szövet határfelületeken, vagy baktériumok okozta fémkorrózió esetén). Ekkor jellemzően **biológusokkal és orvosokkal** működünk együtt [191-198].

A műszaki anyagtudomány/anyagtechnológia általában piacon elérhető mérőeszközöket/gyártóberendezéseket vásárol és használ a műszaki anyagok vizsgálatára [199] vagy előállítására, de speciális igényekre önmaga is fejleszt/létrehoz új mérőberendezéseket/gyártóberendezéseket, jellemzően **gépész, villamosmérnök és informatikus** kollégákkal való együttműködésben [200-202].

Az anyagtechnológiák ugyan elvileg a műszaki anyagtudomány által feltárt törvényszerűségekre építenek, de mivel az anyagtudomány fejlődése általában elmarad az anyagtechnológia igényeitől⁴, így az anyagtechnológiák különböző célú optimalizálása során (pl. költség-, energia-, anyag-minimalizálás stb.), hasznos a szimulációs szoftverek és a mesterséges intelligencia használata is [203-206], amit **informatikusokkal** való együttműködésben végzünk. Az anyagtechnológiákban fokozatosan terjed az ipari számítógépes folyamatmódosítás [207] és az ipari robotok használata, ezek beállításához és működtetéséhez **robotikai és mechatronikai** szakemberekkel működünk együtt.

³ Mint szinte minden általánosnak szánt kijelentés, ez sem teljesen igaz. Amikor ugyanis a statisztikának is hatása van a történésekre és tulajdonságokra, akkor e történések kisebb valószínűséggel (értsd: később) következnek be kis térfogatú anyagokban, mint nagy térfogatú anyagokban, és itt nemcsak a nano-tartományról van szó. Egyik példa erre a csíráképződés, illetve az azt megelőző túlhűlés elérhető mértéke (kis térfogatokban nagyobb túlhűlés érhető el, mint nagy térfogatokban). Másik példa a törési szívósság értelmezésére alkalmazott „leggyengébb láncszem” statisztikai elmélet, aminek lényege, hogy a nagyobb térfogatú anyagokban nagyobb a valószínűsége törések megjelenésének (részletesebben lásd [190]).

⁴ Elméleti anyagtudósként egy ideig szégyelltem magam emiatt anyagtechnológus barátaim előtt, pedig nem kellett volna. Ez ugyanis csak azért van így, mert minden elméleti anyagtudósra nagyon sok anyagtechnológus, vagy „csak” kísérletekkel foglalkozó anyagtudós jut, így nem csoda, hogy az elméleti eredmények csak kullogni látszanak a temérdek kísérleti eredmény mögött.

A műszaki anyagtudomány jellemzően a gyártani tervezett, gyártási fázisban lévő, használatban lévő, vagy az éppen meghibásodott műszaki anyagok vizsgálatával és adott funkcióra való alkalmasságának elemzésével foglalkozik. A műszaki anyagtudomány által felhalmozott tudás azonban hasznos lehet a régmúltban készített/használt anyagok/technológiák analízisében is; ezekben a kérdésekben jellemzően **régészekkel, történészekkel és muzeológusokkal** való együttműködésben foglalkozunk [208-217]. Az **archeometria** és **archeo-metallurgia** (picit tágítva a kört nevezhetnénk akár **archeo-anyagtudománynak** is, és így már nemcsak az archeo-fémeszközöket, hanem az archeo-cserepeket is magába foglalná) ékes példája az interdiszciplináris együttműködésnek, hiszen itt az anyagtudomány humán tudományokat szolgál ugyan, ugyanakkor a régészet eredményei is integrálhatóak az anyagtechnológiák fejlődésével kapcsolatos ismeretanyagunkba, avagy „a jövőnk a múltunkban gyökerezik”. Persze nem feltétlenül szükséges ahhoz archeo-tudósnak lenni, hogy egy anyagtudós bölcsészekkel is együtt dolgozzon [218].

Köszönetnyilvánítás

Ez az összefoglaló Verő Balázs és Gácsai Zoltán kezdeményezésére született, az MTA ATTB (Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottság) tagjainak 2020. szeptember-október havi elektronikus levelezéséből. Eredeti saját definícióim sokat finomodtak a következő kollégák hozzászólásai alapján (a nevek ABC-sorrendben), amit nagyon köszönök: Bársony István, Beke Dezső, Buza Gábor, Csanády Andrásné Ágnes, Dobránszky János, Gácsai Zoltán, Gyulai József, Réger Mihály, Tóth László, Trampus Péter, Verő Balázs. Ezek a kollégák lehetnek volna az írás társszerzői is, de az én definícióimmal Ők teljes egészében nem tudtak azonosulni. Ráadásul, ha társszerzőkként tüntetném fel Őket, akkor megfosztanám Őket attól a lehetőségtől, hogy ebben a szakmai vitában saját nevükben is megnyilatkozzanak. Ezen túl a Szerző köszönettel tartozik Bárczy Pálnak, Baumli Péternek, Benke Mártonnak, Török Bélának és Viskolcz Bélának, akikkel szintén jókat beszélgetett és sokat tanult a témáról⁵.

Irodalomjegyzék

- [1] Tóth László. „Anyag” - „Anyagtudomány” definíciója - Vitaindító közlemény. Anyagvizsgálók Lapja, (2020: II-III), 91-95.
- [2] Prohászka János. Anyagtudomány, anyagtechnológia, anyagtulajdonságok. Műszaki Tudomány, 56 (1978) 270-293.
- [3] Gyulai József. Az anyagtudomány apoteózisa. Fizikai Szemle 46 (1996) 264.
- [4] Verő Balázs. Anyagtudomány és anyagtechnológia Magyarországon. Magyar Tudomány (1996: 9) 1114-1128.
- [5] Káldor Mihály, Verő Balázs. Van-e anyagtudomány, és ha van, akkor mi az? BKL Kohászat, 130 (1997: 1) 29-34
- [6] Roósz András. Példák anyagtudományi modellezésre. BKL Kohászat 130 (1997: 5) 374-378.
- [7] Verő Balázs. Elnöki megnyitó az 1. magyar anyagtudományi és anyaginformatikai konferencián. BKL Kohászat 130 (1997: 10-12) 335
- [8] Prohászka János, Tóth László. Anyagtudomány, mint műszaki tudomány. BKL Kohászat, 130 (1997:10-12) 336-342
- [9] Robert W. Cahn. The Coming of Materials Science. Pergamon Materials Series, Pergamon, Amsterdam (2001) 568 pp.
- [10] Gyulai József. A fizika-kémia átlényegülése: a műszaki anyagtudomány. Magyar Tudomány 50 (2005: 5) 552-560.
- [11] Gyulai József. Egyesült anyagtudomány. Fizikai Szemle 57 (2007) 296-299.
- [12] Kaptay György, Z. Benkő Mária, Tóth Levente, Roósz András. Anyag- és Kohómérnöki Kar - 2000. BKL Kohászat 133 (2000: 6-7) 221-229.
- [13] Gyulai József. Anyagtudomány és anyagmérnökség – ennek néhány egyedi vonása a kelet-közép-európai térség (KKE) országaiban. Acta Mater Transyl 1 (2018: 1) 5-11.
- [14] Kolozsvári Zoltán. Az anyagtudomány és a negyedik ipari forradalom összefüggései. Acta Mater Transyl 2 (2019: 1) 1-6.
- [15] Bárczy Pál. Anyagtechnológiától anyagtudományig és vissza. BKL Kohászat 153 (2020: 1) 30-34.
- [16] Verő Balázs, Zsámbok Dénes. Országos Anyagtudományi Konferenciasorozat 1997-2015 Jubileumi kiadvány. Az OATK története, Anyagok Világa (2016) 12-22.
- [17] Trampus Péter, Verő Balázs. A nagy teljesítőképességű szerkezeti anyagok kutatása projekt elemeinek belső koherenciája, In: A jelen tudománya – a jövő gyakorlata (Ladányi G., Trampus P.), Dunakavics Könyvek 4., Új Mandátum Könyvkiadó, Budapest (2014) 9-19.
- [18] Dobránszky János, Verő Balázs. Felejtjük már el végre szegény saválló acélokat. BKL Kohászat 152 (2019: 2) 1-2.

⁵ Szerző azt nem tudja felmérni, hogy van-e e hazában bárki, kinek hasznos e cikk, de egy dolog biztos: a szerző maga sokat tanult a cikk írása és a hivatkozások összegyűjtése során.

- [19] Kaptay György. Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl. BKL Kohászat 153 (2020: 5-6) 36-41.
- [20] Kaptay György. Mi van a tetraéder csúcsaiban? BKL Kohászat, 132 (1999) 420.
- [21] Marcalek Péter. Nagy szilárdságú alumínium-ötvözetek a gépjárműipar számára. BKL Kohászat 151 (2018: 1) 18-20.
- [22] Kovács Jenő, Roósz András, Gácsi Zoltán. Kristályosított alumínium-réz ötvözetek mikroszerkezetének kvantitatív jellemzése. BKL Kohászat 134 (2001: 3) 85-88.
- [23] Roósz András, Rontó Viktória. A dendrites szerkezet kialakulása és változása szilárd oldatokban kristályosodás közben. BKL Kohászat 134 (2001: 7) 93-99.
- [24] Dezső András, Kaptay György. Rézforrasztásra használt ón-ezüst-réz rendszer egyensúlyi vizsgálata. BKL Kohászat 147 (2014: 2) 2-6.
- [25] Rontó Viktória, Tranta Ferenc, Svéda Mária, Roósz András. Hozzáadott cink hatása az Sn-Bi forrasztóvözet szerkezetére és kristályosodási tulajdonságaira. BKL Kohászat 148 (2015: 3) 33-38.
- [26] Bárdos András, Walczar Csaba. Rézrotor nagy hatásfokú villamos motorokhoz. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 13-17.
- [27] Mekler Cs., Baranyai V., Dezső A., Trampus P., Kresz N., Kaptay G. A szemcsehatár energia, a szemcsehatár-szegregáció és a szemcsehatár-átalakulás modellezése többkomponensű ötvözetekben. BKL Kohászat 148 (2015: 3) 43-49.
- [28] Bubenkó Marianna, Fegyverneki György, Tokár Monika. Al-Si olvadék zárványtartalmának csökkentésére irányuló vizsgálatok. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 18-22.
- [29] Szurdán Szabolcs, Medgyes Bálint, Mende Tamás. Mangánnal és bizmutterrel mikro-ötvözött ólommentes ónforrasztó ötvözetek fejlesztése az elektronikai ipar számára. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 23-26.
- [30] Veres Zsolt, Rónaföldi Arnold, Nagy Csaba, Roósz András. Mágneses keverés hatására kialakuló periodikusan változó rúdtávolság Al-Al₃Ni eutektikumban. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 36-39.
- [31] Lukács Sándor. Ecobrass – forgácsolható sárgarezek ólommentes alternatívája. BKL Kohászat 152 (2019: 2) 21-23.
- [32] Szalva Péter, Orbulov Imre Norbert. A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos alumíniumöntvények mechanikai tulajdonságaira. BKL Kohászat 152 (2019: 5-6) 9-14.
- [33] Pázmán Judit, Fehér Jánosné, Gonda Viktor, Sánta Edit, Orsolya, Verő Balázs. Az AlSi182 ötvözet teljesítőképességének meghatározás. BKL Kohászat 153 (2020: 3) 41-47.
- [34] Kristófné Makó Éva, Juhász Andor Zoltán. A dolomit kristályszerkezetének átalakulásai. Építőanyag 43 (1991: 5) 181-185.
- [35] Kaptay György, Deviatkin Szergej V., Berecz Endre, Shapoval Viktor I. Átmeneti fémboridok elektrokémiai szintézise sóolvadékokból. Gépgyártástechnológia XXXI (1991: 10) 445-446.
- [36] Korim Tamás, Kotsis Leventéné Ildikó. Diopszid bázisú színtestek előállítása. Építőanyag 44 (1992: 5) 82-86.
- [37] Gömze A. László, Kovács Ákos. Aszfaltkeverékek reológiai tulajdonságainak vizsgálata. Építőanyag 57 (2005: 2) 34-38.
- [38] Laczkó László, Eniszné-Bódogh Margit. Volfrám-karbid/kobalt bázisú keményfémek II. A volfrám-karbid por előállításának gázfázisú és fémolvasztós módszere. Építőanyag 60 (2008: 1) 3-7.
- [39] Furkó Mónika, Balácsi Katalin, Balácsi Csaba. Amerikai és európai perspektívák a kerámiák és üvegek ipari alkalmazásaira. Anyagok Világa 14 (2017: 1) 21 pp.
- [40] Bitay Enikő, Kacsó Irén, Veress Erzsébet. Urán-oxid-tartalmú üvegek kémiai stabilitása. Acta Mater Transyl 1 (2018: 1) 12-18.
- [41] Balácsi Csaba, Furkó Mónika, Szira Fruzsina, Balácsi Katalin. Műszaki kerámiák kutatása és ipari alkalmazásai: átlátszó AlON kerámiaanyagok előállítási módszerei és tulajdonságai. Acta Mater Transyl 2 (2019: 1) 7-12.
- [42] Gergely Attila, Kántor József, Bitay Enikő, Biró Domokos. Polimerszálak előállítása PET-palackból elektrosztatikus szálképzéssel. Acta Mater Transyl 2 (2019: 1) 19-26.
- [43] Tomin Márton, Szabó Ferenc. Fröccsöntés szimulációs szoftver vetemedésszámitási algoritmusainak pontosítása. Polimerek, 5 (2019) 424-428.
- [44] Kaptay György. Fémmátrixú kompozitok előállításának határfelületi aspektusai. I. rész. A határfelületi kritériumok levezetése. BKL Kohászat, 130 (1997: 5-6) 201-208 és 130 (1997: 8-9) 311-314.
- [45] Kaptay György, Bolyán László. Fémmátrixú kompozitok előállításának határfelületi aspektusai. II. rész. Határfelületi energiák adatbankja. BKL Kohászat, 131 (1998: 5-6) 179-185 és 131 (1998: 9-10) 305-314.
- [46] Baumli Péter, Sytchev Jaroszláv, Kaptay György. SiC és Al₂O₃ kerámiaszemcsék felületkezelése új kompozitanyagok fejlesztése céljából. BKL Kohászat 139 (2006: 3) 47-50.
- [47] Orbulov Imre Norbert, Kientzl Imre, Németh Árpád. Fémhabok és kompozitok előállítása infiltrációs eljárással. BKL Kohászat 140 (2007: 6) 41-46.
- [48] Májlinger Kornél, Orbulov Imre Norbert. Fémmátrixú kerámia kompozitok mikroszerkezeti tulajdonságai. BKL Kohászat 145 (2012: 5) 53-57.
- [49] Baumli Péter. SiC szemcsékkel erősített alumínium mátrixú kompozit előállítása. Anyagmérnöki Tudományok 37 (2012: 1) 7-14.
- [50] Károly Zoltán, Balácsi Csaba, Balácsi Katalin, Gergely Gréta, Petrik Attila, Lábár János. Alumínium mátrixú kompozitok előállítása szikrakisüléses szinterelési technikával BKL Kohászat 147 (2014: 1) 20-24.
- [51] Somlyai-Sipos L., Baumli P., Kaptay G., Bálint P., Dezső

- A., Simon A., Gácsi Z., A. Lekatou, T. Sfikas, A. Karantzas. Volfrám-karbid szemcsékkel erősített alumínium mátrixú kompozit fejlesztése. BKL Kohászat 148 (2015: 2) 34-39.
- [52] Dobránszky János, Bitay Enikő. Új módszerek kompoziterősítő kerámiaszálak áthúzóhatóságának meghatározására. Acta Mater Transyl 1 (2018: 1) 19-25.
- [53] Hargitai Hajnalka, Czvikovszky Tibor, Rácz Ilona, Gaál János. Textilipari hulladékokkal erősített polimerkompozit rendszerek. Műanyag és Gumi, 35 (1998) 215-220.
- [54] Hargitai Hajnalka, Rácz Ilona. Természetes szálakkal erősített termoplasztikus polimerek I-III. Műanyag és Gumi 37 (2000), 201-206, 249-254 és 287-292.
- [55] Szebényi Gábor, Tóth Levente Ferenc. Szénszál/szénnanocsó/szénnanoszál erősítésű hibrid kompozitok hő- és elektromos vezetőképességének vizsgálata. Műanyagipari Szemle, 12 (2015) 87-96.
- [56] Nagy Dorottya, Ádámné Major Andrea, Bata Attila. Polipropilén alapú szén nanocsó kompozitok termikus és folyási tulajdonságai. Gradus 2 (2015: 2) 182-189.
- [57] Bódi Szabolcs, Belina Károly, Babcsán Norbert. Alumíniumhab magú, szálerősített polimer mátrixú szendvicsszerkezet vizsgálata statikus és dinamikus igénybevételek esetén. Gradus 3 (2016: 2) 137-142.
- [58] Ráthy Istvánné, Pinke Péter, Huszák Csenge. Polipropilén mátrixú fröccsöntött kompozitok mechanikai vizsgálatai. Acta Mater Transyl 1 (2018: 2) 105-109.
- [59] Vermes Brunó, Czigány Tibor. Kompozitok alakváltásának lehetőségei. Gép, 69 (2018) 51-54.
- [60] Horváth Richárd, Stadler Róbert Gábor, Andrásfalvy Kristóf. Szénszállal erősített műanyag marásának vizsgálata. Acta Mater Transyl 2 (2019: 2) 99-104.
- [61] Hegedűs Gergely, Czigány Tibor. Polimer kompozitok állapotelemzése üveg fényvezető szálal és távközlési eszközökkel. Acta Mater Transyl 3 (2020: 1) 1-9.
- [62] Tábi Tamás, Csézi Gergely, Kovács Norbert Krisztián. 3D nyomtatott biokompozit vázszerkezetű fröccsöntött termékek vizsgálata. Polimerek, 6 (2020) 1042-1046.
- [63] Vermes Brunó, Czigány Tibor. Alakváltó kompozitok tervezése és gyártása autoklávval. Polimerek, 6 (2020) 895-899.
- [64] Kelemen Katalin, Kaptay György, Borsik Ákos. Fémhabok – a gépészeti anyagtervezés potenciális szerkezeti anyagai. Gép, 50 (1999: 11) 58-61.
- [65] Babcsán Norbert, Bárczy Pál. Alumíniumhabok, BKL Kohászat 136 (2003: 2) 98-100.
- [66] Májlinger Kornél, Orbulov Imre Norbert. Hibrid szintaktikus fémhabok szilárdsági jellemzői. BKL Kohászat 147 (2014: 6) 29-34.
- [67] Katona Bálint, Orbulov Imre Norbert. Kerámiagömbhéjakkal töltött szintaktikus fémhabok kvázistatikus és nagy alakváltozási sebességű nyomóvizsgálata. BKL Kohászat 149 (2016: 6) 30-35.
- [68] Kiss Norbert, Hareancz Ferenc, Weltsch Zoltán. Alumíniumhab hegesztésének sajátosságai. Gradus 6 (2019: 1) 117-126.
- [69] Orbulov Imre Norbert: Szintaktikus fémhabok gyártása és vizsgálata – szakirodalmi összefoglaló, Anyagvizsgálók Lapja. 2 (2019) 1-18.
- [70] Garai Flórián, Hareancz Ferenc, Weltsch Zoltán. Habosított alumíniummal erősített vékonyfalú cső fejlesztése. Gradus 6 (2019: 1) 127-134.
- [71] Leveles Borbála, Kemény Alexandra, Orbulov Imre Norbert. Alumínium mátrixú bimodális fémhabok gyártása és vizsgálata. BKL Kohászat 153 (2020: 5) 54-58.
- [72] Vadas D., Bocz K., Igricz T., Tábi T., Szabó B., Marosi Gy. Égégátolt politejsav habok előállítása szuperkritikus széndioxid segítségével extrúzióval. Polimerek 3 (2017) 156-160.
- [73] Tomin Márton, Kmetty Ákos. Polimer habok és azok sportolási célú alkalmazása. Polimerek, 5 (2019) 460-464.
- [74] Bárdos András, Buza Gábor, Lovas Antal, Varga Lajos. Reprodukálhatóan gyártható, nagy üvegképző hajlamú üvegfémek. BKL Kohászat 138 (2005: 3) 23-28.
- [75] Janovszky Dóra, Roósz András. Amorf fémek. BKL Kohászat 140 (2007: 3) 41-45.
- [76] Tomolya Kinga, Janovszky Dóra, Svéda Mária, Roósz András. Amorf ötvözetek előállítási lehetőségei az MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoportban. BKL Kohászat 145 (2012: 3) 48-54.
- [77] Szabó Attila, Sánta Róbert, Lovas Antal, Novák László. A FINEMET-ötvözet tulajdonságváltozásának vizsgálata hagyományos, impulzusos és mechanikai feszültség alatt végzett hőkezelést követően. Acta Mater Transyl 3 (2020: 1) 43-49.
- [78] Szabó Attila, Balla Sándor, Lovas Antal. A gyorsűtés és hidrogénoldódás okozta makroszkópos feszültség szerepe néhány vasalapú fémüveg tulajdonságaiban. BKL Kohászat 151 (2020: 1) 41-44.
- [79] Gyulai József. Funkcionális anyagok - 2000. BKL Kohászat 130 (1997: 10-12) 360-364.
- [80] Gyulai József. Kristályok, ötvözetek, félvezetők. Természettudományi Közlöny XCI (1960: 3) 125.
- [81] Gyulai József, Kádár György, Tóth András. Eljárás háromdimenzióban strukturált szilícium egykristály membránok kialakítására, valamint háromdimenzióban strukturált szilícium egykristály membrán. Magyar szabadalom 1882/87 (1987).
- [82] Németh Dóra, Eniszné-Bódogh Margit. Y-Ba-Cu-O bázisú szupravezetőknél a ZrO₂ égetési segédeszközök alkalmazhatóságának vizsgálata. Építőanyag 63 (2011: 3-4) 48-51.
- [83] Nagy Melinda, Kotsis Leventéné Ildikó, Makó Éva, Vértés Attila, Klencsár Zoltán. Szilikáttudomány: CMR-(Colossal magnetoresistance) effektust mutató AB₃O szerkezetű perovszkit (Sr₂FeMoO₆) előállítása, valamint fizikai és

- kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Építőanyag 54 (2002: 3) 70-74.
- [84] Keresztes Zoltán, Szabó Péter János. DMLS technológiával gyártott 316L orvostechikai acél mágneses tulajdonságainak vizsgálat. BKL Kohászat 152 (2019: 5-6) 30-34.
- [85] Nagy Márton, Bán Krisztián, Fogarassy Zsolt, Berényi Richárd. Amorf és nanokristályos lágymágneses anyagok bevezethetőségének vizsgálata gépjármű elektromotorok gyártásába. BKL Kohászat 153 (2020: 1) 40-43.
- [86] Roósz András. Nagyméretű állandó mágnesek készítése lineáris motorkhoz. In: Berkő Péter, Szabó-Tóth Kinga, Patkó Gyula (szerk.) Te mit tettél hozzá? Miskolc, MAB (2018) 117-120.
- [87] Gyulai József, Hámori András. Változtatható fókusz távolságú többszörös lencse. Magyar szabadalom P0000413 (2000).
- [88] Juhász Laura, Parditka Bence, Petrik Péter, Erdélyi Zoltán, Cserhádi Csaba. Porózus arany nanorészecskék optikai tulajdonságainak kevert fém-oxidrétegekkel történő hangolása. Fizikai Szemle 789 (2020: 9) 309-313.
- [89] Vonderviszt Ferenc, Závodszy Péter, Kamondi Szabolcs, Bársony István. Receptorként alkalmazható módosított flagellinek és flagelláris filamentumok valamint eljárások előállításukra. Magyar szabadalom P0402683 (2004)
- [90] Serényi Miklós, Makai János, Bársony István, Kulinyi Sándor. Mérési elrendezés és eljárás vízfelületen megjelenő folyékony szénhidrogén-származékok detektálására. Magyar szabadalom P0800190 (2008).
- [91] Szabó József, Tóth Gergő, Kaptay György. A napelem célú szilícium előállításának kihívásai. Anyagok Világa (2015: 2) 20-32.
- [92] Kaptay György, Szabó József, Tóth Gergely Bálint. Eljárás szilícium kristályok dúsítására és elválasztására fémolvadékból szilícium tisztítására. Magyar szabadalom P1500509 (2015).
- [93] Báder Enikő, Bolyán László, Kaptay György, Báder Imre. Határfelületi energiák szerepe a kerémiák fémolvadékokban való korróziójában. Korróziós Figyelő 39 (1999: 5) 144-146.
- [94] Homonnay Z., Kuzmann E., Stichleutner S., Kristófné Makó E., Varga K., Németh Z., Szabó A., Tilky P., Schunk J., Patek G. Gőzfejlesztő hőátadó csövek korróziós állapotának tematikus vizsgálata. Magyar Kémiai Folyóirat 108 (2002) 449-454.
- [95] Varbai Balázs, Gál István, Fábián Enikő Réka, Fazakas Éva, Májlinger Kornél. Ausztenites és duplex korrózióálló acélok vegyes kötéseinek korróziós tulajdonságai. BKL Kohászat 151 (2018: 1) 36-40.
- [96] Benke Márton, Sályi Zsolt, Rugóczy Péter. TiB2 bevonattal ellátott C45 típusú acél viselkedése nyugvó SAC309 forraszolvadéokban. BKL Kohászat 151 (2018: 3) 24-25.
- [97] Trampus P., Dobránszky J., Kerner Zs., Knisz J., Oszvald F., Palotás B., Péter L., Réger M., Verő B. Ausztenites acélcsővezeték korróziós károsodása. BKL Kohászat 152 (2019: 2) 32-37.
- [98] Török Tamás István. Acél korrózióvédelme alumínium bevonattal. BKL Kohászat 153 (2020: 3) 9-12
- [99] Kaptay György, Nagy Orsolya. Hőtároló és hőszállító anyagcsalád. Magyar szabadalom P1400621 (2014).
- [100] Baumli Péter, Kaptay György, Mátyás Máté Péter, Vaskó Gergely, Pálkovács József. Növelt hővezetésű, só alapú hőtároló anyagcsalád és eljárás előállítására. Magyar szabadalom P1500491 (2015).
- [101] Török Tamás István. Fém-oxidos bevonatok fém hordozókon: a zománckötés. BKL Kohászat 151 (2018: 5-6) 22-27.
- [102] Godzsák M., Lévai G., Vad K., Csík A., Hakl J., Kulcsár T., Kaptay G. Ipari körülmények között megvalósított színező tűzhorganyzás. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 31-35.
- [103] Svéda Mária, Sycheva Anna, Kovács Jenő, Rónaföldi Arnold, Roósz András. Forgó mágneses mező hatása a Sn-Cd peritektikus ötvözet kristályosodására. BKL Kohászat 147 (2014: 3) 45-48.
- [104] Svéda Mária, Sycheva Anna, Kovács Jenő, Rónaföldi Arnold, Roósz András. Forgó- és haladó mágneses mező hatása az Sn-Cd peritektikus ötvözetek kristályosodására. BKL Kohászat 150 (2017: 6) 34-37.
- [105] Kárpáti Viktor, Mikó Tamás, Barkóczy Péter, Angel Dávid, Gácsi Zoltán. Nyomóvizsgálatok alkalmazása homogenizálás során bekövetkező folyamatok hatásának kimutatására alumíniumötvözetekben. BKL Kohászat 152 (2019: 3) 26-29.
- [106] Biró Martin, Nagy Erzsébet, Mertinger Valéria. Hidegalakító szerszámacél hőkezelési technológiájának optimalizálása. BKL Kohászat 153 (2020: 2) 33-37.
- [107] Béres Gábor, Danyi József, Végvári Ferenc, Tisza Miklós. Napjaink járműkarosszéria anyagai. Gradus 2 (2015: 2) 209-224.
- [108] Marosné Berkes Mária, László Noémi, Németh Alexandra Kitti. Műszaki kerámiák alkalmazása fémek kenőanyagmentes alakító eljárásainak szerszámanyagként. Mutidiszciplináris Tudományok (ME) 6 (2016: 1) 95-104.
- [109] Szűcs Máté, Krállics György, Benke Márton. Többszintű modellezés alkalmazása a szimmetrikus és az aszimmetrikus hengerlési folyamatok vizsgálatára. BKL

- Kohászat 150 (2017: 1) 30-35.
- [110] Szabó Gábor, Szűcs Máté, Mikó Tamás, Puskás Csaba. Kötött rétegek felszakadásának modellezése háromrétegű alumíniumlemezek továbbhengerlése során. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 27-30.
- [111] Cseh Dávid, Mertinger Valéria, Lukács János. Maradó nyomó feszültség üzem közbeni stabilitása. BKL Kohászat 151 (2018: 5-6) 33-39.
- [112] Réger Mihály. Hengerelt lapostermékek középvonali dúsulása. BKL Kohászat 152 (2019: 1) 33-35.
- [113] Szalai Szabolcs, Czinege Imre, Csizmazia Ferencné. Intermetallikus fázisok hatása az alumíniumlemezek alakíthatóságára. BKL Kohászat 152 (2019: 2) 27-30.
- [114] Schweitzer Bence, Benke Márton, Hlavács Adrienn, Mertinger Valéria. Normál- és kereszthengerelt, lágyított AW-5056 Al-lemezek füledésének becslése {h00} pólusábrák alapján. Acta Mater Transyl 3 (2020: 1) 38-42.
- [115] Rózsahegyi Péter. Szerkezeti acélok kisciklusú fárasztása növelt hőmérsékleten. Gép XLVI (1994: 12) 22-28.
- [116] Lukács J., Csomós Z., Gácsi Z., Karcagi R., Magyar A., Tomolya K. Fáradásos repedésterjedés különböző típusú kompozitokban. Anyagvizsgálók Lapja 14 (2004: 4) 122-126.
- [117] Belezna Róbert, Szávai Szabolcs, Sárközi László, Rózsahegyi Péter, Lenkeyné Biró Gyöngyvér. Sodratok optimalizálása-elmélet és gyakorlat. Gép 58 (2007: 8-9) 23-27.
- [118] Meilinger Ákos, Lukács János. Két alumíniumötvözet lineáris dörzshegesztéssel készült kötéseinek viselkedése ismétlődő igénybevétel esetén. Gép 64 (2013: 8) 25-30.
- [119] Fekete Balázs, Trampus Péter. A reaktortartály kisciklusú termomechanikai fáradása. Anyagvizsgálók Lapja (2019: IV.) 5-29.
- [120] Dudra Judit, Erdei Réka, Tóth László. Mindennapi törésmechanika – húzott csővezetékek biztonságának megítélése. Anyagvizsgálók Lapja (2020: II-III) 5-13.
- [121] Lehofer Kornél. A folyáshatár mint anyaszerkezet-jellemző és szerepe a méretezésben. Anyagvizsgálók Lapja (2020: II-III) 14-79.
- [122] Bársony István. Fenntarthatóság – fenntartásokkal. Magyar Tudomány 181 (2020: 7) 948-967.
- [123] Gyimesi Jenő, Gyulai József, Motál György, Pásztor Endre, Zanati Tibor. Eljárás nagy elemsűrűségű uni- és bipoláris félvezető eszközök előállítására ionimplantációval. Magyar szabadalom MA-2344 (1972).
- [124] Gyimesi Jenő, Gyulai József, Méhn Márton, Motál György, Zanati Tibor. Eljárás IG-FET tranzistorok előállítására. Magyar szabadalom EE-2294 (1974).
- [125] Czigány Imre, Gyimesi Jenő, Gyulai József, Kertész Iván, Révész Péter. Eljárás aktív és passzív áramköri elemeket tartalmazó félvezető eszközök, előnyösen integrált áramkörök kialakítására. Magyar szabadalom 496/80 (1977).
- [126] Roósz András, Sólyom Jenő, Kovács Dezső. Eljárás öntött anizotróp mágnes előállítására. Magyar szabadalom 178071 (1979).
- [127] Bánki Ferenc, Gyimesi Jenő, Gyulai József, Majoros Ákos. Berendezés alkatrészek, előnyösen szilíciumlemezek atmoszférikus nyomás feletti kezelésére. Magyar szabadalom 2907/80 (1980).
- [128] Gyulai József, Királyhidi László, Krafcsik István, Riedl Péter. Eljárás és berendezés szilárd anyagok ionokkal történő besugárzására. Magyar szabadalom 1535/84 (1984).
- [129] Roósz András, Buza Gábor, Sólyom Jenő, Kálazi Zoltán. Eljárás monotektikus ötvözetből álló munkafelülettel ellátott fém munkadarabok előállítására. Magyar szabadalom 0103810 (2001).
- [130] Barna Árpád, Gyulai József, Menyhárd Miklós, Szigethy Dezső. Ionoptikai rendszer és eljárás. Magyar szabadalom P0301509 (2003).
- [131] Veres Zsolt, Roósz András. Egykristálykészítés az univerzális sokzónás kristályosítóban. BKL Kohászat (2005: 5) 41-45.
- [132] Roósz A., Tranta F., Czel Gy., Barkóczi I., Csomós J., Varga L., Güntner O. Eljárás magas hőmérsékletű sodrony alapanyag előállítására. Magyar szabadalom 0700686 (2007).
- [133] Kaptay György, Budai István. Eljárás monotektikus diszpergált fémötvözetek létrehozására. Magyar Szabadalom P08 00532 (2008).
- [134] Bárczy T., Szőke J., Zai P., Zai G., Bárczy P., Kaptay Gy., Mekler Cs., Szivovicsa P., Somosvári B., Pintér Z., Budai I. Berendezés és eljárás zárt cellás, alakos fémhab termékek előállítására fémhab injektorral. Magyar szabadalom P0900629 (2009).
- [135] Kaptay Gy., Mekler Cs., Stomp D., Baumli P., Budai I., Juhász Koppány L., Szabó D., Szabó J. Eljárás és berendezés karbon száakkal erősített alumínium mátrixú kompozit huzalok előállítására. Magyar szabadalom P1300181 (2013).
- [136] Szabó Dávid, Kaptay György, Szabó József. Eljárás nyílt cellás titánhab előállítására. Magyar szabadalom P1500306 (2015).
- [137] Kaptay György, Szabó Dávid, Szabó József, Petró József Csaba, Isaák György. Átmeneti fémeket, nemfémeket és/ vagy azok ötvözeit és/ vagy oxidjait tartalmazó önhordós, öntisztuló, nyílt cellás fémhabok és eljárás előállításukra. Magyar szabadalom P1500403 (2015).
- [138] Gyarmati Gábor. Fegyverneki György, Tokár Monika. Az öntészeti Al-Si ötvözetek kémiai szemcsefinomítása. BKL Kohászat 151 (2018: 3) 14-19.
- [139] Sándor Balázs. Alternatív nyomásos öntészeti technológia. BKL Kohászat 151 (2018: 1) 21-23.
- [140] Portász Attila, Szabó Gábor. Innovatív kis széndioxid-kibocsátású technológiák az acél-iparban. BKL Kohászat 151 (2018: 2) 1-6.
- [141] Kárpáti Viktor, Kazup Ágota, Hegedüs Balázs, Ferenczi Tibor, Gácsi Zoltán. Alumíniumötvözetek félfolyamatos öntése

- kísérleti kristályosító berendezéssel. BKL Kohászat 152 (2019: 5-6) 22-25.
- [142] Tardy Pál, Zámbo József. Az acélipar helyzete és szerepe az EU-ban és hazánkban Hegesztéstechnika 27 (2016: 4) 39-45.
- [143] Tardy Pál. Súlyos kihívások előtt az EU és hazánk acélipara. BKL Kohászat 149 (2016: 5-6) 1-8.
- [144] Kondás Béla. Autóipari hatások a hengerelt acéltermékek európai kínálatára. BKL Kohászat 153 (2020: 1) 7-11.
- [145] Tisza Miklós. Autóipari acélanyagok fejlesztési irányzatai. BKL Kohászat 153 (2020: 2) 1-9 és 153 (2020: 3) 1-8.
- [146] Kőszegi Szilvia, Szépvölgyi János, Bereczki Péter. Új, piacképes hengerelt alumí-niumtermékek technológiájának fejlesztése az Arconic-Köfém Mill Products Hungary Kft. és kiemelkedő hazai felsőoktatási K+F intézmények együttműködésében. BKL Kohászat 153 (2020: 2) 22-27.
- [147] Szombatfalvy Anna, Majoros Csaba. A Csaba Metál fejlesztési stratégiája a fenn-tartható üzleti sikerért. BKL Kohászat 153 (2020: 3) 68-70.
- [148] Svéda Mária, Kálazi Zoltán, Buza Gábor, Roósz András. Lézersugaras felületkezeléssel létrehozott monotektikus felületi rétegek geometriai jellemzői. BKL Kohászat 142 (2009: 3) 33-37.
- [149] Buza Gábor. Funkcionális felületek létrehozása lézersugárral. Acta Periodica (Edutus) 13 (2017) 15-22.
- [150] Kovács Zsolt Ferenc, Béres Gábor, Weltsch Zoltán. Autóipari DC és DP acélok lézersugaras hegeszthetőségének vizsgálata. Gradus 4 (2017: 2) 311-317.
- [151] Meszlényi György, Bitay Enikő. Az egyimpulzusos lézersugaras fúrás folyamatának elemzése. BKL Kohászat 151 (2018: 5-6) 40-44.
- [152] Berczeli Miklós, Weltsch Zoltán. Plazma- és lézersugárral felületkezelt anyagok topográfiai elemzésének lehetőségei. Gradus 6 (2019: 1) 175-184.
- [153] Juhász Gergely, Berczeli Miklós, Barna Gábor, Weltsch Zoltán. Határfelületek ragasztási tulajdonságainak változása légköri nyomású plazma felületkezelés hatására. Gradus 6 (2019: 1) 167-174.
- [154] Tajti Ferenc, Berczeli Miklós, Weltsch Zoltán. Nagyszilárdságú járműipari acél nedvesedési tulajdonságainak javítása lézersugaras felületkezeléssel. Gradus 6 (2019: 1) 142-147.
- [155] Buza Gábor, Maloveczky Anna, Filep Ádám. Gömbgrafitos öntöttvas lézersugaras felületmódosítása és a réteg belső feszültsége. BKL Kohászat 152 (2020: 3) 13-19.
- [156] Maloveczky Anna, Windisch Márk, Szabó Dávid, Buza Gábor, Ugi Dávid. Mikrooszlopok előfaragása szilícium egykristály mintán femtoszekundomos lézer segítségével. Anyagvizsgálók Lapja (2020: I) 25-27.
- [157] Windisch M., Buza G., Maloveczky A., Vida Á., Selemczy D., Dankházi Z.: Szilícium felületkezelése femtoszekundomos lézerrel. Anyagvizsgálók Lapja (2020: I) 28-30.
- [158] Szőri Milán, Jójárt Balázs, Viskolcz Béla. Szerveződő kémiai rendszerek számítása. Magyar Kémikusok Lapja, LXX (2015: 5) 153-157.
- [159] Kalácska J., Velkiné Pásztor M., Zippenfénig Z., Szűcs A., Száraz A., Szikra I., Farkas L., Kupainé Karsai I., Bendly M., Velki I. Eljárás szerves peroxidok nagy kapacitású, folyamatos, biztonságos előállítására. Magyar szabadalom P0700606 (2007).
- [160] Tóth A. J., Rózsavölgyi B., Haszon B., Kovács A., Haáz E., Solti Sz., Mizsey P. Ártalmatlanítási eljárások kőolajiparban keletkező MEROX lúgokra. Körforgásos Gazdaság és Környezetvédelem 1 (2017: 2) 5-20.
- [161] Károly Gyula, Tardy Pál, Szélig Árpád, Szabó Andrea, El Ghazaly Szaid. Az argonos átöblítés hatékonyságának szerepe az acélok tisztaságának javításában. BKL Kohászat 140 (2007: 3) 1-6.
- [162] Harcsik Béla, Károly Gyula. A kagylószűkítések mértékének csökkenthetősége szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált acélokban. BKL Kohászat 144 (2011: 5) 1-5.
- [163] Farkas Ottó, Móger Róbert, Csepeli Zolt, Magyar Zsuzsanna. A nagyolvasztói fúvóforma-eróziós folyamatok körülményeinek vizsgálata. BKL Kohászat (2013: 3) 1-7.
- [164] Farkas Ottó, Farkasné Mayr Klára, Harcsik Béla. A koks kemencégáz nagyolvasztókoksztól részlegesen helyettesítő képessége. BKL Kohászat 151 (2018: 5-6) 1-6.
- [165] Harangi Zoltán, Kékesi Tamás. Forrasztási ónhulladék olvasztásából származó ón-dioxidos felzék átalakítása karbotermikus redukcióval és maronátrons ömlesztéssel. BKL Kohászat 147 (2014: 2) 57-60.
- [166] Kékesi Tamás. Ólommentes forrasztási ónhulladék teljes feldolgozása rugalmas és környezetbarát módszerrel. BKL Kohászat 148 (2015: 3) 22-29.
- [167] László Noémi, Kékesi Tamás. Másodnyersanyagok feldolgozása hidrometallurgiai módszerekkel cink kinyerése céljából. BKL Kohászat 149 (2016: 2) 16-19.
- [168] Hegedűs Balázs, Kékesi Tamás. Lehetőség az alumínium olvasztási salakok megfeldolgozása maradványainak hidrometallurgiai kezelésére. BKL Kohászat 151 (2018: 1) 29-35.
- [169] Fuchs Erik, Roósz András, Buza Gábor. Módosított eljárás öntvényeknek, főként a földnél kisebb gravitációs erőterben való készítésére. Magyar Szabadalom P8501226 (1985).
- [170] Roósz András. Részvétel a BEALUCA űr-anyagtudományi kísérletekben. In: Berkő Péter, Szabó-Tóth Kinga, Patkó Gyula (szerk.) Te mit tettél hozzá? Miskolc, MAB (2018) 115-117.
- [171] Babcsán Norbert. Űrsör fémhabbal. Galaktika (2006 december) 74-75.
- [172] Bárczy Pál, Jancsó Tamás: Földmegfigyelés. Technika magazin (2015 február).

- [173] Bárczy Pál, Bárczy Tamás, Szőke János. Hazai részvétel a Sentinel programban, *Haditechnika* LIII (2019: 4) 54-57.
- [174] Beke Dezső, Bakker Hans. Nanokristályos anyagok. *Fizikai Szemle* 43 (1993: 8) 307-310.
- [175] Beke Dezső. Nanofizika és nanotechnológia. *Fizikai Szemle* 46 (1996: 2) 51-59.
- [176] Gyulai József. A nanotudomány helyzete. *Magyar Kémikusok Lapja* 56 (2001) 169-173.
- [177] Gyulai József. Nanotechnológia – az átalakulások tudománya. *Magyar Tudomány* 48 (2003: 9) 1076-1082.
- [178] Gyulai József. A részecskegyorsítóktól a nanotechnológiáig. *Fizikai Szemle* 53 (2003) 54-57.
- [179] Gábor Tamás, Kármánné Herr Franciska, Sytchev Jaroszláv, Kaptay György, Kálmán Erika. Sólóvadék elektrokémiai szintézissel előállított karbon nanocsövek extrakciója és jellemzése. *BKL Kohászat* 140 (2007: 2) 43-50.
- [180] Gyulai József. Nanotudomány, nanotechnológia. *Fizikai Szemle* 57 (2007: 4) 71-73.
- [181] Kaptay György, Krállics György. A nanotechnológia acélipari perpektívái. *ISD Dunaferr Műszaki Gazdasági Közlemények* XLVII (2007: 3) 111-116.
- [182] Csanády Andrásné, Kálmán Erika, Konczos Géza. Bevezetés a Nanoszerkezetű anyagok világába, Budapest, Magyarország: ELTE Eötvös Kiadó, (2009) 13-20.
- [183] Hargitai Hajnalka, Dogossy Gábor, Sági Erik, Ibriksz Tamás, Stifter János. Műanyag nanokompozitok előállítása és vizsgálata. *Magyar Tudomány* 173 (2012: 7) 4-14.
- [184] Gyulai József. A mikro- és a nanovilág az anyagtudományok tükrében. *Természet Világa* 144 (2013: 11) 483-485.
- [185] Horváth Ákos, Balázs Katalin, Balázs Csaba. Nanoszerkezetű ODS acélfejlesztés Magyarországon. *Nukleon* 9 (2016) 199 (5 pp).
- [186] Halász István Zoltán, Hajdu Sándor Mihály, Bárány Tamás, Karger-Kocsis József. Újfajta nanoerősítőanyagokkal töltött elasztomer-mátrixú nanokompozitok. *Polimerek* 2 (2016) 170-174.
- [187] Gyulai József. Ionsugaras technikáktól a nanoszerkezetekig. *Fizikai Szemle* 68 (2018: 1) 3-8.
- [188] Kaptay György. A Kelvin-féle görbület kontra a Gibbs-féle felület: a nano-termodinamika két paradigmája. *Magyar Kémiai Folyóirat* 124 (2018) 177-182.
- [189] Biró László Péter, Kertész Krisztián, Piszter Gábor, Horváth Zsolt Endre, Bálint Zsolt. Anyagtudósok kalandozása a biológiában: A lepkék szárnyainak szerkezeti színei. *Acta Mater Transyl* 2 (2019: 2) 69-72.
- [190] Trampus Péter. A reaktortartály biztonságának elemzése. *Fizikai Szemle* (2008: 9) 287-292.
- [191] Nagy Norbert, Deák András, Hórvölgyi Zoltán, Bársony, István. Eljárás maszk kialakítására görbült felületű test felületén és alkalmazásával felületi struktúra létrehozása orvosi implantátumon. *Magyar szabadalom* P0900530 (2009).
- [192] Babcsánné Kiss J., Sóki P., Blaskovics F., Számel Gy., Tóth L., Beke S., Babcsán N. Fémhabok fejlesztése csontbarát ortopéd implantátumok gyártása céljából, *BKL Kohászat* 145 (2012: 1) 61-64.
- [193] Litauszki Katalin, Kmetty Ákos, Bárány Tamás. Politejsav alapú bio-habok fejlesztése expandálható mikrokapszula felhasználásával. *Polimerek* 4, 316-321 (2018)
- [194] Kemény Dávid Miklós, Károly Dóra. Additívan gyártott fém alapanyagok és orvostechikai eszközök korróziójának vizsgálata. *Acta Mater Transyl* 1 (2018: 2) 81-84.
- [195] Horicsányi Krisztina, Asztalos Lilla, Károly Dóra, Fazakas Éva. A tágitási nyomás hatása a koszorúérszterek bevonatára és korróziós tulajdonságaira. *Acta Mater Transyl* 1 (2018: 1) 37-40.
- [196] Kónya János, Kulcsár Klaudia. Additív gyártással készülő egyéni implantátumok lézeres mikrohegesztésének vizsgálata. *Acta Mater Transyl* 2 (2019: 1) 32-42.
- [197] Asztalos Lilla, Horicsányi Krisztina. Hatóanyag-kibocsátó koszorúérszterek bevonatának vizsgálata. *Acta Mater Transyl* 2 (2019: 2) 73-78.
- [198] Mádainé Üveges Valéria, Bokányi Ljudmilla. Fémek kinyerése elektronikai hulladékokból bioszolubilizációval. *BKL Kohászat* 153 (2020: 3) 35-40.
- [199] Mertinger Valéria: Új dimenzió az anyagvizsgálatban, szolgáltatásban, kutatásban. *BKL Kohászat* 152 (2019: 5-6) 35-36.
- [200] Bárczy P., Buza G., Czel Gy., Fancsali J., Makk P., Raffay Cs., Roósz A., Tolvaj B. Berendezés irányított kristályosítás végzésére úrvizonyok között. *Magyar szabadalom* 1254/91 (1991).
- [201] Kun Krisztián, Miskolczi István, Fodor Antal. 3D nyomtató építése és fejlesztése. *Gradus* 2 (2015: 2) 152-159.
- [202] Nagy András, Némedi Imre. Mágneses anyagvizsgáló berendezés fejlesztése. *Acta Mater Transyl* 3 (2020: 1) 33-37.
- [203] Lenkeyné Biró Gyöngyvér, Balogh Zsolt, Tóth László, Harmati István. Végeselem-módszer alkalmazása csővezetékben lévő korróziós hibák veszélyességének értékelésére, *Anyagvizsgálók Lapja*, 13 (2003: 1) 1-3.
- [204] Bereczki Péter, Fehér Jánosné, Bézi Zoltán, Kóti Dániel: EN AW-8006-os alumíniumötvözet melegen hengerelt szemcseszerkezetének optimalizálása végeselemes és fizikai szimuláció alkalmazásával. *BKL Kohászat* 152 (2019: 1) 20-26.
- [205] Bubonyi Tamás, Barkóczy Péter. Kristálytani változások szimulációja egydimenziós sejtautomata segítségével. *BKL Kohászat* 151 (2018: 3) 32-34.
- [206] Balogh Bence, Kovács Péter Zoltán, Szávai Szabolcs. Digimat AM modul vizsgálata FFF additív eljárás esetén. *Anyagvizsgálók Lapja* (2020: 1) 71-73.
- [207] Sebestyén János. Az alumíniumprofil-sajtolás számítógépes támogatása. *BKL Kohászat* 151 (2018: 3) 26-29.

- [208] Szilágyi Katalin, Zsigdovics István, Szautner Csaba. Történeti habarcsok datálási lehetőségei - a „hidraulikus tényező”. Építőanyag 59 (2007: 4) 111-113.
- [209] Török Béla: Archeometallurgia és/vagy archeometria – összhang és egyedi vonatkozások az ARGUM projektjeinek tükrében. Archeometriai Műhely XII (2015: 1) 7-13.
- [210] Török Béla, Kovács Árpád, Barkóczy Péter, Kristály Ferenc. Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai. Archeometriai Műhely X (2013: 1) 23-32.
- [211] Csanády Bodoky Á., Gábor J., Jenei P., Gubicza J., Szabó P. J., Fábán R., Radnóczy Gy., Tóth A. L., Langer G., Krafcsik O., Verő B. Ganz Ábrahám vasúti kerekeinek titka anyagtudományi vizsgálatok tükrében, BKL Kohászat 148 (2015: 6) 37-43.
- [212] Török B., Barkóczy P., Kovács Á., Kristály F., Bánhidi O., Kreiter A., Skriba P., Pető Á., Gyulai F., Saláta D. Avarkori vasművesség az interdiszciplináris kutatások tükrében – Zamárdi-Kútvölgy és Kaposvárfészlerlak leleteinek archeometriai vizsgálatai. Archeometriai Műhely XIV (2017: 3) 185-202.
- [213] Bitay Enikő, Kacsó Irén, Pánczél Szilamér Péter, Veress Erzsébet. A mikházi római segédcapattábor és település területén feltárt római kori vassalakok összehasonlító vizsgálata. Acta Mater Transyl 1 (2018: 2) 65-72.
- [214] Török B., Barkóczy P., Kovács Á., Költő L., Fehér A., Szőke B.M. Pannóniai koraközépkori ékelt vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálat. BKL Kohászat 151 (2018: 3) 1-3.
- [215] Bitay Enikő, Márton László, Talpas János. A csikmadarasi vasgyártásból visszamaradt leletek anyagszerkezeti vizsgálata. Acta Mater Transyl 2 (2019: 2) 79-86.
- [216] Fehér András. A magyar Szent Korona fémtani tulajdonságainak értékelés. BKL Kohászat 153 (2020: 2) 38-41.
- [217] Györke R., Szórádi S., Márkus G., Nagy A., Török B., Török T. I. Nagylózs, Szentpéteri-dűlő 6. századi temetőjéből származó nemesfém leletegyüttes felületkezelésének metallurgiai vonatkozása. BKL Kohászat 153 (2020: 3) 63-67.
- [218] Kaptay György, Csepeli György. Szegregáció oldatokban és társadalmakban. Magyar Tudomány (2017: 9) 1132-1143.

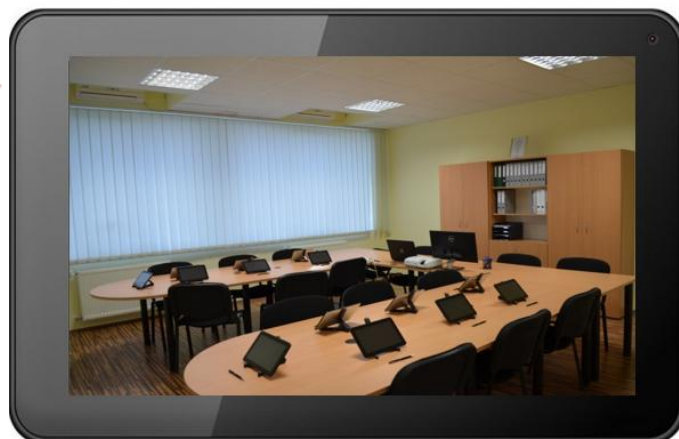
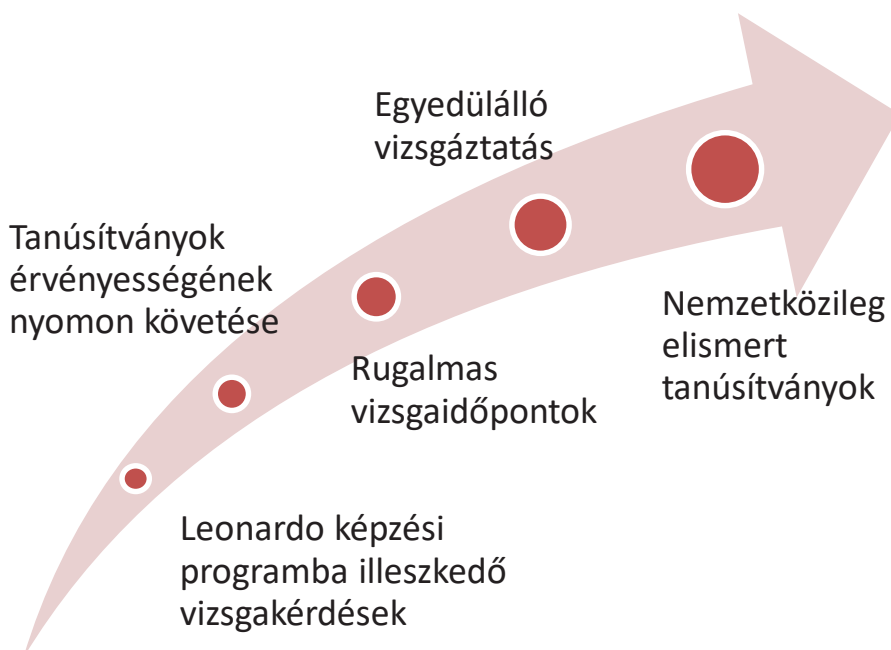


M A R O V I S Z

Személytanúsítási Iroda



Személytanúsítási
rendszer



www.szemelytanusitas.hu

+36 20 362 2508; +36 20 362 2906

info@szemelytanusitas.hu

KÖNYVISMERTETŐ

Hargittai Balázs: Négyszemközt a tudománnyal

Válogatás Hargittai István írásaiból

Ha valaki felüti az Akadémiai Kiadó által 2020-ban megjelentett könyv tartalomjegyzékét, akkor önkéntelenül is felteszi azt a kérdést, hogy „mi köze van e könyvnek a roncsolásos, vagy roncsolásmentes anyagvizsgálathoz”? Ez még élesebben tehető fel, ha például a „Tudósportrék” fejezet névsorára tekintünk. Igaz, hogy a harmadik fejezet Teller Edével és tevékenységével foglalkozik, akinek magyarországi útjaival, munkájával mind Pakson, mind Debrecenben sokan foglalkoztak, foglalkoznak napjainkban is mind az anyagvizsgálat szakavatottjai, mind pedig a „hétköznapi emberek”. A „könyvismertetés” elkészítését egyrészt a cím „tudománnyal”, másrészt a könyv negyedik fejezetének „Tudománytörténet” kifejezései sugallták a személyes motiváció mellett. Az **objektív motivációt** igazolandó, hogy a legutóbbi és a mostani lapszámban éppen az „anyag”- „anyagtudomány”- „anyagtechnológia” tudományosan megalapozható definíciója kapcsán alakult ki egy vitafórum. Hogy ennek mi lesz a konccenzusos vége? Ez nehezen megjósolható. Azonban az biztos, hogy elindult a közös gondolkodás és ez folyik. Eredmény pedig várható.

A szubjektív motiváció pedig a mintegy két évtizedre tekint vissza. A Magyar Tudományos Akadémia Miskolci Területi Bizottságában az Akadémiai Klub vezetésére kaptam megbízást 2000-ben. Ebben az időszakban került a kezembe Hargittai István „Életeink. Egy tudományos kutató találkozása a századdal” című 2003-ban megjelent könyve. Ajánlását Göncz Árpád Köztársasági Elnökünk írta kedves, elismerő szavaival. Előadását Miskolcon 2003. október 30-án ugyanezen címmel tartotta. Őszintén be kell vallanom, hogy a világot átformáló tudományterületek történetével kapcsolatos korábbi, nehezen csillapítható szomjúságomat további könyvek, a Magyar Tudomány havilapban közölt cikkei hathatósan oltották, mert hitelesen, személyes kapcsolatokon, interjúkon nyugvó tényekkel alátámasztottan – de mégis elbeszélő stílusban mutatja be a világraszóló elmék felfedezéseit, azok emberi, mindennapi életével együtt. „Könyveinek egyetlen hibája, hogy az olvasó nem tudja letenni”- írja



Vizi E. Szilveszter. Ezt csak megerősíteni tudom! Így nem is próbálok részletekbe bocsátkozni. Inkább csak a család „tudománytörténeti vénájára” szeretnék nagyon röviden utalni. Felesége, Hargittai Magdolna ugyancsak az MTA rendes tagja. Könyveiben – legyen az férjével közösen írt is – felrejjük a „női finomságra, részletességre” törekvő stílus. A család legfiatalabb tagja, Balázs az Egyesült Államokban él, a Saint Francis University (Szent Ferenc Egyetem) kutató professzora (<https://www.francis.edu/balazs-hargittai/>)

ugyancsak a családi hagyományok megbízható folytatója. A Miskolci Egyetemen („lánykori nevén a Nehézipari Műszaki Egyetemen) végzett tudománytörténész barátom, Varga János a Hargittai családot joggal ruházza fel „Tudománytörténet családi vállalkozásban” címmel.

No de térjünk vissza a bemutatandó könyvre, amely egy válogatás, Hargittai István különböző folyóiratokban megjelent írásaiból. Hogy milyen időhorizontra terjed ki e válogatás? Pillantsunk a fedlap jobb- vagy baloldali fényképére. A jobboldalon a fiatal Hargittai István, a baloldalon Wigner Jenő (1902-1995) látható. A közös fénykép 1969-ben készült a Texasi Egyetemen.

A könyv tartalomjegyzékére már hivatkoztam röviden az ismertetőm elején. Most a befejezéshez közeledve ide térek vissza annak érzékeltetésére, hogy mire számíthat a Tisztelt Olvasó akkor, ha kinyitja a könyvet. A kíváncsiság előzetes felkeltésére csupán neveket és témákat sorolok: Wigner Jenő, Francis Crick (DNS), Szilárd Leó, Enrico Fermi, Lev Landau, Balázs Endre, Polányi Mihály, Klein György, Oláh György, James D. Watson (DNS), Teller Ede, Arthur Koester, Dimitrij Mengyelejev, Dan Shechtman (kvázikristályok), Richard Henderson, Nobel-díj és környezete, Nobel-citromdíj, ...

Bízom abban, hogy sikerült érzékeltetnem egy olyan forrást, amely kellően „bő vízhozamú és tiszta vizet szolgáltat” a tudománytörténet iránt érdeklődők szomjának hathatós oltására.



Legyen Ön is a partnerünk! Vegye igénybe szolgáltatásainkat!

Fővállalkozás | Gépkarbantartás | Diagnosztika | Anyagvizsgálat

Fővállalkozás / Beruházás / Rekonstrukció

Fővállalkozás

Kiserőmű építése, ipari nagy berendezések, üzemek, üzemszerek megépítése "kulcsra kész" fővállalkozásban (tervezés, beszerzés, kivitelezés).

Beruházás

Vegyipari, petrokémiai-, olaj- és gázipari, víz- és szennyvízipari és energetikai vállalatok, főként gépészeti jellegű beruházási, bővítési, modernizálási, energia hasznosítási projektek megvalósítása.

Rekonstrukció / Karbantartás

Gépek, gép csoportok, üzemek, üzemszerek teljeskörű felújítása, és gépészeti karbantartási tevékenységek ellátása.

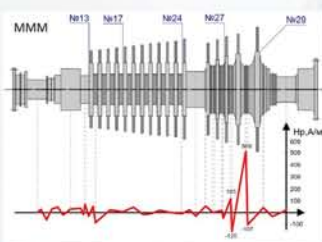


Akkreditált Diagnosztika és Anyagvizsgáló Laboratórium

Anyagvizsgálat

Helyszíni roncsolásmentes anyagvizsgálatok (VT, MT, PT, LT, UT, MMM).

Berendezések teljeskörű átvizsgálása (nyomástartó edények, tartályok, forgógépek elemei stb.).



Gépdiagnosztika

Évente több mint 3000 forgógép rendszeres vizsgálata - rezgésmérés, spektrumelemzés, csapágyállapot vizsgálat, motoráram diagnosztika, hőkamerás vizsgálat, rezonancia kimérés.

Gépszerelés / Karbantartás

Gépszerelés - forgógépek és statikus berendezések telepítése, szerelése, karbantartása, javítása, felújítása.



Kirendeltségeink

Budapest

1138 Budapest, Váci út 152-156.

Százhalombatta

2442 Százhalombatta, Olajmunkás u. 2.

Tiszaújváros

3581 Tiszaújváros, TVK Ipartelep

Elérhetőségeink

✉ tlw@tlw.hu

☎ (+36 1) 266 1725

🌐 tlw.hu

Szakértelemmel, Felelősséggel a Minőségért és Környezetünkért!

Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség

TANFOLYAMI KÉZIKÖNYVEK

