

Anyagvizsgálók Lapja

Az Ország vezető szaklapja

XIV. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS



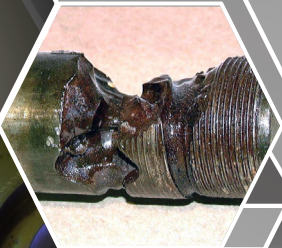
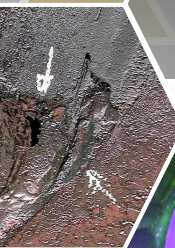
A lap kiemelt
támogatója:



Magyar Roncsolásmentes
Vizsgálati Szövetség



MOL Károsodási
archívum
2. rész



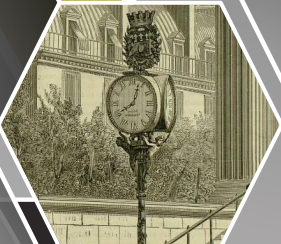
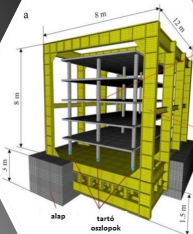
Technikatörténeti
sorozatunk:
„Az idő lassan
elszívárog...”



RAKK 2025:
• beszámoló
• MAROVISZ Díj
kitüntetés: Skopál István

**Szakmai
cikkeink:**

- Vasbeton szerkezetek AE vizsgálatai
- Települési hulladék vizsgálatai
- Keménységmérés



2025/I-II.
lapszám

XIV. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS



1. NAP képekben



Beszámoló a 20. oldalon!

Mélyen tisztelt Olvasóim!



Őszintén be kell vallanom, hogy hosszú ideig halogattam a lapszámot beköszöntő gondolataim megírását. Ezt természetes emberi reagálásnak tekintem akkor, ha túlsúlyban vannak a negatív érzéseket sugalló események, amelyeket fel kell dolgoznunk.

A nem csupán szűk családi kört, de a tág szakmai közösséget érintő szomorú hír, kiadónk, a MAROVISZ elnökének Prof. Dr. habil. Trampus Péter bekövetkezett tragikus halála 2025. április 12-én. Egyetlen nappal korábban még a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék könyvtárában az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. által létrehozott Gépészeti Szakértői Testülete tárgyalta a További Üzemidő-Hosszabbításhoz kötődő szakmai dokumentumokat Trampus Péter vezetésével. Hogy mennyire is meghatározó szerepe „volt/van máig is” egy hazai és nemzetközi téren is jelentős szakembernek, arról a lapszámban megtalálható nekrológból is tájékozódni lehet még akkor is, ha az személyes ismeretek hiányában nem terjedhet ki minden részletre.

Trampus Péter váratlan halála megrendítette nemcsak a szakmát, hanem mindazokat is, akik ismerték, együtt dolgoztak vele, vagy csak egyszer találkoztak a nevével. Az ő elvesztése olyan hirtelen és mélyen hatott ránk, hogy szükségszerűen mindannyian megálltunk egy pillanatra — gondolatban, munkában, léleken. Ez a megállás most az Anyagvizsgálók Lapja megjelenésében is tükröződik: az eredetileg tervezett lapszám késik. Döntésünk értelmében, figyelembe véve a volt RAKK konferencia eseményeit és a körülményeket, összevont számmal jelentkezünk – nemcsak az elmaradt tartalmak pótlásáért, hanem azért is, hogy méltón és tartalmasan reflektáljunk egy különösen nehéz időszakra.

Tudom, hogy az élet – legyen az szakmai, avagy privát – nem „fekete” vagy „fehér”, így említést kell tennem az örömteli pillanatokról is. Egerben március 25-27. között rendezte meg a MAROVISZ a szokásos seregszemléjét. Aki nem vett részt ezen, annak javaslom, hogy tekintse meg honlapját, az ott látható programot, fényképeket és a résztvevők szemeit. Ez utóbbiakból nem nehéz a sikerekre és kellemes pillanatokra gondolni.

Ugyancsak örömteli hír az is, hogy a fizikus alapképzettségű Skopál István munkásságát nem csupán a Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgáló Bizottság (ICNDT) ismerte el, hanem a 2025. évi MAROVISZ Díjat is átvehette Egerben. A vele készített interjú egyben betekintést enged tenni az 1970-80-as évek nemzetközileg elismert hazai volfrám kutatásokba is. Laczik Bálint érdekesítő és egyben nagyon olvasmányos írásából viszont áttekintést kaphatunk az idő mérésének legkülönbözőbb technikai, műszaki megoldásairól. Biztosan minden Tisztelt Olvasó találni fog neki leginkább tetsző, egzotikus megoldást az idő múlásának megjelenítésre. Somogyi Sándor rovatában több évtizedes tapasztalatait teszi közkinccsé a hegesztési eljárástípusok és a személyzet tanúsítás kapcsán.

Visszatérve a bevezető soraimhoz, a 2025. évi RAKK rendezvény volt az utolsó, amelyet Trampus Péter nyithatott meg. Tragikus távozásával a MAROVISZ közösségére is nehezen megoldható szakmai, szervezési örökséget hagyott a hazailag és nemzetközileg is elismert kiemelkedő munkásságával.

Tisztelt Elnökünk, Felelős Kiadónk, Trampus Péter Úr,
Kedves Péter!

Nyugodj békében!

Tóth László
felelős szerkesztő



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgáló Szövetség
(MAROVISZ) kiadványa,

az ország vezető szaklapja.

Alapítva: 1991-ben.

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

Kiadó:

Magyar Roncsolásmentes Vizsgáló Szövetség

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

tel.: +36 1 / 278 0632;

fax: +36 1 / 278 0633;

e-mail: marovisz@marovisz.hu

Szerkesztőség:

felelős szerkesztő: Dr. Tóth László

tel.: +36 30 932 2690

e-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

avilap.szerk@gmail.com

Szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Tóth László (felelős szerkesztő)

Dr. Trampus Péter / Dr. Gémes György András (felelős kiadó)

Dr. Dudra Judit (főszerkesztő)

Erdei Réka (digitális szerkesztő)

Hazai szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Divós Ferenc

Fodor Olivér

Kecskés Péter

Dr. Koncsik Zsuzsanna

Dr. Laczik Bálint

Lutor Attila

Dr. Mankovits Tamás

Dr. Németh Tibor

Skopál István

Dr. Somogyi Sándor

Dr. Spisák Bernadett

Szűcs Pál

Nemzetközi szerkesztőbizottsági tagok:

Dr. Bitay Enikő (Románia)

Dr. Djorde Dobi (Szerbia)

Dr. Dusza János (Szlovákia)

Dr. Kristián Máthás (Cseh Köztársaság)

Dr. Major Zoltán (Ausztria)

Az Anyagvizsgálók Lapja honlapja:

www.anyagvizsgaloklapja.hu



JEGYZET – NOTE

TÓTH László	3
Jegyzet	
Note	

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS (MINŐSÉG, MEGBÍZHATÓSÁG)

SOMOGYI Sándor	5
Eljárásvizsgálatok és személyzet tanúsítás	
Qualification of procedures and personnel	

ANYAG, ANYAGSZERKEZET – MATERIAL, MATERIAL STRUCTURE

Gabriella VARGA, Feten CHIHI, Qusai ALHONATI, János SZENDEFY	7
Geotechnical Aspects of MSW Material Testing	
A települési szilárdhulladék (MSW) anyagvizsgálat geotechnikai vonatkozásai	

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK – NON-DESTRUCTIVE TESTING

NAGY Attila Gábor, GÉMES György András	12
Akusztiikus emisszióval (AE) történő korróziós folyamatok és vasbetonszerkezetek vizsgálata	
Investigation of corrosion processes and reinforced concrete structures using acoustic emission (AE)	

MECHANIKAI VIZSGÁLATOK - MECHANICAL TESTING

KULCSÁR Benedek, SZÁVAI Szabolcs	18
Keményység, mint alakítási munka	
Hardness as the work of indentation	

HÍREK – NEWS

JUHÁSZ-ERDEI Réka, GÉMES György András	26
XIV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás beszámolója	
Report of the XIV Non- destructive Materials Testing Conference and Exhibition	
TRAMPUS Péter†, TÓTH László, JUHÁSZ-ERDEI Réka, DUDRA Judit, ZSÍROS Zsombor József	28
Szakmai szervezetek, egyesületek, szövetségek, tagok, képviselők – Mit tudunk nyújtani jelenleg a MAROVIOSZ és MAE tagjainak?	
Professional organisations, associations, federations, members, representatives - What can we currently offer MAROVIOSZ and MAE members?	
SKOPÁL István	30
Szabványügyi tájékoztató – 2024	
Standardisation information – 2024	

PORTRÉ – PORTRAIT

TÓTH László	31
Beszélgetés a 2025. évi MAROVISZ Díjassal, Skopál Istvánnal	
Interview with the 2025 MAROVISZ Prize winner, István Skopál	

NEKROLÓG – OBITUARY

TÓTH László	34
Trampus Péter (1947-2025)	

ÉRDEKESSÉGEK – POINT OF INTEREST

LACZIK Bálint	39
„Az idő lassan elszivárog...”	
„Time's slow seeping will never stop...”	
KOCSIS-GALUSKA Anna, JOÓ Gyula	43
MOL Petrolkémia Zrt. Meghibásodási Archívuma – 2. rész	
MOL Petrochemicals Ltd. Failure Archive – Part 2	
Keresztrejtvény - Crossword	46

Eljárásvizsgálatok és személyzet tanúsítás

Qualification of procedures and personnel

A „tevékenység orientált” minőségbiztosítási programok létrehozása, tervezése és megvalósítása során különösen fontos a tervezett tevékenységekre vonatkozó műszaki követelmények figyelembevétele. A programnak biztosítania kell a minőséget befolyásoló tevékenységek megtervezését és szabályozott körülmények közötti végrehajtását.

A nyomástartó berendezések és nukleáris anyagok gyártásánál meghatározó jelentőségű 'speciális műveleteket' (hegesztés, hőkezelés, anyagvizsgálat) megfelelően képzett és tanúsított személyzet végezheti, minősített és dokumentált technológiai (eljárás) utasítások szerint. Hasonlóan, de általánosabban fogalmaztak a PED 2014/68 Irányelvben:

„A nyomástartó berendezések esetében a készülék nyomásállóságához hozzájáruló, illetve a berendezéshez közvetlenül csatlakozó szerkezeti elemek állandó kötéseit megfelelően képzett személyzet kivitelezzi a megfelelő üzemi eljárások szerint”.

1. rész. A hegesztéstechnológia minősítése

A hegesztéstechnológia, pontosabban a hegesztési utasítás minősítésének célja annak bizonyítása, hogy az adott berendezéshez vagy szerkezethez rendelt technológia alkalmas az előírt mechanikai tulajdonságokkal rendelkező hegesztett kötés létrehozására.

A minősítést vagy eljárásvizsgálatot leggyakrabban két, egymástól eltérő megközelítést alkalmazó szabályzat, illetve szabvány szerint végzik. Ezek az ASME IX. kötet¹ és az EN ISO 15614-1:2017². Az eljárásvizsgálat megkezdése előtt tisztázni kell a hegesztési utasítás tervezett alkalmazásának felételeit. Nyomástartó berendezések esetén figyelembe kell venni a vonatkozó ASME szabályzat, illetve PED irányelv követelményeit.

Az ASME IX szerinti hegesztéstechnológiai eljárásutasításokat széles körben alkalmazzák olyan berendezésekhez is, melyeket nem tanúsítanak a szabályzat szerint, tehát nem látják el tanúsítási jelöléssel, ASME adattáblával vagy bélyegzéssel. A tanúsított berendezéseknél az eljárásvizsgálat és tanúsítás a gyártó felelőssége. Más esetekben a berendezésre vonatkozó szabvány, vevői specifikáció vagy szerződés szerint kell az eljárásvizsgálatot lefolytatni és a hegesztési utasítást jóváhagyni. Az ASME IX egyike az úgynevezett „konstrukciós” kötetek által behívott „hivatkozott” köteteknek. A konstrukciós kötetek – ilyenek a kazánok (I. és IV. kötet), illetve a nyomástartó edények (III., VIII. és XII. kötet) szabályzatai – teszik kötelezővé a hivatkozott kötetek vonatkozó előírásainak alkalmazását.

Az ASME IX. kötet összesíti a hegesztés (QW), forrasztás (QB) és műanyag hegesztés (QF) technológiai eljárásutasítások és a személyzet minősítési és tanúsítási szabályait és követelményeit gyakorlatilag bármilyen, a

gyártás során alkalmazott fém és műanyag esetén.

Az EN ISO 15614-1:2017 harmonizált szabványként alkalmazható a PED 2014/68 és 2014/29 irányelvek hatálya alá tartozó nyomástartó berendezések hegesztéséhez. A szabványsorozat 1. része csak acélok ív- és lánghegesztésére, valamint nikkel és ötvözetek ívhegesztésére terjed ki, annak további részei vonatkoznak más anyagokra és hegesztési eljárásokra. A PED 2014/68 harmonizált szabvány listáján jelenleg az 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 és 11 számú részek, míg a PED 2014/29 listáján csak az 1 és 2 részek szerepelnek.

Jelen cikk csak az EN ISO 15614-1 és az ASME IX összehasonlítására vállalkozik.

Az ASME szabályzatokban a meghatalmazott felügyelő (AI) feladatai közé tartozik annak ellenőrzése, hogy a hegesztési és forrasztási technológiákat és a hegesztőket, forrasztókat és gépkezelőket minősítették. Az eljárásvizsgálatok lefolytatása, a vizsgálati eredmények kiértékelése és dokumentálása, továbbá a hegesztési utasítások (WPS) jóváhagyása, a minősítési jegyzőkönyv (PQR) tanúsítása egyértelműen a gyártó feladata és felelőssége. A felügyelőnek bármikor jogában áll eljárásvizsgálatokat vagy hegesztő vizsgákat elrendelni és azokat felügyelni.

A PED szerint a II., III. és IV. kategóriába tartozó nyomástartó berendezések esetében az üzemi eljárásokat és a személyzetet egy független szervezet hagyja jóvá, amely a gyártó és/vagy a megrendelő választása alapján lehet: egy bejelentett szervezet vagy valamely tagállam által a 20. cikk rendelkezései szerint elismert független szervezet. E jóváhagyások végrehajtásához a független szervezet elvégzi vagy elvégezteti a megfelelő harmonizált szabványokban meghatározott, vagy azokkal egyenértékű ellenőrzéseket és vizsgálatokat. A szabvány PED alkalmazására két feladatot határoz meg a minősítő vagy tanúsító szervezet számára. A próbadarabok hegesztését a minősítő **személynek** vagy a tanúsító szervezetnek kell **ellenőriznie és igazolni**, továbbá a technológiai vizsgálat eredményeit tartalmazó minősítési jegyzőkönyvet (WPQR) a **minősítőnek** vagy tanúsító szervezetnek kell kelteznie és aláírnia.

Az előzőekben ismertetett, eltérő vizsgálati és tanúsítási hatáskör és felelősség jól tükrözi az ASME és PED filozófia közötti alapvető különbséget. Az ASME szabályzat szerint a nyomástartó berendezés gyártója egyértelmű felelősséggel tartozik az általa gyártott berendezésért. A felelősségi körébe beletartozik az anyag, tervezés, gyártás, vizsgálat, ellenőrzés, teszt, tanúsítás és túlnyomás elleni védelem.

A PED szerint a felelősség megoszlik a gyártó és különféle ún. „független” szervezetek, tehát a bejelentett (NoBo) és az elismert független (TPO) szervezetek között.

¹ ASME Section IX Welding, Brazing and Fusing Qualifications

² MSZ EN ISO 15614-1:2017 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkel és ötvözetek ívhegesztése

Az a követelmény, miszerint „a megfelelő harmonizált szabványokban meghatározott, vagy azokkal egyenértékű ellenőrzéseket és vizsgálatokat a független szervezet végzi” számomra egyrészt értelmezhetetlen, másrészt a gyártóval szemben megnyilvánuló bizalmatlanságot jelképezi.

A hegesztéstechnológia vizsgálatának és minősítésének célja annak bizonyítása, hogy az alkalmas az előírt mechanikai tulajdonságokkal rendelkező hegesztett kötés létrehozására.

Az ASME filozófia szerint mindig a szükséges és elégséges vizsgálatokat és ellenőrzéseket kell előírni és elvégezni, ezzel szemben az EN/ISO szabvány „agyonvizsgáltatja” a próbadarabot.

Megjegyzés: régen úgy tartottuk, hogy a minőséget nem lehet belevizsgálni a termékbe, azt bele kell gyártani...

Ahhoz, hogy meghatározzuk a hegesztett kötés, tehát a varrat, hőhatásövezet és az alapanyag mechanikai tulajdonságait, szakító és hajlító vizsgálatokat kell végezni. Ez az ASME IX szerinti szükséges és elégséges vizsgálat. Az EN/ISO szabványba ezt a vizsgálati szintet (1. szint) beemelték, de szükségesnek látták megjegyezni; „az 1. szint az ASME IX követelményein alapul, míg a 2. szint e dokumentum korábbi kiadásain”.

Nézzük miért mondtam azt, hogy az EN/ISO szabvány „agyonvizsgáltatja” a próbadarabot?

Az 1. szint (ASME) tompavarrat esetén mindössze szemrevételezést, két keresztirányú szakító és négy keresztirányú hajlító vizsgálatot kell végezni. A 2. szintre ezeken kívül teljes terjedelmű radiográfiai vagy ultrahangos és felületi repedésvizsgálatot, továbbá két sorozat ütőmunka vizsgálatot, keménységmérést és makró-szerkezet vizsgálatot ír elő.

A szabvány 2. táblázatának lábjegyzetei további iránymutatást adnak az ütőmunka vizsgálat szükségességének megítéléséhez. Az ASME IX az ütőmunka és ejtő vizsgálatokkal részleteiben nem foglalkozik, azok az ún. konstrukciós kötetek hatálya alá tartoznak (QW-170). Mindössze arra utalnak (QW-171.3) hogy a próbatesteket a próbadarab legnagyobb hőbevitelű szakaszából kell kimunkálni. Ezzel szemben ütőmunka követelmény esetén igen részletesen meghatározzák a hegesztési utasítás érvényességét a falvastagság függvényében.

Mindkét szabvány meghatározza a technológia érvényességi tartományát a hegesztési eljárásokra, anyagokra, hegesztési helyzetekre és az alkalmazott hegesztési paraméterekre. Az ASME ezeket a 'változókat' három csoportba sorolja. Az alapvető (lényeges) változók mindegyikéhez egy érvényességi tartomány tartozik. Az alapvető változó tartományon kívül eső megváltoztatásához a technológiát újra kell minősíteni. Az ASME IX emellett kiegészítő és nem alapvető változókat is azonosít. Kiegészítő változókat csak akkor kell figyelembe venni, ha a berendezésre, illetve a hegesztett kötésre szívóssági követelményeket és ennek megfelelően ütőmunka és/vagy ejtő próba vizsgálatokat ír elő a konstrukciós ASME kötet, pl. ASME III vagy VIII. A nem alapvető változók nem befolyásolják a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságait. Ennek ellenére ezeket is

érdemes dokumentálni az eljárásvizsgálat során, ugyanis fel kell tüntetni a WPS lapon és azokat be kell tartani a tényleges hegesztés során. Ezeken változtatni csak a WPS módosításával lehet, viszont nem kell a technológiát újraminősíteni.

Az ISO 15614 az 1. szintű követelményeknél néhány-szor ugyan használja a „nem alapvető változó” kifejezést, annak meghatározása nélkül. Ha egy változót nem tekintenek alapvetőnek, az egyszerűen nem jelenik meg a szabványban.

Az ASME IX minden hegesztési eljárásra jól áttekinthető táblázatban foglalja össze az egyes eljárásokhoz tartozó változókat, azok érvényességi tartományát vagy közvetlenül a táblázatban, vagy az adott fejezetben található részletes leírásra hivatkozva. Jelenleg a speciális alkalmazásokkal együtt, mint pl. a cső-csőfal hegesztés, mintegy húsz táblázatban határozták meg ezeket a változókat. Az ISO 15614 szerkesztői a szöveges leírást részesítették előnyben.

Jelen cikk terjedelme nem teszi lehetővé az említett változók tételes összehasonlítását.

Az EN/ISO szabvány csak arra utal, hogy az 1. szint az ASME IX követelményein alapul, míg a 2. szint e dokumentum korábbi kiadásain. Ez nem jelenti azt, hogy az 1. szint szerint lefolytatott eljárásvizsgálat automatikusan megfelel az ASME IX követelményeinek és elegendő információt tartalmaz egy ASME szerinti WPS minősítéséhez, illetve egy új WPS elkészítéséhez. Az 1. szintre vonatkozó vizsgálati követelmények és az érvényességi tartományok ugyan az ASME IX kötetből kerültek át a szabványba, de ezek az ún. változók ASME szerinti háromféle besorolásának ismerete nélkül nem mindig értelmezhetők.

Feltételezem, hogy emiatt került be az MSZ EN ISO 15614-1 nemzeti előszavába a következő magyarázat is;

„A szabvány 1. szintű követelményeihez tartozó A mellékletben közölt A- és F-szám szerinti osztályozást az ASME Section IX írja elő. Az A-szám szerint a hasonló kémiai összetételű varratfémek vannak csoportosítva, míg az F-szám szerint a hasonlóan (pl. azonos hegesztési helyzetekben) felhasználható hozaganyagok vannak csoportosítva. Mindkét csoportosítás lehetőséget teremt a WPS-ek számának csökkentésére.”

Megjegyzés:

Javaslom, a szabvány szövegével összhangban, a „vegyi” összetétel kifejezést a „kémiai” helyett. Az F-szám a hozaganyagok csoportosítása azon alkalmazhatósági tulajdonságai alapján, amelyek meghatározzák, hogy a hegesztő képes-e megfelelő varratot készíteni egy adott hozaganyaggal (ASME IX QW-431).

Az ASME IX szerinti hegesztéstechnológiai vizsgálati követelmények (részleges) beépítése az ISO szabványba a két eltérő filozófiájú előírásrendszer közelítésére irányuló, véleményem szerint gesztusértékű döntés volt. Sajnos bizonyos fókig félrevezető eredménnyel, mert arra a téves következtetésre vezetheti a szabvány alkalmazóit, hogy az 1. szint szerinti eljárásvizsgálat teljes mértékben megfelel az ASME IX követelményeinek.

Dr. Somogyi Sándor

Geotechnical Aspects of MSW Material Testing

A települési szilárdhulladék (MSW) anyagvizsgálat geotechnikai vonatkozásai Element Method

Gabriella Varga^a, Feten Chihi^b, Qusai Alhonati^c, János Szendefy^d

^aBudapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering, Department of Engineering Geology and Geotechnics, assistant professor, varga.gabriella@emk.bme.hu

^bBudapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering, Department of Engineering Geology and Geotechnics, PhD student, chihi.feten@emk.bme.hu

^cBudapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering, Department of Engineering Geology and Geotechnics, , PhD student, alhonati.qusai@emk.bme.hu

^dBudapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering, Department of Engineering Geology and Geotechnics, associate professor, szendefy.janos@emk.bme.hu

Kulcsszavak

települési szilárdhulladék (MSW),
hulladék összetétele,
lerakó stabilitása,
telítettség hatások,
nyíróvizsgálat

Absztrakt

A tanulmány a települési szilárdhulladék (MSW) geotechnikai viselkedését vizsgálja laboratóriumi eszközökkel, különböző lerakási mélységekből vett mintákon. A minták anyagminőségének meghatározását követően a nyírószilárdsági és víztartalmi értékek is meghatározásra kerültek. Az eredmények kétféle mechanikai viselkedést azonosítottak: szemcsés közeghez hasonló telítetlen, és kohézió-dominált telített zónákban. A nedvességtartalom és összetétel elemzése mélységtől függő eltéréseket mutatott, hangsúlyozva a telítettség hatásának figyelembevételét az állékonyágvizsgálatok során.

Keywords

Municipal Solid Waste (MSW),
Waste Composition,
Landfill Stability,
Saturation Effects,
Direct Shear Test

Abstract

The study investigates the geotechnical behavior of municipal solid waste (MSW) through laboratory tests on samples from different landfill depths. Based on the MSW classifications, shear parameters and moisture contents have also been determined. Results revealed two mechanical behavior groups: friction-dominated in unsaturated zones and cohesion-dominated in saturated zones. Moisture content and waste composition analyses confirmed depth-dependent variations. Findings highlight the need for updated landfill stability models that account for saturation effects in MSW.

1. Introduction

The geotechnical characterization of municipal solid waste (MSW) is a complex and continuously evolving field of study that plays a crucial role in the design, operation, and long-term stability assessment of landfills. Unlike conventional geomaterials such as clay, sand, or gravel, MSW poses unique challenges due to its intrinsically heterogeneous composition, ongoing physical and chemical transformations, and susceptibility to biodegradation processes over time. In geotechnical engineering practice, MSW is typically treated as a soil-like material to enable the application of established analytical and design frameworks. However, this assumption often oversimplifies reality, as MSW differs fundamentally from natural soils in terms of its constituent variability, anisotropy, and time-dependent behavior. The complexity primarily stems from the diversity in waste particle shapes, sizes, and compositions, which range from biodegradable organic matter (e.g., food waste, garden debris) to non-biodegradable fractions such as plastics, metals, paper products, and glass. This broad spectrum of materials contributes to significant spatial and temporal variability in the waste mass, affecting critical geotechnical properties such as shear strength, compressibility, permeability, and hydraulic conductivity. These parameters are vital for predicting the settlement, slope stability, and leachate migration within the landfill, all of which are essential for ensuring safe and efficient landfill performance.

Recognizing these complexities, a comprehensive in-situ investigation campaign was undertaken at a selected MSW landfill site. The primary objective of this field investigation was to accurately characterize the composition, internal structure, and geotechnical behavior of the waste body. Core drilling operations were executed to extract representative samples from varying depths, enabling the identification of vertical stratification within the waste mass. These samples were subsequently subjected

to a series of laboratory and large-scale mechanical tests aimed at capturing the behavior of MSW under conditions that closely simulate real-world field stresses. The findings of this investigation form the foundation for a deeper understanding of how waste composition and environmental factors such as saturation state influence the mechanical response of MSW, thereby supporting the development of more accurate and reliable landfill design methodologies.

2. Material Methods

2.1 Sample collection

Waste samples were collected during drilling operations from various depths a landfill and transported to the laboratory in sealed plastic bags with detailed depth and location documentation. Figure 1 shows on the drillings that took place at site.



Figure 1. Field investigation (Drilling)

Based on physical characteristics and depth of retrieval, the materials were categorized into three distinct layers:

- Surface Layer (0-6m): Characterized by low water content and high proportions of plastic and textile materials, with minimal odor emission.
- Middle Layer (6-12m): Exhibited moderate moisture content with significant presence of biodegraded materials and notable odor.
- Deep Layer (12-22m): Consisted of highly saturated samples with predominantly biodegraded materials, uniform dark coloration, and strong odors, including visible leachate.

2.2 Sample preparation

For each shear test, a total of 126 kg of municipal solid waste material was carefully prepared to reflect the in-situ conditions as closely as possible. This mass was selected to match a representative field density of 7.8 kN/m^3 , a value previously established through geophysical investigations conducted on-site. The waste materials, retrieved from three distinct depth intervals within the landfill, were first thoroughly homogenized to reduce variability and ensure consistency in the test specimens. Following homogenization, the material was evenly distributed within the custom-designed large-scale shear box, ensuring uniform layering and minimizing voids. Compaction was performed manually in multiple stages to replicate field compaction levels, simulating actual landfill conditions. The initial sample thickness was accurately measured and recorded before the onset of shearing to enable the precise calculation of bulk density and to monitor any vertical deformations during the test procedure.

2.3 Large-scale direct shear test

Large-scale direct shear tests have been extensively employed in studies focusing on the shear strength behavior of municipal solid waste (MSW) [2,3]. These tests are particularly effective for this application because they accommodate the larger waste constituents – such as plastics, textiles, and metals – that often exceed the dimensions of the standard geotechnical testing apparatus. As a result, large-scale shear testing provides more representative data compared to conventional equipment typically designed for homogeneous soil materials. To further replicate the complex mechanical behavior of waste under field-like conditions, some researchers have developed inclined large-scale shear test configurations, enabling the simulation of shear along non-horizontal planes often encountered in landfill slope failures [4].

In this study, to account for the high degree of heterogeneity in MSW and to allow the inclusion of coarse waste fragments in the testing process, a custom-designed large-scale direct shear apparatus was developed. The device consisted of a shear box with a base area of $75 \text{ cm} \times 75 \text{ cm}$ and a depth of 30 cm , dimensions selected to ensure sufficient volume for capturing the bulk behaviour of waste materials under representative stress conditions. This setup greatly enhanced the relevance of

the experimental results to field-scale applications.

The testing protocol involved the application of three distinct normal stress levels: 45 kPa , 90 kPa , and 170 kPa . These pressure stages were selected to reflect the range of vertical stresses typically experienced by waste materials within operational landfills. The apparatus was designed to maintain a constant normal stress throughout the test duration, automatically adjusting to any changes in sample height due to compression. Shearing was initiated by moving the lower half of the shear box at a controlled displacement rate of 0.5 mm/min , and the test was programmed to terminate automatically when the horizontal displacement reached 10% of the sample length (75 mm).

During each test phase, all mechanical response data – including shear force, displacement, and vertical deformation – were continuously recorded and archived. Following test completion, the data were processed to calculate the shear strength parameters, namely cohesion and internal friction angle, for each tested layer. The results were then analysed and compiled to provide a comprehensive assessment of the mechanical behaviour of MSW under varying stress conditions and depth-related stratifications. These findings form a crucial basis for understanding the stability characteristics of landfills and support the development of more accurate and site-specific geotechnical design practices for waste containment systems.

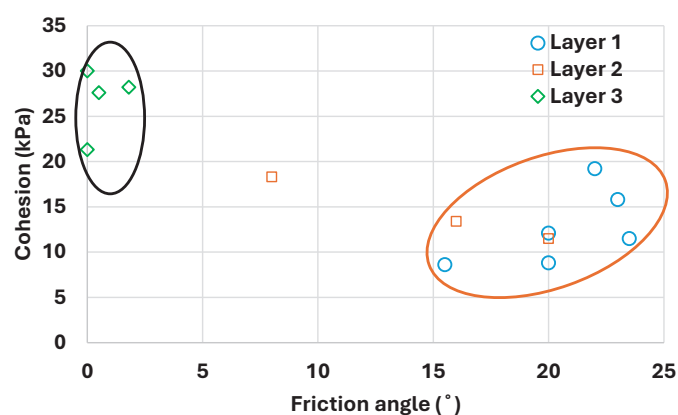


Figure 2. Shear parameters distribution

The direct shear evaluation conducted across multiple depths of the landfill revealed a more intricate behavioral configuration than initially anticipated from the depth-based classification. While field observations initially suggested three distinct strata based on physical characteristics, the mechanical testing outcomes clearly demonstrated the presence of two primary behavioral groups with significantly different shear strength characteristics illustrated in Figure 2.

The first behavioral group, encompassing materials from depths of 0-12 m (corresponding to the initial layers 1 and 2), exhibited characteristic shear strength parameters with an internal friction angle (ϕ) of 19.6° and cohesion (c) of 12.58 kPa . Within this group, individual test outcomes showed some variation, with friction angles ranging from

8° to 23.5° and cohesion values between 8.6 and 19.2 kPa. These variations reflect the heterogeneous nature of the waste material in the upper portions of the landfill, where the degree of decomposition and compaction is relatively lower.

A notable shift in mechanical behavior was observed in specimens obtained from depths greater than 12 meters, forming the second behavioral group. This group, corresponding to the initial layer 3, displayed dramatically different shear strength characteristics. The most remarkable feature was the near absence of internal friction, with angles ranging from 0° to 1.8°. This was accompanied by substantially higher cohesion values ranging from 21.3 to 28.2 kPa. The consistent presence of saturated conditions in this deeper region appears to play a significant role in this behavioral shift.

2.4 Moisture content

Moisture content analysis was performed on specimens from each shear strength evaluation to obtain essential information about the leachate content of the examined waste materials. Directly after each shear evaluation, a specimen was collected from the central section of the shear apparatus. In contrast to traditional soil analysis, which commonly uses approximately 100g specimens, larger 3-4 kg specimens were gathered to guarantee the representative inclusion of bigger waste components. All specimens were rapidly sealed in plastic bags to maintain their original humidity content until analysis could be conducted, see Figure 3.

The moisture content analysis method was modified from standard geotechnical protocols according to [5] with minor adjustments to address the specific properties of waste materials. The total wet weight of the specimen was documented before drying. Substantial plastic elements were removed from the remainder of the specimen to avoid melting or combustion during the drying procedure. The weight of removed plastic elements was documented separately. Subsequently, specimens were dried at a steady temperature of 105°C for 24 hours. Following drying, the weight of the dried specimen (excluding plastics) was registered.

Moisture content information was examined across various depths and positions within the landfill profile. Findings indicated a distinct pattern of increasing

moisture content with depth, correlating with elevated waste decomposition levels. The uppermost layer displayed consistently minimal moisture content, while the bottommost layer showed saturation conditions, with the middle layer exhibiting intermediate characteristics. These findings provided crucial insights for interpreting the shear strength parameters and comprehending the mechanical behavior of the waste material under diverse conditions.

The moisture content information was evaluated to recognize tendencies and configurations across various depths and positions within the landfill:

- Moisture content measurements were graphed against specimen depth to visualize humidity distribution throughout the landfill profile, as can be seen in Figure 4.
- Summary statistics (mean, median, standard deviation) were determined for each stratum to measure the variability in moisture content. Mean moisture contents for each of the three primary strata (0-6m, 6-12m, 12-22m) were determined and contrasted as shown in Table 1.
- Moisture content information was evaluated in conjunction with waste composition and shear strength parameters to identify potential correlations.

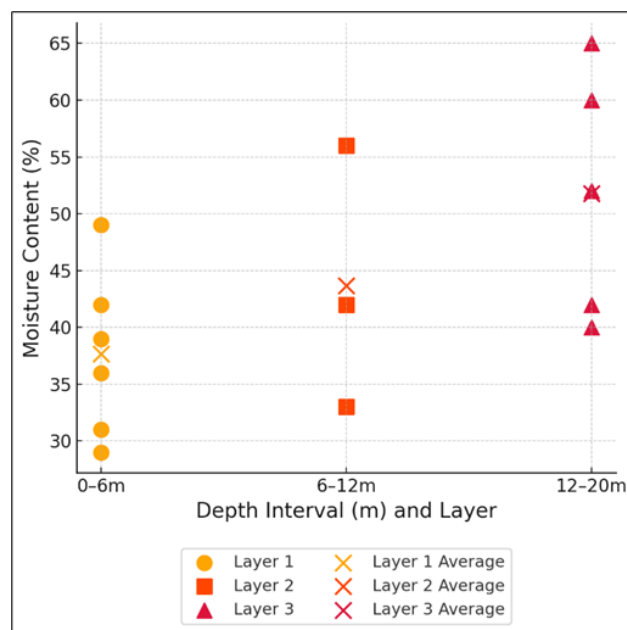


Figure 4. Water content by depth interval

Table 1. Statistical calculation of water content evaluation

Depth	Water content (%)			
	Average	Mean	Medium	Standard deviation
0-6 m	34.905	34.6043	34.2432	0.050457
6-12 m	43.8542	42.8503	42.0398	0.115981
12-20 m	51.8557	50.6881	50.8355	0.126944

A distinct pattern of increasing moisture content with depth was detected, validating field observations made during drilling. The Top layer (0-6m) had typically low



Figure 3. Samples of moisture content test

moisture content, aligned with its composition of dry, less decomposed materials. The Intermediate layer (6-12m) exhibited moderate moisture content, displaying indications of increasing humidity and decomposition. The Bottom layer (12-22m) demonstrated high moisture content, frequently saturated.

The elevated moisture contents in deeper strata corresponded with increased levels of waste decomposition, establishing a robust connection between moisture availability and biodegradation processes [6].



Figure 5. Example of waste classification

2.5 Waste classification

Following each direct shear, a thorough waste categorization was performed on the evaluated materials. To guarantee representative sampling, 25% of the total quantity of waste utilized in the shear test was removed for categorization. This substantial sample volume was selected to address the heterogeneous character of municipal solid waste and to provide a statistically meaningful representation of the waste composition that aids in interpreting the shear test outcomes. Figure 5 shows an example of waste classification.

The waste categorization method encompassed the following procedures:

1. The sampled waste was meticulously classified into predetermined material categories. These categories were established according to common waste components and pertinent physical attributes: Plastics, Textiles, Paper and cardboard, Organic matter, Metals, Glass, Inert materials (e.g., soil, rocks), Other [1].
2. Each separate component was measured using calibrated laboratory balances.
3. The measurement of each component was utilized to compute its percentage contribution to the total sample weight.
4. Comprehensive records were maintained of the measurement and percentage of each material category for every sample examined.

The outcomes of the waste categorization were evaluated to recognize tendencies and configurations in waste composition across depth and positions within the landfill. Key elements of this evaluation included:

1. The composition of waste in the three main strata (0-6m, 6-12m, 12-22m) was contrasted to assess

variations with depth.

2. The ratio of decomposed material in each layer was qualitatively assessed considering the increase in decomposed material with depth.
3. The correlation between waste age and decomposition state was investigated, comparing waste from different filling periods at various depths.

The waste categorization evaluation revealed several significant insights, as shown in Figure 6:

1. A distinct pattern of increasing decomposed material content with depth was detected.
2. The evaluation suggested that the degree of waste decomposition was more strongly influenced by depth and moisture content than by the chronological age of the waste deposits.

Notably, waste from older deposition phases (I-II) in upper strata exhibited less decomposition than newer waste (Phases IV-V) in deeper strata, despite an age difference of approximately 10 years. This observation emphasizes the intricate interaction between leachate and waste decomposition in landfill environments. The leachate, distinguished by its high concentration of mineral and biological contaminants, serves a critical function in accelerating decomposition processes. As it filters downward through the waste mass due to gravity, it becomes increasingly concentrated at the bottom of the landfill. This accumulation effect intensifies the decomposition of waste materials in the lower strata. These factors collectively contribute to the pronounced decomposition gradient observed between the deeper, more recently placed waste material and the older, surface-placed material [7-9].

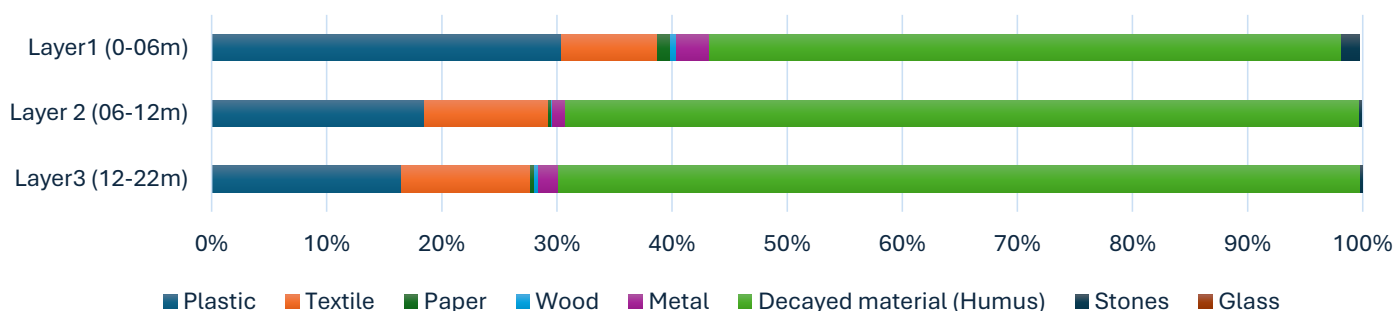


Figure 6. Average values of waste composition based on the layers categories

3. Conclusion

The extensive-scale direct shear evaluation of municipal solid waste revealed two distinct behavioral groups governed by saturation state:

- The unsaturated waste (Group 1) exhibited friction-dominated behavior with pronounced stress dependency,
- In contrast, the saturated waste (Group 2) demonstrated cohesion-dominated behavior maintaining nearly constant shear stress of 28-33 kPa across all normal loads.

This contrast underscores the inadequacy of existing design models that fail to incorporate differential saturation states into their analyses. It highlights the urgent need for a comprehensive revision of landfill stability methodologies, particularly for sites where leachate accumulation or high precipitation significantly alters the internal moisture distribution. The impact of saturation is not only mechanical but also temporal, as long-term decomposition and moisture migration can progressively shift a landfill's internal conditions, leading to unforeseen stability risks if not adequately anticipated in the design phase.

To address these complexities, the research introduces specific engineering solutions tailored to account for these heterogeneous conditions. Among them is the implementation of dual-zone stability analysis models, which distinguish between frictional and cohesive behaviors based on saturation profiles, allowing for more accurate safety assessments across different landfill depths. Additionally, refined leachate management strategies including improved drainage systems, leachate recirculation protocols, and moisture monitoring technologies are proposed to actively mitigate saturation-related risks. The study also emphasizes the importance of enhanced monitoring protocols, utilizing real-time sensors and geotechnical instrumentation to track changes in pore water pressure, saturation, and mechanical response over time.

Crucially, the research establishes well-defined and depth-specific shear strength parameters, offering a reliable basis for both short- and long-term slope stability evaluations. These parameters can be directly integrated into numerical modelling and factor of safety calculations, with relevance for landfills located in humid climates or regions experiencing intense seasonal rainfall. In such environments, the risk of rapid saturation and shear strength degradation is significantly elevated, making

traditional design assumptions increasingly unreliable.

By bridging the gap between laboratory-scale characterization and field-scale behaviour, this study contributes critical knowledge to the geotechnical understanding of MSW. It lays the groundwork for future research into the time-dependent and saturation-sensitive mechanical evolution of waste materials, promoting safer and more sustainable landfill design practices in an era of increasing environmental and regulatory demands.

References

- [1] Dixon, N.; Langer, U. : Development of a MSW Classification System for the Evaluation of Mechanical Properties. *Waste Manag.* 2006, 26, 220–232, doi:10.1016/j.wasman.2005.02.018.
- [2] Zekkos, D.; Athanasopoulos, G.A.; Bray, J.D.; Grizi, A.; Theodoratos, A. Large-Scale Direct Shear Testing of Municipal Solid Waste. *Waste Manag.* 2010, 30, 1544–1555, doi:10.1016/j.wasman.2010.01.024.
- [3] Bray, J.D.; Zekkos, D.; Kavazanjian, E.; Athanasopoulos, G.A.; Riemer, M.F. Shear Strength of Municipal Solid Waste. *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.* 2009, 135, 709–722, doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000063.
- [4] Cazzuffi, D.; Recalcati, P.; Calvarano, L.S.; Marelli, S. A Review of Direct Shear and Inclined Plane Tests Results for Different Interfaces in Landfill Capping. *Detritus* 2022, 20, 100–111, doi:10.31025/2611-4135/2022.15219.
- [5] ASTM D2216-19, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. 2019.
- [6] Alsaibi, T.M.; Abustan, I.; Mogheir, Y.K.; Affi, S. Quantification of Leachate Discharged to Groundwater Using the Water Balance Method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model. *Waste Manag. Res.* 2013, 31, 50–59, doi:10.1177/0734242X12465462.
- [7] Calabrò, P.S.; Gentili, E.; Meoni, C.; Orsi, S.; Komilis, D. Effect of the Recirculation of a Reverse Osmosis Concentrate on Leachate Generation: A Case Study in an Italian Landfill. *Waste Manag.* 2018, 76, 643–651, doi:10.1016/j.wasman.2018.03.007.
- [8] Olivier, F.; Gourc, J.P. Hydro-Mechanical Behavior of Municipal Solid Waste Subject to Leachate Recirculation in a Large-Scale Compression Reactor Cell. *Waste Manag.* 2007, 27, 44–58, doi:10.1016/j.wasman.2006.01.025.
- [9] Nag, M.; Shimaoka, T.; Komiya, T. Influence of Operations on Leachate Characteristics in the Aerobic-Anaerobic Landfill Method. *Waste Manag.* 2018, 78, 698–707, doi:10.1016/j.wasman.2018.06.044.

Akusztikus emisszióval (AE) történő korróziós folyamatok és vasbetonszerkezetek vizsgálata

Investigation of corrosion processes and reinforced concrete structures using acoustic emission (AE)

Nagy Attila Gábor^a, Gémes György András^b

^aEK HUN-REN, NKE HHK ATI TT, Tudományos munkatárs, nagy.attila@ek.hun-ren.hu

^bTAM CERT Magyarország Kft. Üzletágvezető, gemes.gyorgy@tamcert.hu

Kulcsszavak

anyagtudomány,
építőmérnöki alkalmazások,
infrastrukturális biztonság,
struktúraállapot-monitorozás,
karbantartás optimalizálása,
folyamatselemlétező felügyelet

Keywords

materials science,
civil engineering applications,
infrastructure safety,
structural condition monitoring,
maintenance optimization,
process-oriented monitoring

Absztrakt

Az akusztikus emisszió (AE) egy roncsolásmentes vizsgálati módszer, amely a szerkezetekben fellépő helyi deformációk vagy repedések során kibocsátott hanghullámok érzékelésén és elemzésén alapul. A módszer hatékony vasbetonszerkezetek esetében, ahol a korrózió vagy terhelés következtében kialakuló sérülések korai felismerése kiemelt jelentőségű. Korrózió esetén az acélbetétek oxidációja és a hidrogénfejlődés mikropedéseket okoz, amelyek AE jeleket generálnak. Ezeket érzékelőkkel regisztrálják, majd az amplitúdó, frekvencia és időbeli lefutás alapján becsülik a korrózió helyét és mértékét. Vasbetonszerkezeteknél a terhelés alatti repedésterjedést is jól lehet nyomon követni AE technikával. Az AE előnye, hogy valós időben képes jelezni a károsodást, még látható sérülés előtt is. Ez lehetővé teszi a szerkezet állapotának folyamatos monitorozását, kritikus infrastruktúrák, például hidak vagy nukleáris létesítmények esetében.

Abstract

Acoustic emission (AE) is a non-destructive testing method based on the detection and analysis of sound waves emitted during local deformations or cracks in structures. The technique has been shown to be effective in reinforced concrete structures, where the early detection of damage caused by corrosion or loading is of paramount importance. In the case of corrosion, the oxidation of steel inserts and hydrogen evolution cause microcracks that generate AE signals. These are then recorded by sensors, and the location and extent of corrosion are estimated based on amplitude, frequency, and time course. In reinforced concrete structures, crack propagation under load can also be monitored effectively using AE technology. The primary benefit of AE is its capacity to detect damage in real time, even prior to the manifestation of visible indicators. This facilitates continuous monitoring of the condition of structures, including critical infrastructure, bridges, and nuclear facilities.

1. Bevezetés

Az akusztikus emisszió (AE) alkalmazása vasbeton szerkezetek és korrózió vizsgálatára ritkán kerül alkalmazásra, ezekkel kapcsolatban ismertetnék néhány érdekes eredményt. Az AE alapja, hogy feszültség hatására az anyagban detektálható hullámok keletkeznek mielőtt maradandó alakváltozás következne be (1. ábra). Az AE, mint roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer (NDT) már kialakult metodikával rendelkezik. Többnyire fém tartályokat, csővezetéseket vizsgálnak vele. A vizsgálandó testen elhelyezett detektorok tipikusan a 100 kHz-400 kHz-es frekvencia tartományba eső hanghullámokat veszik. Az alkalmazott vizsgálati módszer egyik előnye, hogy lehetőséget biztosít a teljes vizsgált test állapotának monitorozására, valamint a keletkező akusztikus jelek forráshelyének lokalizálására. Ugyanakkor hátrányként említhető, hogy a jelenségek detektálásához elengedhetetlen valamilyen mértékű mechanikai terhelés alkalmazása. Civil struktúrák vizsgálatára ritkábban használatos.



1. ábra: Egy tipikus AE méréselrendezés

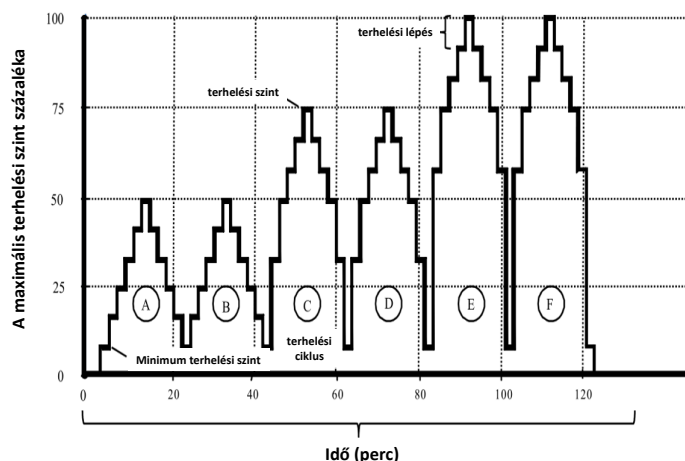
2. Vasbeton szerkezetek vizsgálata

A vasbeton egy kompozit anyag, amely két fő összetevőből áll:

- Acélbetétek (vasalás) – Az acél mechanikai húzószilárdsága jelentős mértékben növeli a szerkezet stabilitását és rugalmasságát.
- Cementkötésű beton – A beton nyomószilárdsága és stabilitása segíti az acélbetétekkel való kombinált működést.

Az acél és a beton kombinációja kihasználja mindkettő anyag mechanikai tulajdonságának előnyeit, így a vasbeton kiváló építőanyag. A vasbeton jól ellenáll a mechanikai igénybevételeknek, mint például a nyomás, húzás, valamint a környezeti hatásoknak, például a korrózióknak és a téli csapadékokhoz kapcsolódó erózióknak is. A gazdaságosság és sokoldalúság miatt a vasbeton az építőipar egyik legfontosabb anyaga, és a modern építéset alapvető eleme. Használatosak a háztartásoktól az infrastruktúrákig, mint például hidak, úthálózatok, és nukleáris épületek. Az akusztikus emissziós (AE) technika segítségével a vasbeton szerkezetek épségét és sérüléseit monitorozhatjuk, miközben a szerkezetek még aktív használatban vannak. Ez lehetővé teszi a karbantartási tevékenységek optimalizálását, és meghosszabbítja az épületek élettartamát.

A betonszerkezetek mechanikai viselkedésének vizsgálata [1] a ciklikus terhelés hatásainak alapján történik, hiszen a valós körülmények között – például épületek, hidak vagy reaktor konténmentek esetében – a szerkezetek gyakran ismétlődő, időszakos igénybevételnek vannak kitéve. A ciklikus terhelés (2. ábra) olyan dinamikus igénybevétel, amely rendszeresen ismétlődő erőhatások sorozatából áll, melyek során a szerkezet fokozatosan, deformálódhat, miközben repedések keletkezhetnek,

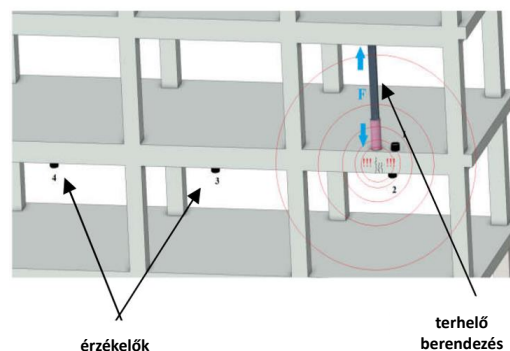
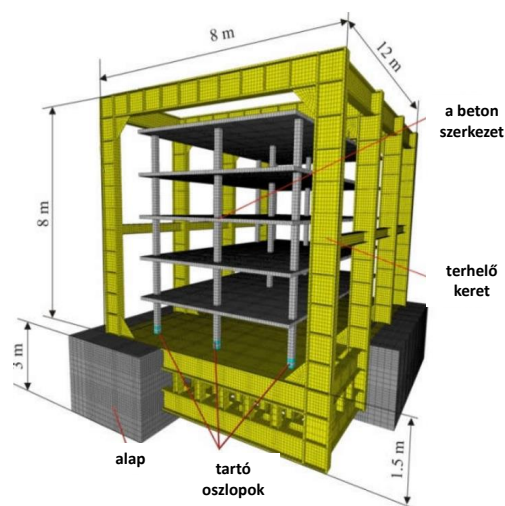


2. ábra: A ciklikus terhelési protokoll

vagy tovább terjedhetnek. Ebben a vizsgálati folyamatban szerepet játszhat az akusztikus emissziós (AE) technika alkalmazása, amely képes érzékelni a belső struktúrában keletkező mikropedéseket, dörzsölődéseket és más károsodási mechanizmusokat még a makroszkopikus meghibásodás megjelenése előtt. A terhelés-tehermentesítési ciklusok ismétlése lehetővé teszi a sérülések halmozódásának nyomonkövetését, valamint az anyag fáradási viselkedésének elemzését. A kísérletek során alkalmazott AE mérési elrendezés segítségével nemcsak a repedések helye lokalizálható, hanem az egyes terhelési fázisokban bekövetkező jellegzetes hullámjelenségek is elemezhetőek, például az amplitúdó- és frekvenciaeloszlások változása. A ciklikus terhelés tehát kulcsfontosságú a vasbeton szerkezetek tartósságának, stabilitásának és hosszú távú integritásának értékelésében, különösen olyan kritikus infrastruktúrák esetén, mint a nukleáris létesítmények.

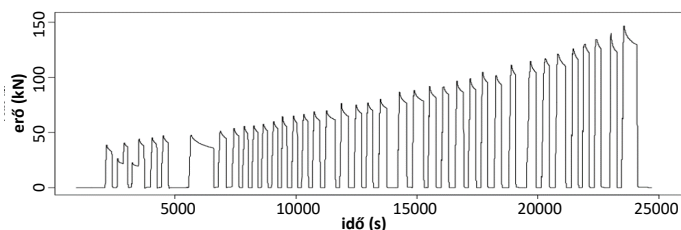
2.1 Nagyméretű épület modell tesztelése

Az épületszerkezetek [4] deformációs állapotának nyomonkövetése fontos mérnöki feladat. A modern körülmények között olyan automatizált deformációfigyelő rendszerek segítségével történik, amelyek a szerkezeti elemek deformációs folyamatainak tér- és időbeli regisztrálását végzik. A monitoring egyik fő feladata a szerkezetben vagy annak bármely elemében bekövetkező kritikus deformáció időben történő előrejelzése, amely veszélyezteti annak integritását. Ez a következő adatok alapján történhet: a szerkezeti elemek relatív elmozdulásai, elfordulásai, rezgési jelenségek, hőmérséklet stb. A felügyelet hatékonysága jelentősen megnőhet, ha lehetőség van olyan paraméterek ellenőrzésére, amelyek reagálnak a korai, a szerkezeti elemek rugalmasból rugalmatlan állapotba való átmenetének előjeleire, és ezeket a paramétereket a vizsgálat során ellenőrizni lehet. Az akusztikus jelek elemzése – a szerkezet üzemi terheinek megfelelően – lehetővé teszi a rugalmatlan deformációk követését és a helyük meghatározását. Idáig többségében körülbelül 10 cm-es jellemző méretekkel rendelkező laboratóriumi mintákat használtak, ezzel szemben az itt vizsgált szerkezet egy tipikus épületszerkezet 1:2 méretarányú modellje.

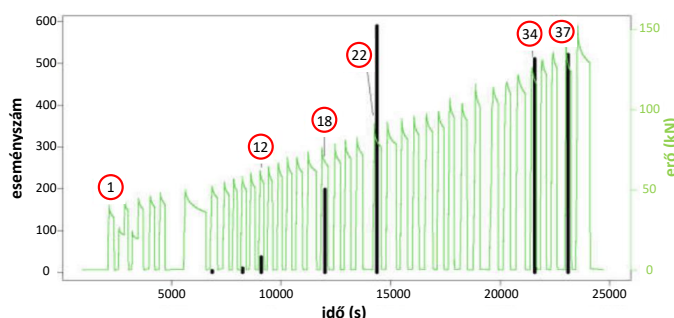


3. ábra: A vizsgált betonszerkezet

A szerkezet hossza 6 m, szélessége 4 m, magassága 6 m. A modellcella mérete a következő: hossza 2 m, szélessége 2 m, magassága 1,5 m. Az oszlopok keresztmetszete 0,2×0,2 m, a keresztgerendáké 0,2×0,1 m; a padlólemez vastagsága 0,15 m, valamint a födém vastagsága 0,15 m. Az AE jelek rögzítésére 30-120 kHz frekvenciatartományú és 34 dB erősítésű Diaton-érzékelőket használtak. A külső erőt egy hidraulikus emelő segítségével fejtették ki a 2. és a 3. emelet között, a nagyméretű vasbeton modell (3. ábra) szerkezet rugalmas és rugalmatlan deformációját helyi terheléssel idézték elő. A mérendő szerkezetet kísérleti állványon végezték, amely lehetővé tette a gyakorlatban megszokott, körülbelül 10 méteres lineáris méretekkel rendelkező szerkezetek vizsgálatát. A terhelés ciklikus módon történt – „terhelés - teljes terhelésmentesítés” –, ahol a terhelést minden szakaszban legfeljebb 10 kN-nal növelték (4. ábra). Az így kiváltott AE jeleket akusztikus érzékelők rögzítették, melyek a forrástól különböző távolságokban voltak elhelyezve, lehetővé téve a jelek térbeli nyomon követését és elemzését.



4. ábra: A ciklusos terhelés protokollja

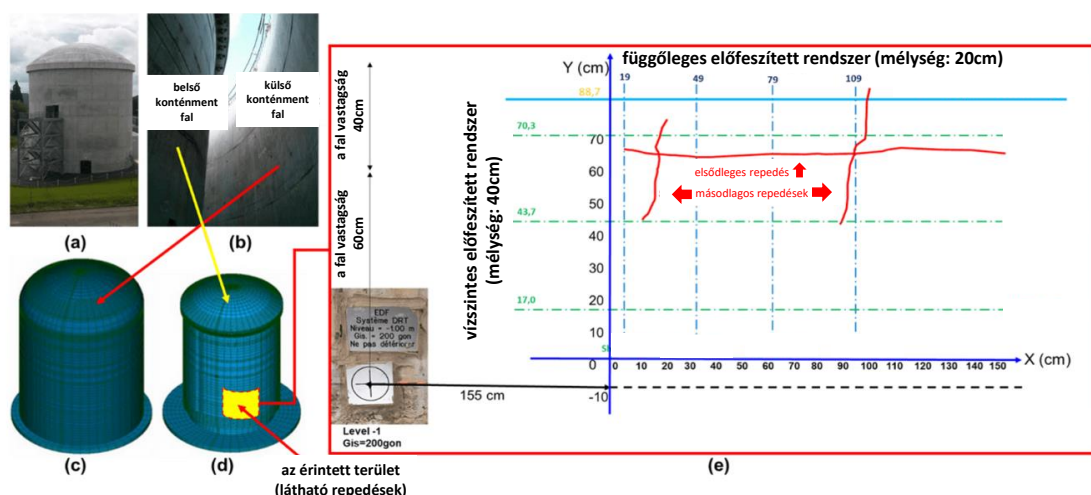


5. ábra: Az AE események számát a fekete oszlopok jelzik, a bekarikázva a terhelés sorszáma

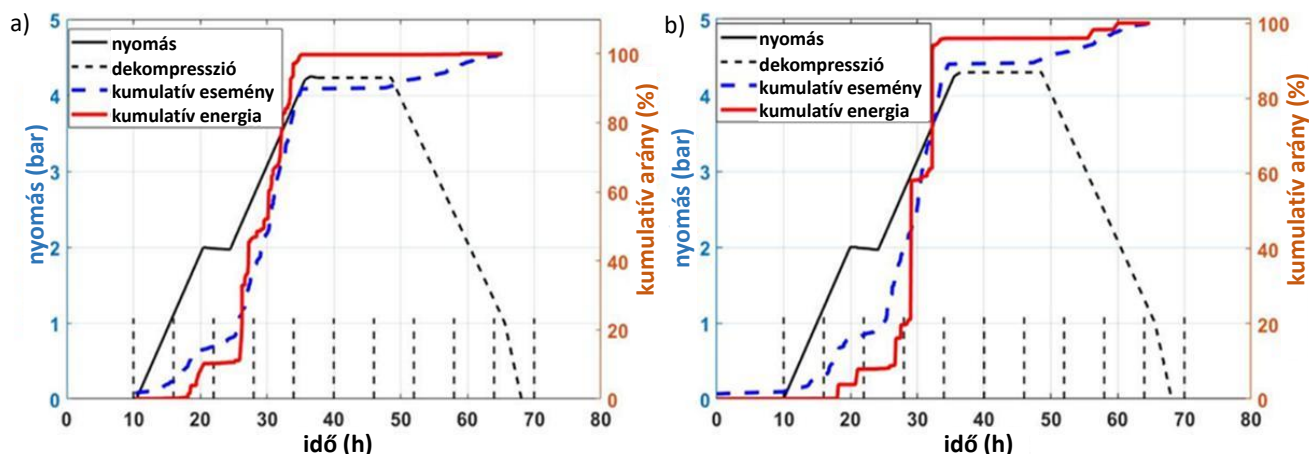
A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a vasbeton szerkezet viselkedése a terhelés hatására jelentősen változik. A rugalmas alakváltozás határa körülbelül 50 kN volt, ennél kisebb terhelés hatására a szerkezet visszatért eredeti állapotába az erő megszűnését követően, és nem tapasztaltak maradandó sérüléseket. Ezen a küszöbön felül, tehát 50 kN feletti terhelés esetén, az AE események száma rendkívül gyorsan nőtt, ami arra utal, hogy a szerkezetben mikrorepedések kezdtek kialakulni, illetve ezek továbbterjedtek. Az AE jelek intenzitása és gyakorisága tehát egyértelműen korrelált a mechanikai igénybevétellel, és jól tükrözte a szerkezet átmenetét a rugalmas deformációból a rugalmatlan állapotba. Ez a jelenség lehetővé tette az anyagban végbemenő károsodási folyamatok valós idejű nyomonkövetését. AE mérési technika alkalmazása során megállapítható, hogy az AE jel amplitúdó-frekvencia összetétele jelentősen változik az érzékelő és az AE forrás közötti távolság növekedésével. A jel magas frekvenciájú komponense már két méternél nagyobb távolságon gyakorlatilag elhal, és csupán az alacsony frekvenciájú összetevők maradnak meghatározókká. Emellett a hullámjel időbeli lefutása is egyre inkább szórt, ami nehezíti a pontos forráslokációt. Ugyanakkor a repedésképződési folyamatok során az AE jelek regisztrálása és elemzése akár négy méteres távolságból is megbízhatóan lehetséges, így az AE technika hatékonyan alkalmazható nagyméretű szerkezetek esetén is, például vasbeton építmények vagy nukleáris létesítmények monitorozására.

2.2 Atomerőmű vasbeton konténment modelljének vizsgálata

A következő tanulmány [2] atomerőmű vasbeton konténmentjének a modelljén végzett AE vizsgálatok eredményeit ismerteti. A francia nukleáris szabályozás előírja, hogy tízévente nyomáspróbával ellenőrizték a konténment tömörségét, és meggyőződjenek róla, hogy a levegő napi szivárgási ráta ne haladja meg az 1,5%-ot (Pakson is hasonló értékkel dolgozunk, az integritás vizsgálatok gyakrabban vannak). Az VeRCoRs program (franciául Realistic Verification of Reactors Containment, azaz reaktorok burkolatának reális ellenőrzése) az EDF Les Renardières laboratórium által vizsgált dupla falú nukleáris reaktor burkolatának 1/3 méretarányú makettje. A VeRCoRs célja, hogy előre jelezze a burkolatok öregedésének hatásait. Az 1/3-as méretarány alkalmazása olyan kompromisszumos választásnak tekinthető, amely optimális egyensúlyt teremt egyrészt a modell geometriájának és viselkedésének valós szerkezethez viszonyított reprezentativitása, másrészt a száradási és öregedési folyamatok időbeli felgyorsulása között. A száradás ugyanis a burkolat öregedésének fő mozgatórugója. A makett-hez használt 1:3 méretaránynak köszönhetően a burkolat falának száradásának felgyorsulása körülbelül 9-szer gyorsabb, mint az eredeti konténment esetében. A beton burkolat tízévnnyi öregedésének hatásait tehát itt 13 hónap alatt érik el, 7 év alatt a makett lehetővé teszi egy 60 éves nukleáris reaktor konténment viselkedésének megfigyelését. A VeRCoRs építése 2013 augusztusában kezdődött, 5000 tonna beton felhasználásával, és 2016 márciusában fejeződött be. A burkolat (6. ábra) egy kétrétegű szerkezet, amely alaplemezből, hengerből, gyűrűgerendából, kupolából, acélbélésből, lyukakból és támpillérekből, valamint vasbetonból áll. A burkolat teljes magassága 30 m, az alaplemez átmérője 16 m, a belső fal vastagsága pedig 40 cm. A belső falat alkotó előfeszített beton burkolat biztosítja a szerkezet zárását. A külső burkolat, mint második védelmi réteg, kiegészítő védelmet nyújt a belső fal számára, elsősorban azért, hogy korlátozza az agresszív, külső környezeti hatások – például levegő, folyadékok és por – behatolását. A VeRCoRs makett széles körű



6. ábra: A balra konténment modell, jobbra pirossal a megfigyelt repedések



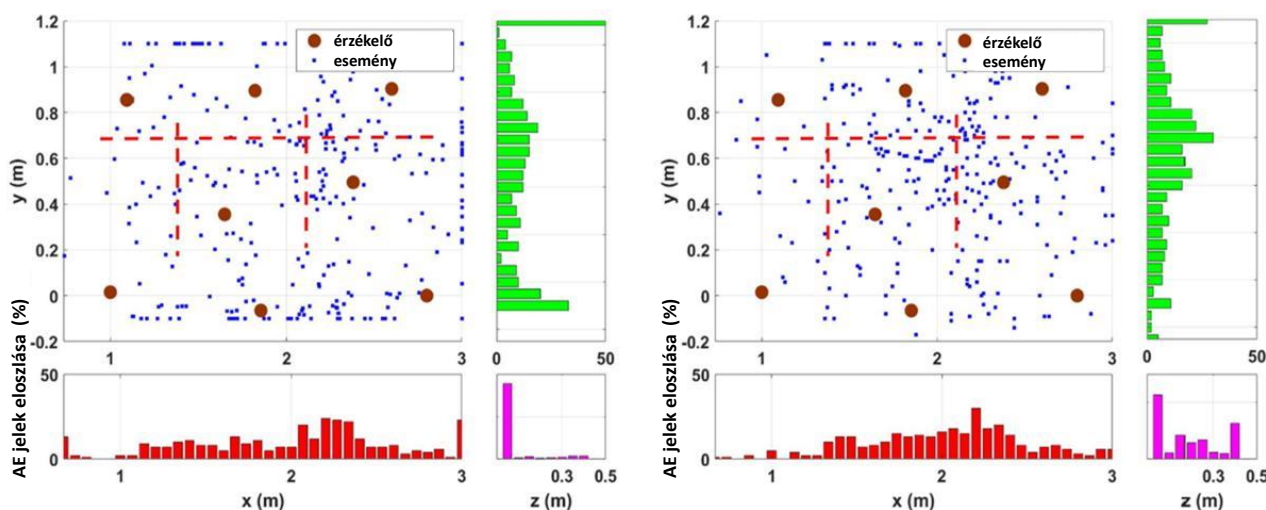
7. ábra: A nyomásterhelés és az AE események száma, valamint az AE energia a) 2017-es nyomásterheléses vizsgálati kísérlet; b) 2019-es nyomásterhelési vizsgálati kísérlet

műszerezéssel rendelkezik. A makett 700 érzékelővel és 2 km-nyi optikai szállal van felszerelve a hőmérséklet, a deformáció, a beton víztartalma és egyéb tulajdonságok mérésére is. A felhasznált beton olyan anyagtulajdonságokkal rendelkezik – mind mechanikai-fizikai jellemzőit, mind transzporttulajdonságait tekintve –, amelyek a második generációs atomerőművekben alkalmazott beton reprezentációját szolgálják. Minden, amit 1/3-os méretarányban el lehetett készíteni, elkészítették. A kutatás AE technikát betonfal károsodásának nyomon követésére alkalmazta a nyomáspróba alatt (7. ábra). A repedések keletkezését és fejlődését az AE technika segítségével különböző módszerek – például AE eseményszámlálás, paraméteralapú és jelalak alapú elemzés – alkalmazásával értékelték.

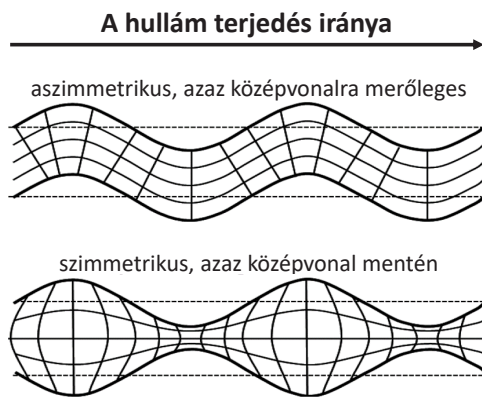
A nyomásterhelés alatt a repedések nyílása és záródása jól követhető volt: a nyomás növelésekor a repedések nyíltak, csökkentésekor pedig záródtak, ezzel megerősítve az AE technika alkalmazhatóságát a szerkezeti változások valós idejű nyomon követésére. A 2017-es és 2019-es kísérletek eredményeinek összehasonlítása azt mutatta, hogy bár az AE aktivitás hasonló volt, a 2019-es kísérlet során koncentráltabb jelaktivitást figyeltek meg a repedések környékén. Ez arra utal, hogy a repedések elsősorban

nyíltak és zártak (8. ábra), de nem terjedtek tovább, így a szerkezet stabilitása az ismételt terhelések során fennállt.

A vizsgált két kísérletben a Kaiser-effektus jelenléte miatt csak korlátozott mennyiségű akusztikus emissziós jel észlelhető, amely alapján feltételezhető, hogy a szenzorok lefedettségi tartományában nem indult meg számottevő repedésterjedési folyamat. A repedések megnyílásának és bezáródásának fázisai között hasonló akusztikai aktivitás-eloszlás figyelhető meg a terhelés és nyomáscsökkentési ciklusok során. A második nyomásterhelési kísérlet során több lokalizált eseményt észleltek a repedések szélén, nem észleltek különösebb koncentrációt a nagy energiájú forrásokból a repedések végéiben. A jövőben további kutatásokra lesz szükség az AE források lokalizálási pontosságának javítása és új akusztikus emissziós források osztályozási kritériumának kidolgozása érdekében, amely a jelparaméterek alapján figyelemmel kíséri a repedések terjedését a betonban. Más algoritmusokat is kidolgoznak az AE események kezdeti időpontjának észlelésének és lokalizálásának javítása érdekében, figyelembe véve a mérések bizonytalanságát.



8. ábra: Az AE események lokalizációjának és eloszlásának összehasonlítása: a) 2017-es nyomásterheléses vizsgálati kísérlet; b) 2019-es nyomásterhelés vizsgálati kísérlet

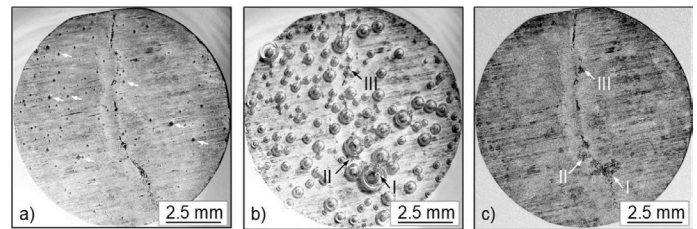


9. ábra: Lamb-hullámok

3. Korróziós jelenségek vizsgálata

A Lamb-hullámok olyan rugalmas hullámok, amelyek vékony lemezek belsejében terjednek és mindkét felületen visszaverődnek. Nem tisztán longitudinális vagy transzverzális hullámok, hanem ezek kombinációi, amelyek a lemez anyagában lévő mechanikai zavarok hatására keletkeznek. Két alapvető típusuk különböztethető meg: a szimmetrikus és az antiszimmetrikus módus (9. ábra). A szimmetrikus hullámok esetében a részecskék mozgása a lemez síkjában dominál, és elmozdulásuk a középvonalra szimmetrikusan történik, míg az antiszimmetrikus hullámoknál a részecskék elmozdulása főként a lemez síkjára merőleges irányú. Minden hullámmodusnak megfelel egy saját frekvencia és terjedési sebesség, amelyek a hullámhossz és a lemez vastagságának arányától függenek, így jellemzőek az adott anyagra és geometriára.

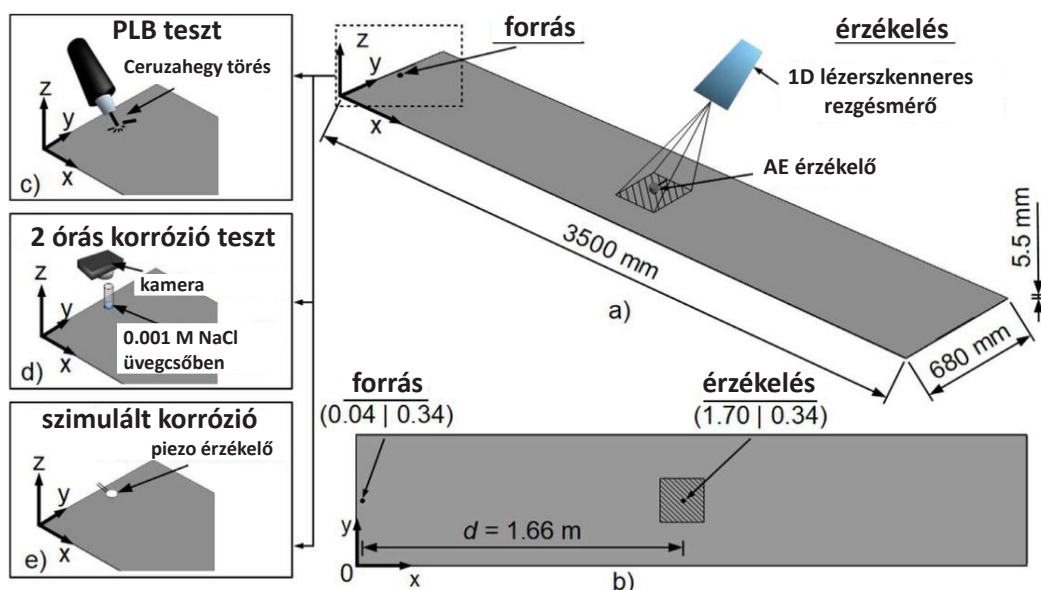
M. Mandela és társai tanulmánya [3] a WZ73 magnéziumötvözet lemezén végbemenő korrózió forrásának lokalizálását vizsgálja az akusztikus emissziós technika segítségével. A magnéziumötvözetek kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, alkalmazásukat vizes környezetben a gyenge korrózióállóságuk nehezíti.



11. ábra: Fényképek a WZ73 felületéről [3]

(a) a korrózióvizsgálat kezdetén, (b) a korrózióvizsgálat alatt és (c) a korrózióvizsgálat után, a helyi korrózió megindulása után

A kísérletek alkalmával megfigyelték, hogy a korrózió során hidrogénbuborékok keletkeznek, amelyek AE jeleket generálnak, és ezek a jelek Lamb-hullámok formájában terjednek a lemez mentén. Az így rögzített akusztikus jelek elemzése lehetővé tette a korrózió helyének pontos meghatározását, miközben a hullámterjedés sajátosságait is vizsgálták a pontos forráslokáció érdekében. A vizsgálat során egy 5,5 mm vastag, WZ73 magnéziumötvözet lemezt használtak, amely inhomogén mikroszerkezettel rendelkezett. A kísérletek két fő típusát végezték el (10. ábra): a ceruzahegy-törési tesztet, amellyel mesterséges akusztikus emisszió (AE) jeleket generáltak és a hullámterjedés jellemzőit vizsgálták, valamint egy 2 órás korróziótesztet, amely során NaCl-oldat hatására keletkező korróziós AE jeleket rögzítettek. A ceruzahegy-törési teszt eredményei azt mutatták, hogy az S0 és A0 hullámcsomagok jól elkülöníthetők és alkalmasak a forrás-hely pontos meghatározására. A korrózióból származó AE jelek gyengébb intenzitásúak és zajosabbak voltak ugyan, de a ceruzahegy-törési teszt eredményeivel való összevetés alapján értelmezhetők maradtak. A legtöbb AE esemény a felületi repedéseknél következett be, ami arra utal, hogy ezek a területek voltak a korrózió aktív helyszínei. Az akusztikus emissziós (AE) technika hatékony eszköz a korrózió forrásának lokalizálására (11. ábra), különösen a folyamat kezdeti szakaszában, amikor a



10. ábra: A vizsgálatban használt elrendezés sematikus rajza, amely a WZ73 lemezen lévő AE forrás és AE érzékelő helyét mutatja [3]

hidrogénbuborékok vagy mikrorepedések még kismértékű anyagkárosodást okoznak, de már érzékelhető AE jeleket generálnak. Ugyanakkor a gyenge és zajos AE jelek elemzése során figyelembe kell venni a lemezben terjedő hullámok visszaverődéseit és interferenciáit, amelyek torzíthatják a jelalakot és nehezíthetik a pontos forráslokációt. A ceruzahegy-törési (PLB, Pencil Lead Break test) tesztek és szimulált korróziós mérések fontos referencia adatokat szolgáltatnak a valós korróziós folyamatok során keletkező jelek értelmezéséhez. Bár az akusztikus emissziós technika alkalmasnak bizonyul a korróziós folyamatok korai stádiumban történő detektálására, hosszú távú korróziós folyamatok monitorozásához további kutatások és fejlesztések szükségesek a megbízhatóbb kiértékelés érdekében.

4. Összefoglalás

Az akusztikus emisszió (AE) egy hatékony roncsolásmentes vizsgálati módszer, amely alkalmas szerkezetekben lejátszódó mikrosérülések, például repedések vagy korróziós folyamatok korai felismerésére. A cikk bemutatja az AE technika alkalmazását vasbetonszerkezetek mechanikai viselkedésének vizsgálatára, valamint különböző korróziós jelenségek nyomon követésére. A bemutatott vizsgálatok között szerepel egy nagyméretű vasbeton épületmodell terhelés alatti viselkedésének elemzése, ahol az AE jelek segítségével sikerült meghatározni a rugalmas és rugalmatlan deformáció határát, valamint lokalizálni a keletkező mikrorepedéseket. Emellett részletesen tárgyalásra kerül egy atomerőművi vasbeton konténment modelljének nyomásterhelés alatti AE monitorozása is, amely jól szemlélteti a technika alkalmazhatóságát a hosszú távú infrastrukturális biztonság értékelésében. A korróziós folyamatok során fellépő hidrogénfejlődés és mikrorepedések által kiváltott AE jelek érzékelése és elemzése is sikeresen alkalmazható a károsodás helyének és mértékének meghatározására, különösen a folyamat korai szakaszában. Összefoglalva:

Vasbeton szerkezetek:

- 50 kN terhelés felett az AE események drámai növekedése jelzi a mikrorepedések kialakulását.
- Nagyméretű modellek (akár 6 m-esek) esetén is

hatékony, maximum 4 m-es érzékelőtávolságból.

- Ciklikus terhelés mellett a repedések nyílása/záródása valós időben követhető.

Nukleáris konténment modellek:

- A VeRCoRs modellen végzett nyomáspróbák igazolták az AE alkalmazhatóságát a repedésdinamika nyomonkövetésére.
- A Kaiser-effektus miatt a terhelési ciklusok során kevés AE jel keletkezik, ami a repedések stagnálását jelzi.

Korrózió lokalizáció:

- Magnéziumötvözet lemezeken a korrózió AE jelei Lamb-hullámok formájában terjednek.
- A korróziós források (pl. hidrogénbuborékok) a folyamat korai szakaszában lokalizálhatók, de a zajszint korlátozza a pontosságot.

Bár az AE technika már ma is hasznos eszköz a szerkezetek állapotának valós idejű monitorozására, további kutatások szükségesek a forráslokáció pontosságának növeléséhez és az automatikus kiértékelés fejlesztéséhez, különösen zajos környezetben vagy hosszabb időtartamú folyamatok esetén.

Irodalomjegyzék

- [1] Wojciech Sikorski (editor): Acoustic Emission, Published by InTechOpen, 2012, ISBN 978-953-51-0056-0
- [2] Seif Eddine Hamdi, Zoubir-Mehdi Sbartaï, Antoine Boniface, Jacqueline Saliba, Jean-Marie Henaultb: Pressure-induced damage monitoring in prestressed concrete of nuclear containment wall segments using acoustic emission technique – Application to VeRCoRs containment building, Engineering Fracture Mechanics 281(2):109089, 2023 DOI:10.1016/j.engfracmech.2023.109089
- [3] Marcel Mandela, Marco Fritzsche, Sebastian Henschel, Lutz Krüger: Lamb wave-based corrosion source location on a plate of magnesium alloy WZ73 using the acoustic emission technique, Corrosion Communications, Volume 13, pp. 60-67, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.corcom.2023.05.001>
- [4] I. Shardaikov, R. Tsvetkov, I. Glot, A. Shestakov, G. Gusev, V. Yepin: Registration and analysis of acoustic emissions in a concrete structure, Procedia Structural Integrity, Volume 65, pp. 233-240, 2024 <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.11.035>



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA ÚJRA NYOMTATOTT VÁLTOZATBAN

16 év után újra kézbe vehetik

az olvasók

az **Anyagvizsgálók Lapját!**

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

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

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

marovisz@marovisz.hu



Keménység, mint alakítási munka

Hardness as the work of indentation

Kulcsár Benedek^a, Szávai Szabolcs^b

^aMiskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet, doktorandusz, kulcsar.benedek@aemi-tech.hu

^bMiskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet, egyetemi docens, szabolcs.szavai@uni-miskolc.hu

Kulcsszavak

keménységmérés,
alakítási munka,
élettartam menedzsment

Keywords

hardness testing,
specific absorbed energy,
lifetime management

Absztrakt

A keménységmérési eljárások az iparban az élettartam-menedzsment és a szerkezeti biztonság megállapításának szempontjából is fontos módszerek. A különböző keménységmérési technológiák eredményeinek összehasonlítása azonban nehézségekbe ütközik és empirikus feltevéseket igényel. A modern mérés technika létrejöttével az anyagvizsgálatok innovációja a keménységmérések területén is bekövetkezhet. Jelen cikkben annak a lehetőségét vizsgáljuk, miként használható egy munkaalapú, összehasonlítható keménységi definíció eltérő keménységmérési módszerek esetében, illetve milyen előnyökkel jár az alkalmazása.

Abstract

Hardness measurement techniques are important methods for life cycle management and structural safety in industry. However, comparing the results of different hardnesses is difficult and requires empirical assumptions. With the advent of modern measurement technology, innovation in materials testing may also occur in the field of hardness measurement. In this paper, we explore the possibility of using a work-based comparable hardness definition for different hardness measurement methods. The advantages of such hardness definition are also considered.

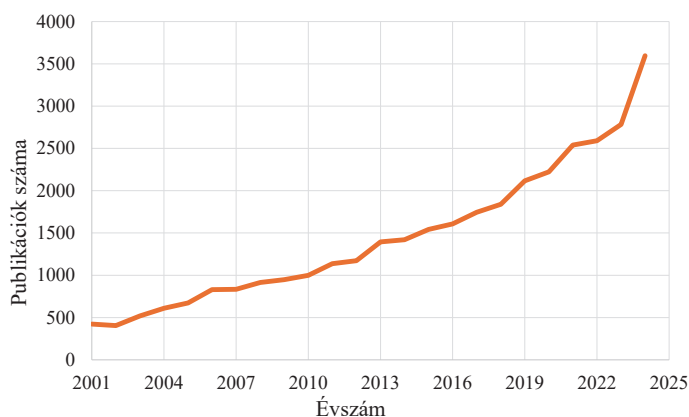
1. Bevezetés

A hagyományos keménységmérési módszerek kizárólag az anyag egy specifikus tulajdonságának meghatározására kifejlesztett eljárások. Ezeknek a vizsgálatoknak az elvégzésére több különböző módszer alkalmazható, amelyek eredményeinek összehasonlítása empirikus feltevéseken, megfeleltetésen alapszik. Az azonos eljárással készített mérések esetén is szükséges a mérési körülmények (terhelőerő, mérési idő) azonosságának vizsgálata.

A hagyományos mérési eljárások eredménye kevés információhordozó képességgel rendelkezik. Ezek a vizsgálatok csak a szerszámmozgást követően szolgáltatnak adatot, azonban ezzel a kivitelezés közben felhalmozódó információk elvesznek. A mérés technológia fejlődésével lehetőség nyílik a folyamat teljes idejének monitorozására, amelynek kiértékeléséből hasznos információk nyerhetők.

A vizsgálat során a benyomódási mélység és az anyag reakciójaként fellépő ellenőrző kapcsolata ad alapot a további anyagjellemzők meghatározására. A folyamathoz modelt társítva a rugalmas-képlékeny anyag törvények írják le a reakcióerő és a benyomódási mélység viszonyát. Amennyiben a reakcióerő és a benyomódási mélység folyamatosan mért értékek, meghatározható a bevitt és a visszanyert munka. A szerszám munkája alapján további anyagjellemzők határozhatóak meg.

Ezeknek az értékeknek a rögzítése azonban komplex, akár mikroszinten precíz műszerek kifejlesztését követeli meg. Ennek az igénynek a kielégítésére jelentek meg először a kutatásokban [1-3], ezt követően pedig a piacon azok a berendezések, amelyek a mérés folyamatának minden időpillanatát képesek rögzíteni. Az ilyen műszerek használatával kapott eredmények kiértékelésére analitikus modelleket és ezeken alapuló szabványos eljárást is kidolgoztak [4], azonban a mérés során összetett feszültségállapot alakul ki, melynek vizsgálata kizárólag a numerikus módszerek használatával lehet teljes. A numerikus módszerek alapuló inverz eljárások és az ezekhez kapcsolódó paraméterkereső módszerek fejlődése tette lehetővé az utóbbi évtizedekben a műszerezett keménységmérés



1. ábra: A műszerezett keménységmérés témájában publikált cikkek száma évenként [5]

területén folyó kutatások felgyorsulását. Ez a témában publikált cikkek számán is megmutatkozik, amit az 1. ábra szemléltet.

A módszer előnyei közül kiemelendő a laboratóriumi körülmények között biztosított magas fokú megismételhetőség és mérési pontosság. Emellett a megfelelő hordozható eszközök alkalmazásával a vizsgálat terepi környezetben, üzemi berendezéseken is elvégezhető. Így a műszerezett keménységmérés hatékony eszközként alkalmazható az üzemelő szerkezetek élettartam-menedzsmentjének támogatására, különösen a mechanikai anyagtulajdonságok nyomonkövetésében, mivel a vizsgálat szinte korlátozás nélkül, mobil eszközökkel helyszíni körülmények között is elvégezhető, miközben a vizsgálat csupán mikrométeres nagyságrendű lenyomatot hagy a szerkezet felületén [6]. A mérés eredményeként kapott erő-benyomódási mélység görbe kiértékelésén keresztül lehetőség nyílik a bevitt munka és ezáltal további anyagjellemzők meghatározására.

Az összehasonlíthatóság és a kiértékelés problémáinak megoldása lehet egy egységesített, vizsgálati módszertől független mérőszám bevezetése. Amennyiben az eljárás során folyamatosan mérhető a szerszámmra átvitt

reakcióerő és a benyomódási mélység, meghatározható az alakítás során bevitt munka. A munka felhasználható anyagjellemzőként, amely számítása lehetőséget adhat a különböző keménységmérési módszerek eredményeinek összehasonlítására. Egy mérési körülményektől függetlenített keménység definíció alkalmazásával a különböző alakú benyomó szerszámmal végzett keménységmérések eredményeinek pontos összehasonlítása válik lehetővé. 1999-ben Varga F. és társai [7] már vizsgálták ezt a problémát és a keménységmérés során kifejtett fajlagos alakítási munkát vizsgálatfüggetlennek találták, azonban ennek az eredménynek numerikus bizonyítására még nem állt rendelkezésre fejlett számítási háttér. A vizsgálati és numerikus bizonyítás témaköre így még nyitott, azonban ehhez szükséges az eddig elért eredmények áttekintése. A következő fejezetekben az eddigi eredmények áttekintése és összefoglalása a cél a témához kapcsolódó további kutatások megalapozásaként.

2. Keménységmérés

A keménységvizsgálat egy költséghatékony, egyszerű és mérnöki szempontból kellő pontossággal megismételhető eljárás. Elsőként Réaumur [8] végzett ilyen mérést egy változó keménységű rúd segítségével. Az összehasonlító eljárás során az ismert változó keménységű rúd felületét karcolták végig a vizsgált anyaggal, amely a saját keménységének értékéig hagyott karcot a rúdon. A vizsgálati módszer matematikai alapjait fektette le H. Hertz a 19. század végén [9], aki két rugalmas test elmozdulás- és feszültségmezőit vizsgálta. A keménységmérés úttörői közé tartozott J. A. Brinell [10], aki a 19. században kifejlesztette a később róla elnevezett mérési módszert. A 20. század elején további, napjainkban gyakran használt eljárásokat dolgoztak ki, mint például a Rockwell és Vickers méréseket [7]. Fontos megemlíteni, hogy magyar vonatkozású kutatások is zajlottak a témakörben: Káldor Mihály és Bárczy Pál 1967-ben publikálták eredményeiket [11], amelyben terhelőerőtől független Vickers normálkeménységet határoztak meg. Időrendben az 1. táblázat szerint, az alábbi eljárásokhoz köthetőek a keménységmérés fejlődésének lépései.

1. táblázat: A keménységmérés fejlődésének jelentősebb eseményei [7]

Műszer, szerző, név	Alkalmazási terület
Mohs (1812)	ásvány
Brinell (1900)	fém
Shore (~1920)	műanyag
Rockwell (1922)	fém, műanyag, kompozit
Vickers (1925)	kerámia, bevonat, fém, felületi réteg
Knoop (1939)	vékony minta
Leeb-Brandestini (1975)	fém

A felsorolt módszerek több különböző skála szerint határozzák meg ugyanazon anyag keménységét. A különböző vizsgálatok összehasonlítását az empirikus megfeleltetések mellett egy közös mechanizmus leírásával lehetne elérni: a benyomó szerszám által végzett alakítás leírásával, amely a vizsgálat során kisajtott anyag benyomásához szükséges. Az alakítás leírását az elvégzett munkával lehet jellemezni.

Az elterjedt módszerek kiértékelésénél nem gyakori a keménység mérőszámának munkából való származtatása, mivel a munkát a benyomó szerszám aktuális elmozdulásából és reakcióerejéből lehet számítani. A felsorolt módszerek egyike sem méri a szerszám aktuális elmozdulását, így nem alkalmasak a munka számítására.

A munkaalapú keménységdefiníció meghatározása két módszer alapján lehetséges. Az első lehetőség a műszerezett keménységmérés eredményeként kapott erő-elmozdulás görbe alatti terület számítása. Ennek eredményül egy vizsgálati eljárásra jellemző munka érték származtatható, amely előnye, hogy nem szükséges összehasonlítani a mérési körülményeket azonos geometriájú szerszámmal végzett mérések esetén.

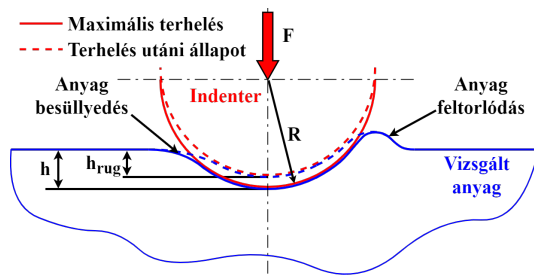
A második lehetőség, hogy a görbe alatti területből származtatott munkát a benyomó szerszám geometriájának ismeretében egységnyi térfogatra vonatkoztatjuk. Ezzel az egységnyi térfogat kiszorításához szükséges munka képezhető, amely így a szerszám geometriájától is független érték. A cikkben a műszerezett keménységmérés felhasználásával levezetésre kerül a fajlagos alakítási munka számítása két különböző benyomó szerszám geometriára is.

A piacon több gyártó is kínál műszerezett keménységmérő berendezéseket, melyeknek legnagyobb előnyei a precizitás és a megismételhetőség. Egyes gyártóknál a gépek beszerezhetőek speciális árnyékolással is a nukleáris környezetben történő alkalmazáshoz. Emellett általában a berendezésekhez kapcsolódó kiértékelő szoftvercsomagok is megtalálhatóak a cégek kínálatában. Ilyen gyártók és forgalmazók például a Froitics© valamint az UTM© vállalatok. Az UTM© cég berendezésének fejlesztéséről és működéséről kiterjedt cikket is publikáltak [12]. A műszerezett keménységmérésre alkalmas gépek az aktuális benyomódási mélység mérését több módon is megvalósíthatják. Ilyen módszerek a direkt elmozdulás mérés, a szűrőszerszám és a vizsgált anyag érintkező felületén jelentkező elektromos ellenállás változásának mérése vagy a szűrőszerszám sajátfrekvencia változásának mérése is a benyomódás közben. Ezeknek a fizikai alapjelenségeknek a felhasználása lehetőséget ad a benyomódási mélység meghatározására.

3. Fajlagos munka meghatározása műszerezett keménységmérés eredményéből

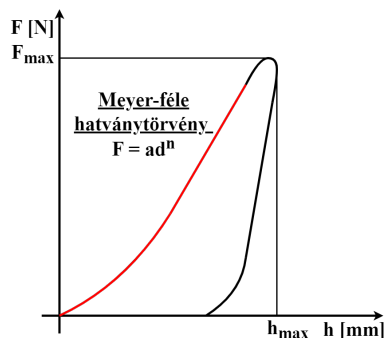
A mérés technikai eszközök fejlődése következtében a mikroszintű precíziós működés mára a korszerű mérőberendezésekkel szemben támasztott alapvető elvárásá vált. Ez a tulajdonság meghatározza a műszerezett keménységmérés technológiáját is, mivel a folyamat

alkalmas nano-, mikro- és makroszinten is megbízható eredményeket szolgáltatni. A mérési folyamat megegyezik a hagyományos keménységmérés lefolyásával, azonban eredményként egy reakcióerő-lenyomatmélység görbe kapható.



2. ábra: A műszerezett keménységmérés dinamikája

A mérés több típusú indenterrel (benyomó szerszámmal) is kivitelezhető, azonban a legelterjedtebb a golyó vagy félgömb benyomó szerszám használata. A 2. ábra a mérésben résztvevő testeket és egymáshoz viszonyított helyzetüket mutatja be. Látható, hogy a mérés rugalmas és képlékeny alakváltozást is előidéz, így a maximális benyomódási mélység (h) és a terhelés után mérhető mélység (h_{rug}) nem azonosak. Az anyag – jellegétől függően – besüllyedhet, vagy feltorlódhat az indenter környezetében attól függően, hogy a Meyer-féle hatványtörvényben található „ n ” kitevő milyen értéket vesz fel [10]. A Meyer-féle hatványtörvény alkalmazható a mérés eredményeként kapott reakcióerő-lenyomatmélység diagram pirossal jelölt első szakaszán, amelyet a 3. ábra szemléltet.



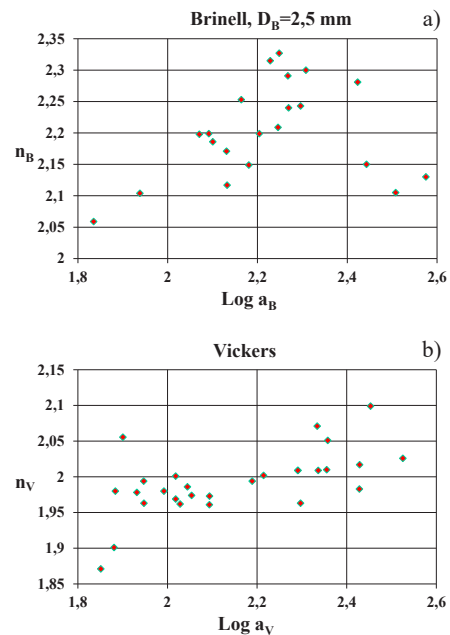
3. ábra: A műszerezett keménységmérés eredménye

Hatványtípusú összefüggések esetében általánosságban elmondható, hogy az anyag válasza (y) megegyezik egy anyagi paraméterek (a , b) által befolyásolt külső hatástényező (x) értékével. Általános alakban így az alábbi egyenlettel jellemezhető a kapcsolat:

$$y = a \cdot x^b. \quad (1)$$

A műszerezett keménységmérésnél az anyag válasza a reakcióerő (F) arra a benyomódási lenyomat-átmérőre (d), amely az anyagban keletkezik (d). Így a hatványtörvény alapján meghatározható a pillanatnyi terhelőerő és a hozzá tartozó lenyomatátmérő a mérés folyamán. A hatványtörvény az alábbiak szerint formalizálható a műszerezett keménységmérés esetén:

$$F = a \cdot d^n. \quad (2)$$



4. ábra: A Meyer-féle hatványtörvény paramétereinek ábrázolása [7]

a) Brinell keménységmérésnél;
b) Vickers keménységmérésnél

A keménységmérés hatványfüggvényében szereplő keményedési kitevő (n) értékét az anyagi konstans (a) függvényében ábrázolva különböző anyagok esetén megfigyelhető, hogy a Brinell-féle mérésnél az n paraméter nagyobb értékeket vesz fel, mint a Vickers-féle mérésnél. Az anyagi konstans ' a ' paraméter értékei a két mérésnél közel azonos értékhatárok között mozognak. Ezeket a trendeket a 4. ábra szemlélteti.

A hagyományos keménységmérési eljárások eredménye egy mértékegység nélküli mérőszám, amely anyagok összehasonlítására hivatott. Ettől eltérően a műszerezett keménységmérésnél lehetőség adódik a benyomódási munka felírására, amely a szűrőszerszám behatolása-kor kifejtett erő benyomódási úton végzett munkájával egyenértékű:

$$W = \int_0^h F dh. \quad (3)$$

Amennyiben a mérés során kisajtott anyagmennyiség felhasználásával fajlagosított benyomódási munka ismert, szükséges megvizsgálni, hogy van-e összefüggés ezen érték és a hagyományos módszerekkel mért keménységértékek között. A két mennyiség közötti kapcsolat ismeretében a mérés kiértékelése jelentősen egyszerűsíthető. A tanulmány további szakaszában a fajlagos benyomódási munka elemzése Brinell- és Vickers-típusú keménységvizsgálatok kontextusában kerül tárgyalásra. Ezt követően részletesen bemutatjuk a fajlagos benyomódási munka és a hagyományos keménységi mérőszámok közötti kapcsolat feltárását célzó vizsgálati eredményeket.

3.1 Brinell műszerezett keménységmérés

A Brinell keménységmérés esetében a használt szerszám egy keménység golyó, amely paraméterei a D_B golyóátmérő és a h_B benyomódási mélység. A lenyomat

átmérője d_B -vel jelölhető. A geometriai adottságok alapján a lenyomat átmérője az alábbi egyenlettel fejezhető ki:

$$d_B = 2\sqrt{h_B(D_B - h_B)}. \quad (4)$$

A lenyomat pillanatnyi átmérője és a terhelőerő kapcsolatát az ismertett Meyer-féle hatványtörvény írja le. A (2) és (4) egyenletet behelyettesítve a (3) egyenletbe, a benyomódási munka a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$W_B = \int_0^h a_B \cdot \left(2(h_B(D_B - h_B))^{\frac{1}{2}} \right)^{n_B} dh, \quad (5)$$

$$W_B = a_B \cdot 2^{n_B} \int_0^h h_B^{\frac{n_B}{2}} \cdot (D_B - h_B)^{\frac{n_B}{2}} dh. \quad (6)$$

Az egységnyi kisajtott anyagra vonatkoztatott fajlagos benyomódási munkát benyomódott gömbsüveg térfogatra célszerű vonatkoztatni, melynek mérete a benyomódási mélység függvényében az alábbiak szerint írható fel:

$$V_B = \pi \cdot h_B^2 \left(\frac{D_B}{2} - \frac{h_B}{3} \right), \quad (7)$$

így a fajlagos munkavégzés az alábbi:

$$w_B = \frac{W_B}{V_B} = \frac{a_B \cdot 2^{n_B} \int_0^h h_B^{\frac{n_B}{2}} \cdot (D_B - h_B)^{\frac{n_B}{2}} dh}{\pi \cdot h_B^2 \left(\frac{D_B}{2} - \frac{h_B}{3} \right)}, \quad (8)$$

$$\frac{W_B}{V_B \cdot a_B} = \frac{2^{n_B} \int_0^h h_B^{\frac{n_B}{2}} \cdot (D_B - h_B)^{\frac{n_B}{2}} dh}{\pi \cdot h_B^2 \left(\frac{D_B}{2} - \frac{h_B}{3} \right)}. \quad (9)$$

Az egyenlet változója a Meyer-féle hatványtörvényben szereplő n paraméter. Különböző keményedési kitevő értékekre lehetséges a fajlagos benyomódási munka kiszámítása az egyes golyóátmérők eseteire. A golyó átmérőjétől független konstans értéket vesz fel a fajlagos benyomódási munka értéke $n_B = 2$ esetben.

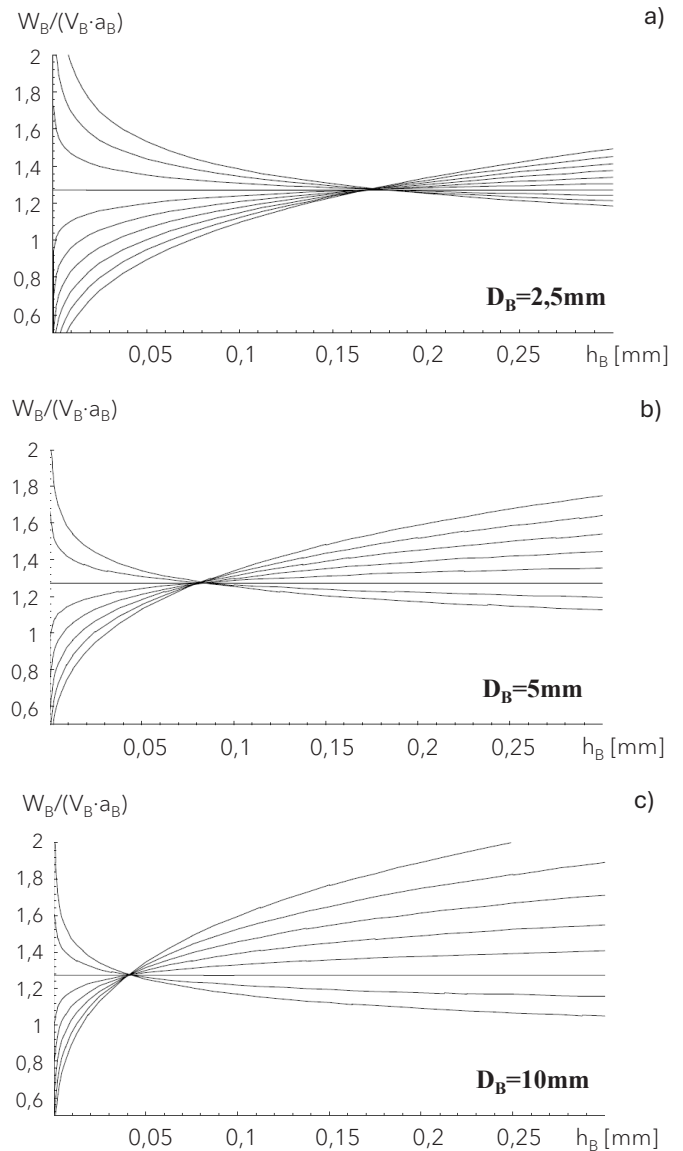
$$\frac{W_B}{V_B} = \frac{4 \left(\frac{D_B h_B^2}{2} - \frac{h_B^3}{3} \right)}{\pi \left(\frac{D_B h_B^2}{2} - \frac{h_B^3}{3} \right)} = 1,2732. \quad (10)$$

Ezzel a fajlagos benyomódási munka értéke kizárólag a hatványtörvényben szereplő a_B paraméter függvénye:

$$w_B = 1,2732 \cdot a_B. \quad (11)$$

Azokban az esetekben, amelyeknél $n_B \neq 2$, az egyenlet csak numerikus integrálással oldható meg. Az egyenlet felírható különböző keményedési kitevők esetén, majd a fajlagos benyomódási munka ábrázolható a benyomódási mélység függvényében. Ezeket a diagramokat mutatja be az 5. ábra a), b) és c) része különböző golyóátmérők esetében.

Az ábrák segítségével megállapítható, hogy a különböző golyóátmérőkkel és terhelőerőkkel végzett keménységmérési eredmények nem összehasonlíthatók. Mindegyik golyóátmérőnél az $n_B = 2$ paraméterrel kapott $w_B / a_B = 1,2732$ fajlagos benyomódási munka értéknél



5. ábra: A fajlagos benyomódási munka a benyomódási mélység függvényében [7]

a) $D_B = 2,5 \text{ mm}$

b) $D_B = 5 \text{ mm}$

c) $D_B = 10 \text{ mm}$

metszik egymást a különböző n_B paraméterű vizsgálatok eredményei. Az $n_B = 2$ esetben kijelenthető, hogy a vizsgálat eredménye független a vizsgálati körülményektől (a terhelőerőtől és a benyomódási mélységtől). Abban az esetben, amikor $n_B \neq 2$, a vizsgálat során használt terhelő erő megválasztást úgy kell megtenni, hogy $d_B = 1,2732$ lenyomatátmérő legyen a vizsgálat eredménye. Ez a feltétel bármilyen keményedési kitevőérték esetében biztosítja a mérési körülményektől független eredményt, amely lehetővé teszi a mérési eredmények összehasonlítását.

3.2 Vickers műszerezett keménységmérés

Vickers keménységmérés során a terhelés egy 136° lap-szögű gúlával történik, amely paraméterei a b oldalhossz, d_v gúla vagy lenyomatátló és h_v benyomódási mélység. A geometriai viszonyok ismeretében a benyomódási

mélység és a gúla négyzetes lenyomatának átlója közötti kapcsolat felírható:

$$h_v = \frac{b}{2 \cdot \operatorname{tg}(68^\circ)} = \frac{d_v}{2 \cdot \operatorname{tg}(68^\circ) \cdot \sqrt{2}} \cong \frac{d_v}{7}. \quad (12)$$

Az (3) egyenletbe behelyettesítve a Meyer-féle hatványfüggvény egyenletét és a Vickers-gúla geometriai kapcsolatát leíró egyenletet ($d_v = 7 \cdot h_v$) az alábbi módon fejezhető ki a nyomódási munka értéke:

$$W_v = \int_0^h a_v \cdot 7^{n_v} \cdot h_v^{n_v} dh = \frac{a_v \cdot 7^{n_v} \cdot d_v^{n_v+1}}{(n_v+1) \cdot 7^{n_v+1}}, \quad (13)$$

$$W_v = a_v \frac{d_v^{n_v+1}}{7(n_v+1)}. \quad (14)$$

A gúla által kisajtolt térfogatra vonatkoztatva írható fel a fajlagos nyomódási munka. A formalizálás során a Brinell vizsgálathoz hasonlóan, itt is elvégezhető az a_v paraméterrel való osztás:

$$V_v = \frac{b^2 h_v}{3} = \frac{d_v h_v}{3 \cdot 2} = \frac{d_v^2 d_v}{3 \cdot 2 \cdot 7} = \frac{d_v^3}{42}, \quad (15)$$

$$\frac{W_v}{V_v \cdot a_v} = \frac{d_v^{n_v+1}}{7(n_v+1)} \cdot \frac{42}{d_v^3} = \frac{6}{(n_v+1)} d_v^{n_v-2}. \quad (16)$$

A fajlagos nyomódási munka értéke ebben az esetben a keményedési kitevő (n_v) mellett függ a négyzetes lenyomatátlójától, amely függvénye a nyomóerőnek. Ha $n_v = 2$, a mérési körülményektől függetlenül számolható a keresett érték:

$$w_v = 2 \cdot a_v. \quad (17)$$

A képletben szereplő a_v értéke nem egyezik meg a Brinell keménységmérésnél kapott a_B értékkel, mivel az anyagra jellemző paraméter más értéket vesz fel a szűrőszám alakjának függvényében. A keményedési kitevő értéke a Vickers keménységmérésnél 1,6-2,3 közötti

értéket képvisel, így ezekre az esetekre ábrázolható a fajlagos nyomódási munka értéke a négyzetes lenyomatátlójának függvényében. Az eredményül kapott görbék a 6. ábra szemlélteti.

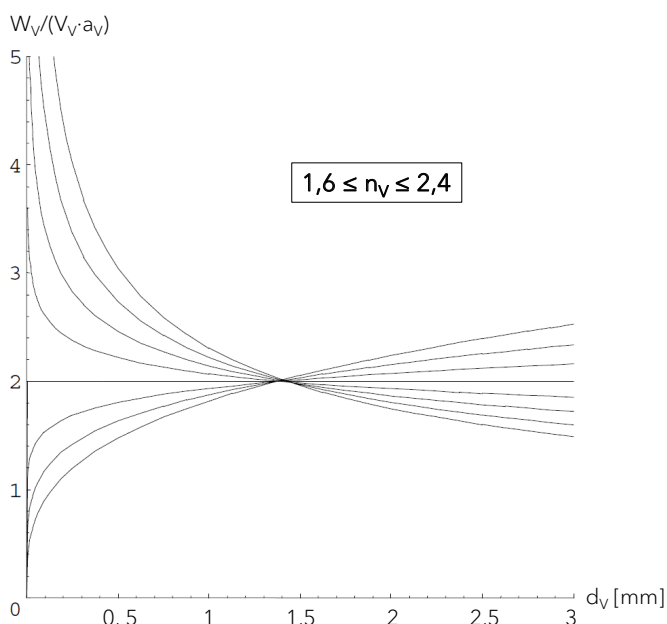
Felnagyítva a $d_v = 1,2 - 1,6$ mm tartományt látható, hogy nem egy pontban metszik az egyenletek az $n_v = 2$ esetében kapott konstans egyenest, a metszéspontok a $d_v = 1,38 - 1,42$ mm intervallumban találhatók. A metszéspontok helyét bemutató nagyított képet a 7. ábra szemlélteti.

A metszéspontok lenyomatátló értékei alapján a $d_v = 1,4$ mm értékű, azaz a $h_v = 0,2$ mm lenyomatmélységű mérések eredményei függetlenek a mérési körülményektől.

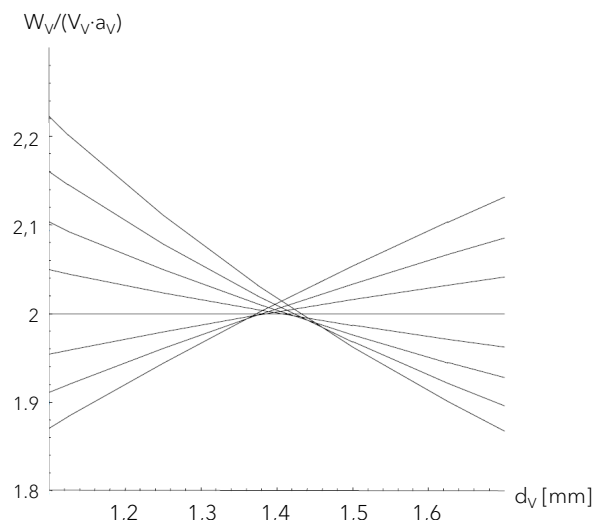
Megfigyelhető, hogy Brinell és Vickers mérések esetén a Meyer-féle hatványtörvény 'a' paramétere más értéket vesz fel abban az esetben, amikor a mérési körülményektől függetlenül a vizsgálat eredménye. Ez a megfigyelés felveti annak a kérdését, hogy a különböző szűrőszámokkal kapott fajlagos nyomódási munka értéke azonos információtartalmat hordoz-e, vagy a keménységmérés eredménye nem függetleníthető a nyomó szerszám geometriai sajátosságaitól. Abban az esetben, ha a szűrőszámtól független eredmény érhető el a különböző mérések során, akkor a Brinell- és Vickers-féle mérésekből származtatott fajlagos munka és anyagi paraméter lineáris kapcsolatát leíró egyenesek meredekségének aránya 1,571 értéket vesz fel a (18) egyenlet szerint. Az egyenlet rendezése azzal a feltételezéssel végezhető el, hogy ha a fajlagos nyomódási munka értéke összehasonlítható, akkor a megfeleltetett keménységértékhez tartozó fajlagos nyomódási munka értéke a két eljárásnál azonos ($w_B = w_v$).

$$\frac{a_B}{a_v} = \frac{\frac{w_B}{2}}{\frac{w_v}{2}} = \frac{1}{\frac{1,2732}{2}} = 1,571 \quad (18)$$

Ennek a kérdésnek a megválaszolásához a hagyományos keménységmérésből származó keménységértékek és az 'a' paraméterek kapcsolatát szükséges megvizsgálni.



6. ábra: Fajlagos nyomódási munka a lenyomat átlójának függvényében [7]



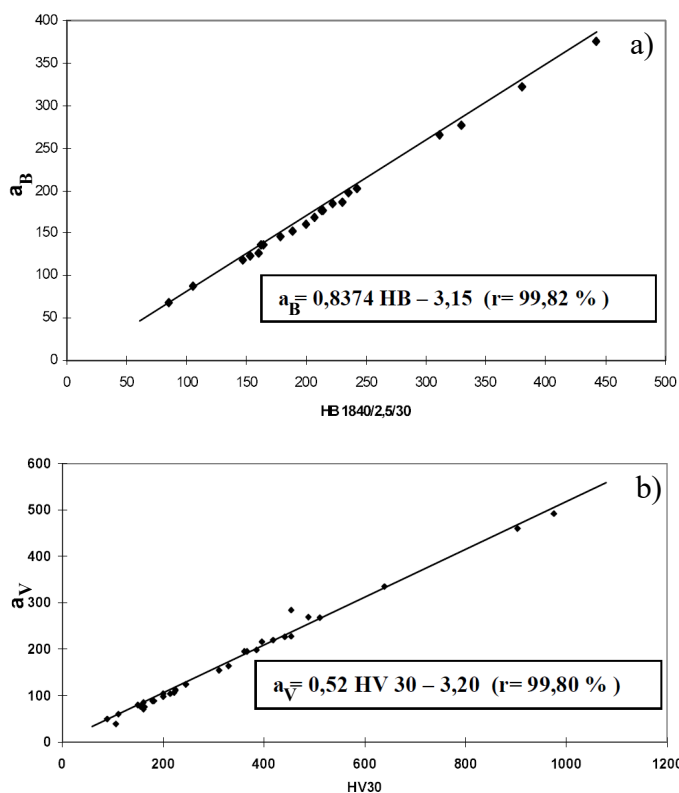
7. ábra: A metszéspontok környezetének nagyított képe [7]

3.3 A hagyományos keménység és a fajlagos benyomódási munka kapcsolata

Ebben a fejezetben annak a kérdése kerül középpontba, hogy a különböző mérési eljárásokból meghatározott fajlagos benyomódási munka értékek összehasonlíthatóak-e. Az összehasonlíthatóság bizonyítására hagyományos keménységmérések eredményei kerültek felhasználásra.

A fajlagos benyomódási munka az $n_B = 2$ és $n_V = 2$ kitüntetett esetekben mind Brinell és Vickers mérésénél kizárólag a Meyer-féle hatványtörvény 'a' kitevőjének a függvénye. Ezáltal az 'a' paraméter és a hagyományos módszerekkel meghatározott keménységérték összefüggésének vizsgálata célszerű a kezdeti lépésben. A vizsgált anyagok Brinell- és Vickers-féle keménységméréseinek függvényében ábrázolva az 'a' paramétert lineáris kapcsolatot írhat fel, amelyet a 8. ábra a) és b) részei mutatnak be.

A diagramokon feltüntetett képletben szereplő 'a' anyagi konstans értékei nem azonosak a két diagram esetében, mivel a két keménységérték, amelyből számíthatók, eltérőek. Általánosságban elmondható, hogy Brinell és Vickers eljárások esetében lineáris kapcsolat írható fel az 'a' érték meghatározásához, így vizsgálható a szűrőszerszám geometriájának 'a' paraméterre gyakorolt hatása. Mindkét esetben a korrelációs együttható 99,8 %-ot meghaladó érték, amely a hagyományos keménységértékek és a Meyer-féle hatványtörvény jó megfeleltethetőségéről és tényleges lineáris kapcsolatáról tanúskodik. Az analitikus vizsgálatok alapján a (18) egyenlet szerint várt 1,571-es arányhoz képest a két lineáris illesztés meredekségének aránya 1,61-nek adódott, amely kevesebb mint 3 %-os



8. ábra: A HB és HV30 keménységértékek függvényében ábrázolt 'a' paraméter [7]

eltérést jelent. Ez alátámasztja az analitikus elemzésnél megfogalmazott feltevéseket, miszerint a vizsgálat típusától függetlenül a fajlagos alakítási munkából származtatott keménységi eredmény.

4. Összefoglalás

A műszerezett keménységmérés információhordozó képességének vizsgálatára analitikus elemzés került bemutatásra a cikkben. A hagyományos keménységmérési eljárások gépeinek pontos műszerekkel történő ellátása lehetővé tette a keménységmérés teljes folyamatának elemzését az erő-elmozdulás görbe vizsgálatán keresztül.

A benyomódási munka meghatározásának alapja a Meyer-féle hatványtörvény, amely az anyag külső behatásokra adott reakcióját írja le. A keménységmérés esetében az anyag reakciója a szerszám benyomódásra előidézett reakcióerő értéke volt. A cikkben bemutatásra kerültek a Brinell és Vickers mérés esetére aktualizált fajlagos benyomódási munkaérték meghatározásához használható egyenletek. Az egyenletek alapján kapott görbék vizsgálata rávilágított, hogy mindkét mérés esetében meghatározható a mérési körülményektől (benyomódási erő, szűrőszerszám alak, szűrőszerszám méret) független specifikus fajlagos benyomódási munka, amely összehasonlíthatóvá teszi a különböző anyagokon végzett mérések eredményeit.

Aspecifikus fajlagos benyomódási munka értéke a Brinell- és Vickers-féle vizsgálatoknál akkor határozható meg, ha az anyagra jellemző keménység kitevő értéke $n_B = 2$ vagy $n_V = 2$ értéket vesz fel. Emellett azokban az esetekben, amelyeknél $n \neq 2$, a keménységi kitevőtől függetlenül, jól összehasonlítható eredmény olyan benyomódási mélység használatával érhető el, amely az adott 'n' kitevőjű és az $n = 2$ esetben kapott specifikus fajlagos benyomódási munkagörbéinek metszéspontjából adódik. A Vickers vizsgálat esetében ez a benyomódási mélység $h_V = 0,2 \text{ mm}$, míg a Brinell vizsgálatnál a h_B értéke függ a golyó átmérő értékétől, mivel a specifikus fajlagos benyomódási munka eléréséhez a lenyomat átmérőnek $d_B = 1,2732 \text{ mm}$ értéket kell felvennie. A specifikus fajlagos benyomódási munka ismeretében, az összehasonlíthatóság előnye előrejelíti a mennyiség mérőszámként történő alkalmazásának lehetőségét.

Összehasonlításra került a bevezetett fajlagos benyomódási munka értéke a különböző szűrőszerszámmal végzett keménységmérések hagyományos kiértékeléséből származtatható eredményekkel. A Meyer-féle hatványtörvény 'a' paramétere és a fajlagos benyomódási munka értéke a hagyományos keménységértékekkel lineáris kapcsolatban áll, amely alapján megfogalmazható, hogy a fajlagos benyomódási munka értéke a szűrőszerszám geometriájától független információhordozó paraméter.

Visszatérve az 1. ábrán bemutatott tendenciára azt is mondhatjuk, hogy a keménységmérés – mint költséghatékony vizsgálati módszer – a numerikus módszerek és paraméterkereső eljárások eredményeként újból „aranykorát” éli. Ebből adódóan nagyon is aktuális kutatási terület az, amely a folyamatot egészében vagy részleteiben

elemzi mind mechanikailag, mind pedig anyagtudományi szempontból, keresve a fizikailag vagy korrelációs kapcsolatokon nyugvó anyagtulajdonságok meghatározásának lehetőségeit. A következő közleményben e kérdéskörre fókuszálunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Haggag, F. M. "In-Situ Measurements of Mechanical Properties Using Novel Automated Ball Indentation System" (1993), ASTM Special Technical Publication; pp. 27-44.; doi: 10.1520/STP12719S
- [2] Das, M., Pal, T. K., Das, G. "Use of Portable Automated Ball Indentation System to Evaluate Mechanical Properties of Steel Pipes" (2012), A Transactions of the Indian Institute of Metals folyóiratban, 65. kötet, pp. 197-203.
- [3] Jang, J.-I., Choi, Y., Lee, J.-S., Lee, Y.-H., Kwon, D., Gao, M., Kania, R. "Application of instrumented indentation technique for enhanced fitness-for-service assessment of pipeline crack" (2005), Az International Journal of Fracture folyóiratban, 131. kötet, pp. 15-34.
- [4] ISO 14577-1:2015 (Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters)
- [5] „ScienceDirect,” [Online]: <https://www.sciencedirect.com/search?qs=instrumented%20indentation>. (Megtekintés dátuma: 2025.06.30.)
- [6] Hay, J., „Introduction to instrumented indentation testing,” Experimental Techniques, 33. kötet, <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2009.00541.x>, pp. 66-72., 2009.
- [7] Varga F., Tóth L. és Guy, P., Anyagok károsodása és vizsgálata különböző üzemi körülmények között: Keménységmérés, Miskolc: Miskolci Egyetem, 1999.
- [8] Chandler, H., Hardness Testing (2nd edition), ASM International, 1999.
- [9] Hertz, H., Miscellaneous Papers, Macmillan and Co., 1896.
- [10] Hill, R., Storåkers, B. és Zdunek, A. B., „A theoretical study of the Brinell hardness test,” Proceedings of the Royal Society of London, 423. kötet, pp. 301-330, 1989.
- [11] Káldor M. és Bárczy P., „Terheléstől független keménységi mérőszám és meghatározása,” Bányászati és Kohászati lapok, pp. 349-351., 1967.
- [12] Omacht, D., Li, Y., Wang, B., Sun, M., Zhang, F., Mu, S. és Yu, F., „Mechatronics design and architecture of evaluation software for a portable instrumented indentation test system,” Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 136. kötet, 2025.



AEMI Atomenergia Mérnökiroda Kft. Műszaki Divízió, Miskolc

Az AEMI Kft. Műszaki Divíziójában számos kulcsfontosságú területen végzünk mérnöki tevékenységeket a legmodernebb technológiák és innovatív megoldások integrálásával. E megoldások alkalmazása révén lehetőség nyílik a berendezések és szerkezetek állapotának folyamatos, megbízható monitorozására és értékelésére. A digitális és intelligens rendszerek fejlesztése során kiemelt szerepet kapnak a legújabb technológiai irányvonalak, köztük a mesterséges intelligencia és gépi tanuláson alapuló módszerek.

Magasan képzett szakértőink képesek részletes és pontos előrejelzéseket készíteni a különböző szerkezeti elemek viselkedéséről és állapotváltozásairól, míg a rendelkezésre álló fejlett technológiai háttér garantálja a szolgáltatások magas színvonalát és megbízhatóságát.

Fókuszterületeink:

- szerkezetintegritás elemzés és üzemelés biztonsági értékelés,
- hibaértékelés, öregedéskezelés és károsodási folyamatok vizsgálata,
- mérnöki numerikus modellezés,
- élettartam és törésmechanikai számítások,
- állapotértékelés, roncsolásmentes vizsgálattervezés,
- digitális és intelligens megoldások,
- online monitoring rendszerek fejlesztése,
- műszaki kutatás – fejlesztés.



www.aemi.hu



info.tech@aemi.hu

Felhívás

A nyomástartó rendszerek biztonságával kapcsolatban 1979-ben, Répcelakon 1969. január 2-án bekövetkezett ipari katasztrófa 10. évfordulóján indult, évenként megrendezett „Csopaki-rendezvény”, később **Balatoni Ankét** értékeinek megőrzéséhez kötődően a Gépipari Tudományos Egyesület (GTE) és Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum (MOGIM) **„NYOMÁSTARTÓ RENDSZEREK BIZTONSÁGÁÉRT DÍJ”** elismerést alapított a következő célkitűzéssel:

- A díjat azok a nyomástartó-rendszer tervezők, fejlesztők, gyártók, üzemeltetők, vizsgálók, oktatók, hatósági szakemberek kaphatják, akik munkájuk során huzamosabb időn keresztül az alapítói célban megfogalmazott tevékenységet végezték.
- A bronz plakett és oklevél mellet a díjazott pénzjutalomban is részesül, amelynek összegében a Károly Róbert verette „arany forint” mindenkori értéke az irányadó.
- Az évenkénti egy díjazott személy kiválasztásában a hazai szakembergárda javaslata alapján a díj Kuratóriuma dönt.
- A díj átadására a Balatoni Ankéton ünnepélyes keretek között kerül sor, első alkalommal 2017-ben.
- A díj Alapító Okirata a GTE honlapján megtekinthető.

Tisztelettel kérjük szakembereinket, hogy javaslataikat néhány soros indoklással **2025. szeptember 1.-ig** küldjék meg a következő címekre:

Szántó Orsolya: penzugy@gteportal.eu és
Tóth László: laszlo.toth@bayzoltan.hu

Amennyiben a díj összegének fedezésében és az ebben rejlő reklámértékben kíván tájékozódni, úgy az előbbieken megadott címeznél érdeklődjön, ahonnan kimerítő tájékoztatást kaphat.

Az alapítók meggyőződéssel vallják, hogy a műszaki szakmai közösség erősödését, társadalmi szerepének tudatosítását szolgálják azzal, hogy az arra érdemes, és szakmánk közösségének tiszteletére érdemes kollégánk munkáját ezúton éves rendszerességgel elismeri.

Eddigi díjazottak:

2017 Kurucz István
2018 Fehérvári Attila
2019 Bacskai Antal
2020 (a rendezvény elmaradt)
2021 Gyarmati István

2022 Németh János
2023 Wiegand Krisztina
2024 Trampus Péter

XIV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás beszámolója

Report of the XIV Non- destructive Materials Testing Conference and Exhibition



Idén is megrendezésre került a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség hagyományos rendezvénye, a XIV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás (RAKK) Egerben, a Hotel Eger&Park szállodában. A három napos rendezvény 2025. március 25-től 27-ig került lebonyolításra immár hagyományosan a Diamond Congress konferencia-szervező cég közreműködésével. A rendezvény az idei évben rekordokat döntögetett, mind résztvevők és előadások terén is, melyeket a számok jól mutatnak: 154 résztvevő, 35 előadás, 5 poszter. Ezen számokat a RAKK Tematikai Bizottságának lelkiismeretes munkája tette lehetővé. A változatos előadásokat a bizottság 8 szekcióra bontotta. Az idei év platina fokozatú támogatója a KE-TECH Kft., arany fokozatú támogatója az UNICAM Magyarország Kft. és ezüst fokozatú támogatói az ORSZAK Novum Kft. és a UNIFORD-R.M. Kft. voltak. Velük együtt összesen 11 kiállító gazdagította a kiállítói teret.

bizottságának elnöke Gémes György András volt, aki az egész szervezési folyamat lebonyolításában részt vett.



A konferencia megnyitója (Gáti József, Gémes György András, Trampus Péter és Biró Gyöngyvér)

A konferencia első napján került átadásra a hazai roncsolásmentes vizsgálat előmozdítását és a MAROVISZ-ért végzett munkát elismerő MAROVISZ Díj, amelynek 2025. évi díjazottja Skopál István okl. fizikus volt. A díjat a Trampus Péter, a MAROVISZ elnöke és Gáti József, a Kuratórium elnöke adta át számára.



Kiállítói tér

A konferenciát a MAROVISZ elnöke, Trampus Péter nyitotta meg, majd köszöntötte a résztvevőket a társ-szervezetek elnökei, a Magyar Hegesztési Egyesület részéről Gáti József, valamint a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületétől Biró Gyöngyvér. Az idei RAKK tematikai



A MAROVISZ Díj átadása Skopál István részére



RAKK 2025 pillanatképei

A rendezvény lehetőséget adott az anyagvizsgálati határterületek bemutatkozásának is, amely több érdekes előadással kecsegtette az idei résztvevőket. Így a konferencia első előadása is Barkóczy Pétertől – a „Magyarországon használt és készített bronz ágyúk sajátosságai és tűzérési szerepük anyagvizsgálatuk eredményei alapján” – nagy sikert aratott a hallgatóság körében. Ezen a napon több előadás mellett hangzott el Lublőy Éva előadása is, amely a beton CT vizsgálatairól szólt.

A szakmai előadásokon túl a roncsolásmentes vizsgálatok körét érintő szabályozások, szabványok, előírások, szervezetek és kutatási témák is bemutatásra kerültek. Emellett köreinkbe köszönthettük Hugyeczi Attilát és Bánki Attilát is, akik a PAKS II projekt és az 5-ös, 6-os blokkhoz szükséges berendezések aktuális helyzetéről számoltak be. Külön öröm, hogy a radiográfiára és az ultrahangos vizsgálatokra egy-egy teljesen különálló szekciót tudtuk létrehozni, valamint új technológiákat, vívmányokat is be tudtak mutatni a kiállítók.

Az idei RAKK új teret adott az anyagvizsgáló laboroknak is, akik egy-egy érdekes témát mutathattak be roll-upjaikon, amelyek a kiállítói folyosón, azonos stílusban sorakoztak fel. A roll-upokon a hagyományos anyagvizsgálati technológiákon át, különös feladatok megoldásán keresztül teljes üzemek üzemidőhosszabbításáig minden téma megtalálható volt. A sikerességet a kiállított roll-upok sokasága is mutatja, összesen 16 roll-up jelent meg a rendezvényen. A jövőben változatos témában, de ezt a lehetőséget szeretnénk fenntartani a laborok számára, esetleg kibővíteni a forgalmazók, és a végfelhasználók köreivel is.



Anyagvizsgáló laborok roll-up kiállítása

A rendezvény szakmai részei mellett közösségteremtő, baráti összejövetelekre is lehetőséget adott a rendezvény a szekciók közötti szünetekben a kiállítói standok látogatása közben, valamint az esti bankett keretein belül. Köszönjük minden kedves résztvevőnek, hogy jelenlétével, előadásával gazdagította a rendezvényt!

A látogatók visszajelzései alapján sikeres és hasznos volt a konferencia, pozitívan emelték ki annak sokszínűségét, széles szakmai vertikumát.

Mindent összevetve a 2025. évi rendezvény szakmailag színvonalas, környezeti feltételeiben méltó volt a roncsolásmentes szakma ünneplésére. Köszönet a résztvevőknek, az előadóknak, hiszen a siker általuk valósult meg. Köszönet illeti a Szövetség régi stratégiai partnerét a Diamond Congress Kft.-t, amiért rendezvényszervező munkájukkal stabil hátteret adtak a konferenciának és ezzel hozzájárultak az esemény emlékezetessé tételéhez.

Juhász-Erdei Réka, Gémes György András

Szakmai szervezetek, egyesületek, szövetségek, tagok, képviselők – Mit tudunk nyújtani jelenleg a MAROVISZ és MAE tagjainak?

Professional organisations, associations, federations, members, representatives - What can we currently offer MAROVISZ and MAE members?

Bevezetés

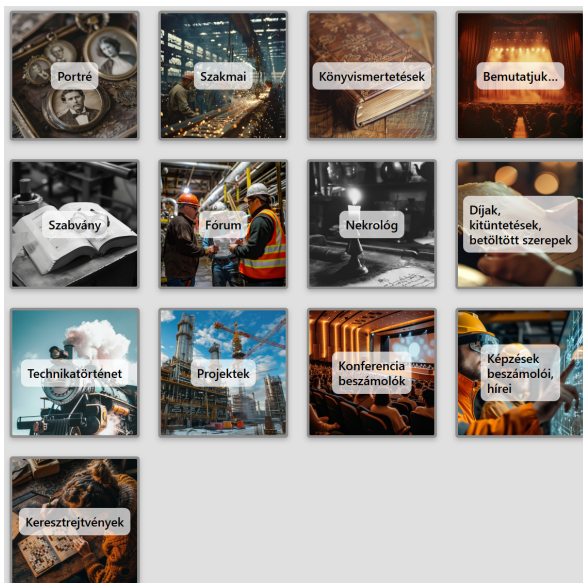
Jogosan merül fel a kérdés, hogy egy szakmai szervezet milyen értéket, támogatást vagy lehetőségeket képes nyújtani tagjai számára. Erről már nem csupán előző lapszámunkban polemizáltunk, hanem egy elképzelt struktúrát is bemutatunk¹.

Az anyagvizsgálattal két szakmai szervezet foglalkozik. Ezek egyike a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE, <https://mae2012.hu/category/fooldal/>), a másik a Magyar Rongcsolásmentes Vizsgáló Szövetsége (MAROVISZ, <https://www.marovisz.hu/>). Ez utóbbi gondozza és kiadja az Anyagvizsgálók Lapjának (AVILAP).

Jelen közlemény alapvető célja az előző lapszámban bemutatott struktúrában összegyűjtött cikkek, közlemények, információk mennyiségének érzékeltetése, valamint a MAROVISZ és a MAE tagság számára rendelkezésre álló hozzáférési lehetőségek és módszerek ismertetése. Egyben tisztelettel kérjük tagjainkat arra is, hogy segítsék a lap Szerkesztőbizottságát a minden rendszerben előforduló hibák folyamatos kiküszöbölésében.

Anyagvizsgálók Lapjában megjelent közlemények tematikus gyűjteményei

Az 1991-ben először megjelent lapszámok nagyszámú közleménye különböző szakmai területekhez kötődtek. Az összegyűjtött anyagok tematikus osztályozására törekedtünk, az így kialakított struktúra áttekinthető formáját az 1. ábra mutatja be.

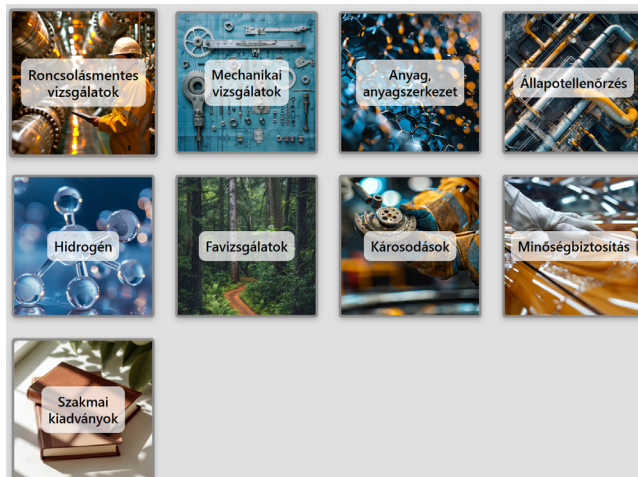


1. ábra: Az Anyagvizsgálók Lapja a MAROVISZ és MAE tagjai által elérhető felülete

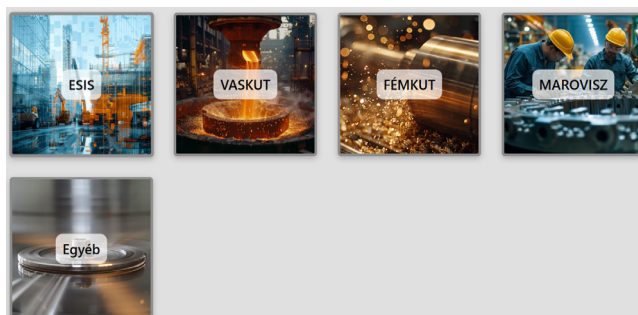
Egy-egy témakör tovább finomítható és kiegészíthető és nem csupán az AVILAP-ban megjelent közleményekkel. Erre utal a 2. ábra, ahol például a „Portré” rovat eddigi tematikus bontása is jól nyomon követhető, szemlélítve a kategórián belüli tartalmi sokszínűséget.



2. ábra: A „Portré” tervezett témaköréi, amely természetesen tovább bővíthető, kiegészíthető



3. ábra: Az AVILAP szakmai közleményeinek tervezett besorolása, amely természetesen bővíthető és újjakkal kiegészíthető



4. ábra: A hazai és nemzetközi szakmai szervezetekkel és a hazai anyagvizsgáló laboratóriumokkal azok történetével foglalkozó írások gyűjteményei

¹ Trampus P., Tóth L., Juhász-Erdei R., Dudra J., Zsíros Zs. J.: Szakmai szervezetek, egyesületek, szövetségek, tagok, képviselők – mit kaphatnak és adhatnak?, Anyagvizsgálók Lapja, 2024/IV. lapszám, 37-39. old.

Egyéb gyűjtemények

Az egyéb gyűjtemények közül a TEMPUS S_JEP_11271 projekt keretében, a partnereinkkel készített mintegy 2500 oldal terjedelmű oktatási anyagok is elérhetők. Ezek az alábbiakban felsorolt területeket érintik:

- A kárelemzés jelentősége, módszertana, eszközei
- A műszaki mechanika néhány kísérleti módszere
- Peremelem módszer integrálegyenletei
- A repedésmegállás és vizsgálata
- A törésmechanika alapelvei (Paris-VIDEO)
- A törésmechanika és az anyagvizsgálat története
- Az R6 módszer és gyakorlati alkalmazása
- Dinamikus törési jellemzők meghatározása
- Előadások a kárelemzés elveiről (VIDEO sorozat)
- Fáradásos repedésterjedési vizsgálatok
- Fejezetek a nemlineáris károsodás- és törésmechanikából
- Keménységmérés
- Kisciklusú fárasztás
- Lineáris törésmechanika
- Műszaki hibák és törvénytudományi műszaki tudományok
- Rezgésmérések és rezgésvizsgálatok
- Rongcsolásmentes vizsgálati módszerek
- Törésmechanikai példatár

Pillanatnyilag mintegy 1400 cikk, közlemény, anyag érhető el, tölthető le szabadon a MAROVISZ és MAE tagjainak. Ezt foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat: A MAROVISZ és MAE tagjai által elérhető dokumentumok, közlemények száma

Fő kategória	Alkategória	Cikkek száma
Portré	MAE elnökök portréja Ifjan-Éretten-Öreg Skopál István interjúsorozata Bay Zoltán Gyulai József Pungor Emőd Prohászka János Egyéb...	86 db
Szakmai cikkek	Rongcsolásmentes vizsgálatok Mechanikai vizsgálatok Anyag, anyagszerkezet Állapotellenőrzés Hidrogén Favizsgálatok Károsodások Minőségbiztosítás Szakmai kiadványok Tóth László kiadványai TEMPUS Szerkezetek integritása	804 db
Könyvismertetések		44 db
Bemutatjuk...	ESIS VASKUT FÉMKUT MAROVISZ Egyéb...	120 db
Szabvány	Szabványügyi tájékoztatók Egyéb hírek	73 db
Fórum	Anyag, anyagtudomány fogalma Fekete - Szerkezetintegritás	9 db
Nekrológ		57 db
Díjak, kitüntetések, betöltött szerepek		29 db
Technikatörténet		9 db
Projektek		8 db
Konferencia beszámolók		136 db
Képzések beszámolói, hírei		136 db
Keresztjelentések		9 db

Az adatbázishoz való hozzáférés mechanizmusa

Ennek kialakításánál egyrészt a jogosultságot, másrészt a biztonságot vettük figyelembe. Lépései:

1. A MAROVISZ vagy MAE tagjai ezt e-mailben kérik a titkárságról
 - marovisz@marovisz.hu vagy
 - titkarsag@mae2012.hu
2. A titkárság ellenőrzi a jogosultságot és értesíti az adatbázis kezelőjét
3. A kezelő megadja a hozzáférést biztosító kódokat.



www.anyagvizsgaloklapja.hu

Összefoglalás, jövőkép

Természetes törekvésünknek tartjuk, hogy az adatbázist folyamatosan bővítsük. Igyekszünk minden egyes lapszámban új információkat megjelentetni ugyanúgy, ahogyan azt a MOL Petrolkémia Zrt. Meghibásodási Archívuma kapcsán tesszük. Jelenleg Terplán Zénó professzor technikatörténeti gyűjteményének feldolgozásán dolgozunk.

Egyben tisztelettel kérjük tagjainkat, hogy hibáikat – mert aki dolgozik az hibát is elkövethet – jelezzék, valamint a szakmai közéletben terjesszék ezen célzott információforrást.

Prof. Dr. Trampus Péter

Prof. Dr. Tóth László

Juhász-Erdei Réka

Dr. Dudra Judit

Zsíros Zsombor József

(Szerkesztőbizottság)

SZABVÁNYÜGYI TÁJÉKOZTATÓ – 2024

Standardisation information – 2024

Azoknak a Műszaki Bizottságoknak a tavalyi évről szóló jelentései, melyekben a MAROVISZ képviselteti magát.

MSZT/MB 410 Roncsolásmentes vizsgálatok

2024. évi tevékenység

Jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven bevezetett szabványok

MSZ EN ISO 18563-3:2024	Roncsolásmentes vizsgálat. A fázisvezérelt ultrahangos berendezések jellemzése és igazoló ellenőrzése. 3. rész: Összetett rendszerek (ISO 18563-3:2024)
MSZ EN ISO 5580:2024	Roncsolásmentes vizsgálat. Ipari radiográfiai átvilágítóegység. Minimumkövetelmények (ISO 5580:2023)

Magyar nyelven kiadott szabványok

MSZ EN ISO 10675-1:2022	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átvételi szintjei. 1. rész: Acél, nikkal, titán és ötvözetek (ISO 10675-1:2021)
MSZ EN ISO 10675-2:2022	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálatok átvételi szintjei. 2. rész: Alumínium és ötvözetek (ISO 10675-2:2021, 2022. februári helyesbített változat)

2024. évi ülések

Az MSZT/MB 410 2024-ben nem tartott ülést, két döntést hozott írásos szavazási eljárással.

2025. évben várható tevékenység

Még nincs elfogadott munkaprogram (2024. decemberében).

Fordításra váró szabványok

MSZ EN 17290:2022	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. Erózió és/vagy korrózió miatti vastagságcsökkenés vizsgálata TOFD-módszerrel
MSZ EN 17501:2022	Roncsolásmentes vizsgálat. Hőterképes vizsgálat. Lézergerjesztésű aktív termográfia
MSZ EN ISO 17405:2022	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. A hegesztett, hengerelt és robbantott platírozás vizsgálati módszere (ISO 17405:2022)
MSZ EN ISO 23864:2022	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálatok. Automatizált, teljesen fókuszáló módszer (TFM) és kapcsolódó technológiák alkalmazása (ISO 23864:2021)
MSZ EN ISO 19232-5:2022	Roncsolásmentes vizsgálat. A radiográfiai felvételek képmínősége. 5. rész: A képéletlenség és az alapvető térbeli felbontás értékének meghatározása kéthuzalos képmínőségjelzőkkel (ISO 19232-5:2018)

MSZT/MB 318 – Kazánok és nyomástartó edények

2024. évi tevékenység

Jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven bevezetett szabványok

MSZ EN 17127:2024	Kültéri hidrogén-töltőállomások hidrogéngáz-üzemanyag tankolására, a töltési művelet leírásával
MSZ EN 13445-2:2021 +A1:2024	Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Anyagok
MSZ EN 13445-4:2021 +A1:2024	Nem fűtött nyomástartó edények. 4. rész: Gyártás

Magyar nyelven kiadott szabványok

A Bizottság nem adott ki magyar nyelvű szabványt.

2024. évi ülések

Az MSZT/MB 318 2024-ben nem tartott ülést.

2025. évben várható tevékenység

Még nincs elfogadott munkaprogram (2024. decemberében).

Fordításra javasolt szabványok

MSZ EN 13445-2:2021 +A1:2024	Nem fűtött nyomástartó edények. 2. rész: Anyagok
MSZ EN 13445-4:2021 +A1:2024	Nem fűtött nyomástartó edények. 4. rész: Gyártás

Korszerűsítendő, eredeti MSZ szabványok

MSZ-05-65.0005:1979	Helyhez kötött üzemű légtartály
MSZ-05-95.0025:1975	Nyomástartó edények. Csőláb állóhengeres készülékek alátámasztására
MSZ-05-95.0026:1976	Nyomástartó edények. Hegesztett készülékláb
MSZ-09-85.0021:1989	Kényszeráramlású forróvízkazánok távhőrendszeri alkalmazásának követelményei
MSZ-09-96.0721:1985	Gőz- és forróvíz-kazánok. A gáztüzelő berendezések biztonságtechnikai követelményei
MSZ-09-96.0722:1985	Gőz- és forróvíz-kazánok. Az olajtüzelő berendezések biztonságtechnikai követelményei
MSZ-09-96.0723:1985	Gőz- és forróvíz-kazánok. A szénportüzelő berendezések biztonságtechnikai követelményei
MSZ-09-96.0731:1985	Gőz- és forróvíz-kazánok felállítása és üzemeltetése. Biztonságtechnikai követelmények
MSZ-09-96.0732:1985	Gőz- és forróvíz-kazánok kiegészítő berendezései. Műszaki követelmények
MSZ-09-96.0733:1986	Kazánok és nyomástartó edények vizsgálati nyilászárói
MSZ-09-96.0734:1988	Gőz- és forróvíz-kazánok. Üzemviteli biztonságtechnikai ellenőrzések
MSZ-09-96.0735:1988	Fűtött nyomástartó edények. Biztonságtechnikai követelmények
MSZ 13834-2:1985	Csőköteges acél hőcserélők. Műszaki követelmények
MSZ 14258:1983	Helyhez kötött gőzkazánok típusai és jellemzői
MSZ 1728:2019	Cseppfolyósított propán-bután gázokat tároló, föld feletti tartályok újraminősítése külső ellenőrzés, vastagságmérés és a maradék élettartam becslése alapján
MSZ 4664:1983	Gőzturbinák fogalom meghatározásai
MSZ 4668:1983	Generátorok gőzturbináinak típusai és jellemzői
MSZ 4673:1985	Gőzturbinák általános műszaki követelményei és vizsgálata
MSZ 4676:1980	Gőzturбина és segédberendezései hatásfokának és egyéb jellemzőinek meghatározása

MSZT/MCS 903 – Megfelelőségértékelés

A Műszaki Csoport titkárságától nem érkezett beszámoló jelentés.

Skopál István
MAROVISZ képviselő az MSZT-ben

Beszélgetés a 2025. évi MAROVISZ Díjassal, Skopál Istvánnal

Interview with the 2025 MAROVISZ Prize winner, István Skopál

Kérdező/Questioner: Tóth László

Kedves István! Először is engeddd meg hogy gratuláljak a 2025. évi MAROVISZ-Díjhoz!

Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen fizikusként végezve első munkahelyed az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete volt. Előadásodat a volfrámkutatásokról indítottad. Hallgatva téged, bennem három kiváló szakember neve szinte azonnal felmerült:

Prohászka János¹ (1920-2012) a BME professzora, aspiránsvezetőm, Kovács István² (1933-2011) professzor az ELTE-ről, aki kandidátusi disszertációm egyik bírálója volt (1980) és az általam csupán könyvei révén ismert Millner Tivadar³ (1899-1988).

Te hogyan láttad „belülről” a „volfrám-kutatást”?

Mindenekelőtt nagyon köszönöm a gratulációt!

Hadd kezdjem azzal, hogy nekem volt szerencsém személyesen is találkozni Millner Tivadar akadémikussal, aki a 70-es években tudományos tanácsadó volt a Műszaki Fizikai Kutató Intézetben, és természetesen „hozzá tartozott” az Egyesült Izzóval talán a legszorosabb kapcsolatban álló Fémkutatási Főosztály is, ahová – két évfolyamtársammal együtt – engem is felvettek 1975-ben. A felvétellel kapcsolatos formalitások elintézése után főosztályvezetőnk (Dr. Bartha László a kémiai tudományok doktora) bemutatott minket Millner Tivadarnak is. Mindenki által tisztelt, kedves ember volt, aki – már túl a 70-en – rendszeresen kb. fél napokat töltött az intézetben. Sőt 1980 táján részt vett azon a kihelyezett főosztályi szemináriumon is, amelynek keretében egy akkortájt megjelent, a porkohászatot áttekintő könyvet dolgoztunk fel.

A kérdésedet illetően előbb felvázolom egykori főosztályunk felépítését. A Fémkutatási Főosztály három osztályból állt: Fémfizikai, Fémtani és Volframkémiai Kutatási Osztályból. Mi, új segédmunkatársként a fémfizikai részlegen kezdtünk el dolgozni, ahol jellemzően a volfrám-huzalok elektromos vezetőképessége és ötvöztartalma, ill. kristályszerkezete közti kapcsolatot vizsgálták, valamint a gáztöltésű izzólámpákban lezajló anyagáramlásokat számolták. A Fémtani Osztályon szakító-, röntgen- és elektronmikroszkópos vizsgálatokkal követték volfrámrudak és -huzalok mechanikai alakítások közbeni viselkedését. A vegyészek elsősorban a volfrám és különféle vegyületei és szennyezései „vizes” analitikájával, termikus bomlásával és redukcióival, tömegspektroszkópiai vizsgálataival foglalkoztak. (Hozzá kell tenni, hogy több olyan munka is volt, melyet a Szerkezetkutatási Főosztállyal, illetve a Központi



Fizikai Kutató Intézettel együttműködve végeztek el.)

A 70-es és 80-as években folyt „volfrámkutatási” tevékenység meglehetősen széles körű volt, én a következő három csoportba sorolnám azokat a munkákat:

- alapkutatás jellegűek, pl. az ötvözők és a kristályhibák ellenállásjárulékára vonatkozó Matthiessen-szabály, valamint azok ellenállás- és termofeszültség-járulék közötti kapcsolatra vonatkozó Nordheim-Gorter-szabály demonstrálása hélium- és szobahőmérséklet között végzett mérésekkel;
- alkalmazott kutatások, pl. az izzószámban lévő káliumbuborékok viselkedésének, a szemcseszerkezetre gyakorolt előnyös hatásának és az ívleégésben játszott szerepének a tanulmányozása;
- közvetlen gyártástechnológiai problémákkal kapcsolatos munkák, pl. dróthúzás közbeni szálszakadások gyakoriságának csökkentése; süttött és előszinterelt volfrámrudak hosszmenti homogenitásának ellenőrzése; a spiralizálás utáni molibdénmag-kioldás kevésbé vízigényes technológiájának kidolgozása.

Rendkívül örülök, hogy azzal a szakemberrel kezdted válaszodat, akit én csupán egy kicsit ismerhettem meg Prohászka Jánossal folytatott beszélgetéseink során, ill. egy nagyobb alakú, rácshibákkal, diszlokációkkal foglalkozó könyvéből⁴. Mellékelem Prohászka Jánosnak azon publikációit [1-10], amelyeknek vannak főosztályvezetődhöz és Millner Tivadarhoz kötődő kapcsolai. Érintett voltál e területen, vagy teljesen más irányba mentél?

E publikációk többsége – a címeik alapján – a volfrám-huzalok kristályszerkezete, mechanikai tulajdonságai és

¹ Wikipédia: Prohászka János (gépészmérnök) [https://hu.wikipedia.org/wiki/Prohászka_János_\(gépészmérnök\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Prohászka_János_(gépészmérnök)) (Megtekintés dátuma: 2025.05.15.)

² ELTE TTK: Az Intézet története 2010-ig: <https://physics.elte.hu/tortenet> (Megtekintés dátuma: 2025.05.15.)

³ Wikipédia: Millner Tivadar https://hu.wikipedia.org/wiki/Millner_Tivadar (Megtekintés dátuma: 2025.05.15.)

⁴ Feltehetően erről a könyvről van szó: A diszlokációk és a fémek technológiai tulajdonságai [Budapest, 1954]

a bennük lévő ötvözők, illetve szennyezők viselkedése közti kapcsolatról szól. Ezeknek a vizsgálatoknak a célja alighanem a gyártástechnológia javítása, pontosítása volt: azoknak a feltételeknek a behatárolása, amelyek mellett a gyártási folyamat a szinterelt rudak körkovácsolásától a spiralizálásig stabil marad, a termelékenység megfelelő szintű lesz, és – nem utolsósorban – a végtermékek (az izzólámpák) elérik az elvárt 1000 órás élettartamot. Ezek a témakörök a Fémteni és a Volfrámkémiai Osztályhoz tartoztak a '70-es években (is).

Én süttöt, előszinterelt és szinterelt rudak hosszmenti homogenitását vizsgáltam örvényáramú módszerrel, valamint primer és szekunder rekrisztallizált volfrámhuzalok elektromos vezetőképességét mértem mágneses térben alacsony (4,2-20 K) hőmérsékleteken.

Miért éppen a kriogén hőmérsékletekre jellemző vezetőképesség volt a fontos mutatója a homogenitásnak?

Ez két, különböző téma volt. A homogenitás a rudak esetében volt kérdés, ami a további közbenső termékek – a körkovácsolt rudak, majd a huzalok – egyenletes(ebb) minősége szempontjából volt érdekes. A rekrisztallizált volfrámhuzalok mágneses ellenállásváltozása alap kutatás jellegű munka volt: azt mutattuk ki, hogy az ilyen huzalokban kialakult, nagyjából hosszanti szemcsehatárok (melyeknek egyébként az izzószálak magas hőmérsékleti stabilitása köszönhető) ellenállásjárulék csökken a huzal tengelyével párhuzamos (longitudinális) mágneses tér hatására, és ennek következtében az ellenállás nem nő monoton a mágneses térerősség függvényében, mint általában.

A volfrámrudakkal kapcsolatos munkákat 1976-1979-ben végeztem. A mágneses ellenállásváltozással a 80-as évek első felében foglalkoztam, párhuzamosan más – részben az Egyesült Izzóval, részben a Dunai Vasművel kapcsolatos – ipari témákkal.

Két ismert és nemzetközileg is elismert anyagtudományi szakemberrel kapcsolatban már visszatekintettünk a szakmai múltunk egy vékony szeletére. „ELTE fizikusaként” hallgattad -e Kovács István előadásait?

Nem hallgattam sajnos, mert az általa vezetett Kísérleti Fizika Tanszék akkoriban elsősorban a tanárszakos (mat.-fiz., kém.-fiz.) hallgatókkal foglalkozott. De a Dr. Zsoldos Lehellet közösen írt, „Diszlokációk és képlékeny alakváltozás” című könyve nekünk, fizikus szakosoknak is „kötelező olvasmány” volt a Szilárdtestfizika tantárgy keretében.

Egyébként Kovács tanár úr (a Fémipari Kutató Intézetben dolgozó feleségével, Kovácsné Dr. Csetényi Erzsébettel együtt) rendszeresen jelen volt – és a tanszékének munkatársaival együtt néhány alkalommal előadást is tartott – az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Fémfizikai Szakosztálya szervezésében évente megrendezett Fémfizikai Őszi Iskolán, amelyen a MÜFI Fémkutatási Főosztályáról mi is többen részt vettünk.

Kedves István, én azonban személyesen is megismerhettem a „kőkemény fizikust” és a „barátságos embert”. Nem csupán a Visegrádon évente megrendezésre került „Fémfizikai Őszi Iskola” rendszeres hallgatójaként, hanem a „A törési folyamatok anyagszerkezeti vonatkozásai” címmel összeállított kandidátusi disszertációm egyik bírálójaként is. Az I. Országos Törésmechanikai Szemináriumon (Aggtelek, 1981. 9.29. - 10.01.) pedig – mint a rendezvénysorozat szervezője – előadóként üdvözölhettem őt. De térjünk vissza hozzád: a MÜFI-ből merre vitt az utad és miért?

Sajnos a rendszerváltással egy időben, '89-'90-ben elkezdődött a MÜFI „eróziója”, többen kiléptek, másfelé kerestek munkát, és az a csoport is, amelyben én akkor dolgoztam, felbomlott, majd megszűnt. Miután 1990-ben Demendy Zoltán és Tóbiás Ferenc kollégáimmal közösen – a SZTÁV megbízásából – elkészítettük az első örvényáramos tanfolyami jegyzetet, én is kiléptem.

Rövid kitérőként egy kisebb, villamosgépek tervezésével és próbavizsgálataival foglalkozó cégnél találtam „testhezálló” munkát, ugyanis a gépek örvényáramvesztése volt az egyik fontos problémájuk. Közben az első két örvényáramú tanfolyamon is tartottam órákat (a MALÉV-nál, majd az ERŐKAR-nál), ahol több, későbbi kollégával is találkozhattam.

Bő két év elteltével pedig – nem látva igazi perspektívát a villamosgépek területén – már váltani akartam. A hirdetéseket böngészve találkoztam az AGMI nevével – amit már ismertem, ugyanis ott tartották meg az említett tanfolyamok gyakorlati óráit – és az 1994-es évet már ott kezdtem, a Roncsolásmentes Vizsgálati Laboratóriumban. Az első év közepétől az Örvényáramos és Fejlesztési Csoport vezetőjeként dolgoztam, de – megszerezve az ET 3-as mellé több 2-es szintű minősítést – számos, nem örvényáramos vizsgálatot is végeztem. Miután az AGMI vezetése megalapította az oktatási ágazatot is, természetesen részt vettem az örvényáramos képzésekben, még a 2009. évi nyugdíjba vonulásom után is.

Engedd meg István, hogy három személyes megjegyzést tegyek. Az első Demendy Zoltánhoz kötődik. Végzésem idején a Nehézipari Műszaki Egyetem Fizika Tanszékén dolgoztam és az E/6-os kollégiumának földszintjén, a mellettem levő szobában lakott. Második megjegyzésem újból az Országos Törésmechanikai Szemináriumhoz kötődik. A Hajdúszoboszlón, 1984. október 29. - november 1. között tartott rendezvényen a „Magas olvadáspontú fémek kúszása, törése. A kúszás fizikai folyamatai” szekciót munkatársaid uralták, többek között Horacsek Ottó, Gál István, Varga László, Neugebauer J., Kovács J., Kozma László, Harmat Péter és Ungár Tamás. Harmadik személyes megjegyzésem pedig visszaugrok a kezdeti sorokhoz: Újból csak gratulálni tudok a 2025. évi MAROVISZ Díjadhöz!

Tóth László
ny. egyetemi tanár

Irodalomjegyzék (Prohászka János említett publikációi)

- [1] Millner Tivadar: A diszlokációk és a fémek technológiai tulajdonságai [Budapest, 1954]
- [2] T. Millner, J. Prohászka, A. Horváth: Der Einfluss von Fremdstanzspuren auf die sekundäre Rekristallisation von Wolframdrähten. Acta Technica Tom. XVII. [1957.] 289.
- [3] T. Millner, L. Bartha, J. Prohászka: Autoradiographische Untersuchungen über die Ortsänderung von Verunreinigungen während des Rekristallisationsvorganges. Zeitschrift für Metallkunde (NSZK) [1960.] 11. 639.
- [4] J. Prohászka, A. Horváth, T. Millner: Über die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristallite während der sekundären Rekristallisation von Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [5] T. Millner, J. Prohászka, J. Neugebauer: Über den sekundären Rekristallisationsvorgang vom mit Zusatzstoffen bereiteten Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [6] L. Bartha, J. Prohászka, T. Millner: Autodiographische Untersuchungen über die Besetzungsart gheringer Fremdstanzen während der sekundären Rekristallisation von Metallen. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [7] T. Millner, J. Prohászka und L. Bartha: Autoradiographische Untersuchungen über die Örtliche Verteilung von Silber in Zinn bei weit unterhalb der Löslichkeitsgrenze liegenden Ag – Konzentrationen. Chemie – Ing – Techn. (NSZK) 33. [1961.] 224.
- [8] L. Bartha, T. Millner, J. Prohászka: Szennyezők rekristallizációs folyamatok során történt helyzetváltozásának vizsgálata fémekben autoradiográfiás módszerrel. Crsz. Atomenergia Bizottság Izotópkalmazási Szakbizottságának kiadványa 3. [1962.] I/1. I/1. II r. 1 - 8.
- [9] J. Prohászka, H. Wadewitz: Zum Gleitsystem von Wolfram. Reinstoffe in Wissenschaft und Technik. Akademie – Verlag, Berlin [1963.] (NDK)
- [10] T. Millner, L. Bartha, J. Prohászka: Untersuchungen über Wanderung kleiner Silbermengen in reinem Zinn bei Verwendung von radioaktiven Silber. Zeitschrift für Metallkunde (NSZK) [1963.] 54. 17.
- [11] J. Prohászka, T. Bánki: Über den Einfluss der Vorrückungsgeschwindigkeit auf die Spödrücktemperatur von Wolframdrähten (eingegangen am 1. April 1966.). Sonderdruck aus Tungstam Technische Mitteilungen Nr. 23. September [1973.]

Trampus Péter Emléknep - Tisztelet Szakmai Öröksége előtt

Dr. Trampus Péter szakmai örökségének és személyének méltó megidézésére, valamint a közös megemlékezés lehetőségének megteremtése kapcsán kerül megrendezésre a **Trampus Péter Emléknep** – szakmai rendezvény, amely tisztelegni kíván emléke és kimagasló életműve előtt.

Az esemény célkitűzése, hogy szakmai és emberi közössége – kollégái, tanítványai, barátai és tisztelői – közösen tekintsen vissza életművének meghatározó állomásaira, és elismerésben részesítse a tudományterület fejlődéséhez nyújtott kimagasló hozzájárulását. Az Emléknep egyúttal fórumként is szolgál a tudományos párbeszédre és szellemi örökségének továbbadására.

Főbb adatok:

- **Időpont:** 2026. április 16.
- **Helyszín:** Paks, Erzsébet Nagy Szálloda
- **Fő szervezők:** Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség, MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
- **Támogató:** Paksi Atomerőmű Zrt.

A Szervezőbizottság munkájában a fő szervezők mellett Dr. Trampus Péter családtagjai, valamint a tudomány, a felsőoktatás, az ipar és a hatóságok képviselői is részt vesznek.

A rendezvényen elhangzó előadások írásos változatai az Anyagvizsgálók Lapja különszámában jelennek meg.

További információért kérjük, forduljanak bizalommal a MAROVISZ-hoz: marovisz@marovisz.hu

Bízunk benne, hogy minél többen csatlakoznak hozzánk, hogy közösen emlékezzünk Dr. Trampus Péter munkásságára, és együtt őrizzük, valamint továbbadjuk gazdag szakmai örökségét.

A Szervezőbizottság

Trampus Péter (1947 – 2025)

A búcsú mindig összeszorítja szívünket, legyen az a mostanság időszakában zajló valamelyik ballagásunk vagy az utazásunkat közvetlenül megelőzően valamelyik pályaudvar peronján történő álldogálás, de leginkább az életünk véges és végtelenjének határán történő átlépés során. Amelyikünk még itt, a végesben időzik egy rövid periódusra, annak agyában előbb cikáznak a gondolatai arról, akihez életének hosszabb periódusában baráti szálak kötődtek, akivel kiváló munkatársi viszonyok alakultak ki. Kétségtelen azonban, hogy a legfájdalmasabb érzéseket azoknak kell elviselniük, akikhez családi kapcsolatok fűzték a végtelenség útjára lépő embert. Az érzelmek, gondolatok kavargását, turbulenciáját csak erősíti az a tény, hogy többedmagunk egy nappal korábban még együtt tárgyalta a Paks Zrt. blokkjainak biztonságos További Üzemidő-Hosszabbításához kötődő anyagokat a Trampus Péter vezette Gépészeti Szakértői Testület és Szerkezeti Integritás Tudományos Tanácsadói Testület tagjaival.

Megismerkedésünk szinte már a feledés homályába nyúlik vissza, de az dereng emlékeimben, hogy Lehofer Kornél¹ kandidátusi értekezésének házi védésén találkoztunk első alkalommal. Ezt követően életünk forgószellei távol sodorta munkálkodásunk földrajzi helyeit. Az újabb közös pontot az 1981. szeptember 29-október 1. között Aggteleken, az általam szervezett I. Országos Törésmechanikai Szeminárium keretei adták, ahol „az akkor épülő Paksi Atomerőmű laboratóriumának vezetője a már csaknem összeállt szervezetbe osztályvezetőt kerestek” írja Péter egy vele, a 75. születésnapja alkalmából készített interjúban². A következő személyes kapcsolatot akadémiai doktori értekezésem bírálói tevékenysége szolgáltatta. Korrekt, alapvetően a tudományterületünk fejlődését szem előtt tartó viszonyunkat talán az opponensi véleményére, az 1995. január 29-i válaszom jellemzi leghívebben:

Tisztelt opponensemnek, Trampus Péternek - dolgozatmról, annak első mondataiban írt - gondolataiért - eddigi munkásságom, szakmai tevékenységem elismeréseként fogadva - külön is köszönetet kell mondanom, nem csupán szóban, hanem írásban is. A korrekt, a hazai szakmai élet pezsdítését szolgáló véleményét pedig nagyra értékelem. Meggyőződéssel vallom ugyanis, hogy egyrészt szakmai műhelyek kialakításával, másrészt tudományos



elképzelések megvitatásával, ütköztetésével fejlődhet a tudomány minden egyes területe. Ami az előbbi illeti, örömmre szolgál, hogy a tisztelt opponensem által említett közösség egyik tagja lehetek. Az utóbbit tekintve pedig az opponensi véleményben felvetett, teljes mértékben korrekt kérdések tisztázása az, amely tudományos életünk e szűk területén előrelépést jelenthet.

Ez utóbbi személyes tapasztalat olyan szakmai együttműködésre serkentett mindkettőnket, amelyet szilárd alapként fogadhattunk el életünk végéig. Hogy e sorokat nekem kell írnom és nem neki; a

véletlen, a kiszámíthatatlanság műve.

Már hozzá is kezdtünk az életét áttekintő és összefoglaló „Ifjan Éretten Öregen” könyvének összerakásához. A „gyökerek” keresésével kapcsolatban kapott válasz ez volt:

A kőbányai Gizella szülőotthonban születtem. Az épület ma is áll, de funkciója nem életek kezdetével, hanem inkább a végéhez közeli időszakokkal kapcsolatos, idősgyógyászati intézet. Tipikus monarchia termék vagyok. Édesanyám családja Kárpátalja tájáról, édesapámé Szlovéniából, Maribor környékéről származott, szüleim Munkácson ismerkedtek meg a második világháború időszakában. Apám ott szolgált, mint hadtápos őrmester, anyám, még kiskorúként felszolgáló volt valamelyik munkácsi vendéglátóhelyen, talán a tiszthelyettesi klubban. Büdszentmihályon (ma Tiszavasvári) házasodtak össze 1943-ban. A háború nekik 1946-ban ért véget, amikor német hadifogságból, minden nélkül, hazatértek Magyarországra.

Anyai nagyapámat nem ismertem, nagyanyámnál az általános iskolai éveket megelőzően többször több hetet töltöttem. Jól éreztem magam a falusi környezetben. Apai nagyszüleim Budapesten éltek, nagyapám közlekedési balesetben halt meg öt éves koromban, így sok emlékem nincs róla. Nagyanyám 89 évet élt.

Kőbányán szerény körülmények között éltünk. Amikor szüleim hazatértek, nem volt hová menniük, édesapám húga és családja fogadta be őket, egy szobát kaptak egy egyszerű, kétszobás lakásban. Ugyan én megtaláltam a társaságot három unokatestvéremmel, de érzékeltem a felnőttek mindennapi súrlódásait. 1956-ban átköltöztünk a szomszéd utcába, egy saját lakásba, amit egy disszidens hagyott üresen. Szuterénlakás volt, nedves, néha rázott a fal, víz és WC kint, de a miénk volt. Az ágyam a konyhában volt, a konyhaasztalon írtam a leckét, még egyetemista koromban is. Innen 1972-ben költöztem el, amikor megnősültem.

¹ Tóth L.: Lehofer Kornél (1934-2007). Anyagvizsgálók Lapja, 2007/III. 123-124 old.

² Skopál I.: Beszélgetés Trampus Péterrel. Anyagvizsgálók Lapja, 2022/IV. 64-87 old.

Folytatni akartuk mindketten úgy, hogy a lehető legtöbb egyéb feladattól megszabaduljunk. A Frankfurtban ez év február 18-án végrehajtott műtét után kórházi ágyán kézírással feljegyzett lehetséges témaköröket letisztázva 2025. április elsején ezt a listát kaptam tőle:

- Gyerekkor (Kőbánya, foci vs első áldozás, zavaró teljesítmények – NDK, gyári munkák)
- Katonaság (földhöz ragadtságom felismerése)
- BME tapasztalatok
- Csepeli Acélmű tapasztalatok (Vörös Csepel, laborvezetés, KISZ...)
- GTE (megismerkedés a hazai anyagvizsgálattal)
- Képlékenyalakítási szakmérnöki (miért ez?)
- Aspirantúra (Káldor felvételi, Havas, Czoboly hatás, drezdai fogadás, Schott)
- Paks (miért? SGy prognózis, család véleménye, félkatonai szervezet, 3 év küzdelem, ML, Pónya...)
- MMA megalakulása (én miért?)
- NAÜ (szemlélet változás, kinyílt a világ...)
- Mentorok (Charlie, Csík, Davies)
- MTA DSc (TL szerepe)
- Egyetemek (ittthon, külföldön)
- Szerkezeti integritás (amit Siófokon vázoltam: hogyan lettem...?)
- Irány az NDT
- Vezetői képességeim (vagy azok hiánya)
- Család
- Petten
- USA tapasztalatok
- IIW részvétel (Rittinger hatás)
- ...

Kiürült fejjel olvasom e sorokat miközben nagyon távolról azok a lehetséges mondatok futnak át agyamon, amit mondhatna, ami számomra is sok-sok újdonságot jelentene ugyanúgy, mint ahogyan a Siófokon, 2024. november 16-án a „**Nyomástartó rendszerek Biztonságáért Díj**” 2024. évi kitüntetettjeként mondott³. Bevallom nehéz folytatni személyes emlékeim visszaidézését. Maradnom kell egy szorgalmas, tehetséges, etikus ember szakmai tevékenységének összefoglalásánál.

Trampus Péter szakmai életútjáról, eredményeiről csak olyan lista készíthető, amely hiányos, fontos tételek is elmaradhatnak. Egy azonban tény, már diákkorában németül írt Tudományos Diákköri dolgozatával indított.

- 1970 Tudományos Diákköri dolgozat német nyelven.
- 1972-ben gépészmérnöki oklevelet szerez a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar Mechanikai Technológia Tanszékén. A Csepeli Acélműben kutatómérnök.
- 1973-ban anyagvizsgáló laborvezető.
- 1977-től képlékenyalakítási szakmérnöki képzésben vesz részt a Budapesti Műszaki Egyetemen, 1979-ben szakmérnöki oklevelet szerez.

- 1979-től a Drezdai Műszaki Egyetem levelező aspiránsa (Fakultät für Maschinenwesen, Bereich Werkstoffwissenschaft).
- 1985-ben Dr.-Ing. akadémiai fokozatot kap, amit az MTA Tudományos Minősítő Bizottsága a műszaki tudomány kandidátusa címre honosított.
- 1982-től kapcsolódik be direkt módon a nyomástartó rendszerek biztonsága, azok vizsgálata témakörbe a Paksi Atomerőműben (Minőségbiztosítási, később az Anyagvizsgálati Osztály vezetője).
- 1984 és 1994 között vezetője a Reaktor Szakértői Testületnek, amely a hazai műszaki és tudományos intézetek vezető szakembereiből és tudósaiból állt.
- 1990-ben és 1991-ben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) tudományos látogatásra szóló ösztöndíját nyerte el (Finnország, USA).
- 1992-ben a vezérigazgató törzs vezetőjévé (gyakorlatilag az atomerőmű vezérigazgató helyettesévé) nevezték ki.
- 1995-től egy évig projektvezető: a NAÜ-nek a Paksi Atomerőmű üzemeltetési biztonsága növelését elősegítő modellprojektjének vezetője.
- 1996-tól 2003-ig munkahelye az International Atomic Energy Agency, Nuclear Power Division, Bécs.
- 1990-1999 – Pécsi Akadémiai Bizottság Műszaki és Földtudományok Szakbizottságának tagja (majd 2006-tól újból).
- 2003-ban és 2004-ben (15 hónapig) az Európai Bizottság Egyesített Kutatóintézetének Energia Intézetében (Petten, Hollandia) vendégkutató. Kutatási témája az orosz tervezésű atomerőművek üzemelési biztonságának növelésére, különös tekintettel az aktív berendezések biztonságára fókuszált.
- 2005-től elnöke a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetségnek (MAROVISZ).
- 2007-ben sikeresen megvédi a DSc fokozatát a „A reaktortartály szerkezeti integritása – különös tekintettel az üzemidő hosszabbításra” címmel benyújtott disszertációjával.
- 2003 és 2008 között tanácsadó a Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítás programjának a kidolgozásával kapcsolatos feladatok kapcsán (vezeti a Reaktor Szakértői Testületet és tagja az Anyagvizsgálati Szakértői Testületnek).
- 2008 – a Debreceni Egyetem AMTC Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszékének a docense.
- 2009-2013 egyetemi tanári kinevezés a Debreceni Egyetem AMTC Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszékén.
- 2010 – habilitáció a Debreceni Egyetemen.
- 2011-től az MTA Anyagtudományi és Technológiai Bizottság Szerkezetintegritási Albizottság vezetője.

³ Trampus Péter: Hogyan lettem anyagvizsgálóból a nyomástartó berendezések biztonságáért...?

- 2012-től az Országos Atomenergia Hivatal Tudományos Tanácsának tagja.
- 2012-2015 – az Európai Roncsolásmentes Vizsgálók Egyesületei Szövetségének (EFNDT) alelnöke, majd 2015-től elnöke⁴.



Trampus Péter Zászlóbontása az EFNDT elnökeként

- 2013-tól a Dunaújvárosi Főiskola (2016.01.01-től Egyetem) Gépészeti Tanszékének kutató-professzora.
- 2014-től az Európai Szerkezetintegritási Egyesület Magyar Nemzeti Bizottság elnöke.
- 2016-tól az Európai Szerkezetintegritási Egyesület roncsolásmentes vizsgálattal foglalkozó műszaki bizottság (ESIS TC 17) elnöke.
- 2009-től haláláig az üzemelő atomerőmű részére végzett konzultációs tevékenységet. Ennek keretében ellátta a Műszaki konzulens szerepét, vezette a Szerkezeti Integritás Tudományos Tanácsadó Testületet, illetve 2023-tól a további üzemidő-hosszabbítás támogatására létrehozott Gépészeti Szakértői Testületet.
- 2021-2025 a Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálói Akadémia elnöke⁵.

Kitartó szakmai és a tudományt népszerűsítő, de egyben a közösségeket létrehozó tevékenységét különböző díjakkal ismerték el. Ezekre nézve is ugyanazt tudom mondani, mint munkájának, eredményeinek értékelésével



Zászlóbontás 2021. október 23.-án Brescia-ban az alapító elnökkel

kapcsolatban bármikor; a felsorolás bizonyára nem teljes:

- 2009 Gábor Dénes-díj⁶,
- 2023 Magyar Érdemrend Tisztikeresztje⁷,
- 2023 HÉLIOSZ-díj⁸,
- 2024 Nyomástartó Rendszerek Biztonságáért Díj.

Kiváló szervezőképességét és kitartását számos nemzetközi és hazai konferencia fémjelzi. Ezek közül a legutóbbi, a 2024 májusában Koreában szervezett Roncsolásmentes Vizsgálói Világkonferencia⁹ (20 WCNDT), amelynek Steering Committee tagjaként és előadásával járult hozzá a rendezvény sikeréhez, valamint a Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálói Akadémia elnökeként átadhatta a szervezet Galileo Galiei díját Takaaki Kajita, Nobel díjas japán professzornak, a nyitólőadásának megtartását követően.



Trampus Péter Galileo Galiei díjat ad át Takaaki Kajita, Nobel díjas japán professzornak

⁴ Tóth L.: Magyar elnök az Európai Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetségnek (EFNDT) élén: Prof. Trampus Péter, a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség (MAROVISZ) elnöke. Anyagvizsgálók Lapja. 2017/I. 4-6 old.

⁵ Tóth L.: A nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgálói Akadémia 2021. október 23.-án a Brescia-ban tartott közgyűlésén Trampus Pétert választotta elnökének. Anyagvizsgálók Lapja. 2021/IV. 47-48. old.

⁶ Gábor Dénes-díj 2009 | Gábor Dénes Díj - Novofer Alapítvány

⁷ Tóth L.: Egy kitüntetés margójára, Trampus Péter Magyar Érdemrend tisztikereszt kitüntetése. Anyagvizsgálók Lapja. 2023/III. 72. old

⁸ Tóth L.: Trampus Péter – 2023. évi HÉLIOSZ-díjas. Anyagvizsgálók Lapja. 2023/IV. 35. old.

⁹ Ladányi P., Trampus P.: Beszámoló a 20. Roncsolásmentes Vizsgálói Világkonferencia. Anyagvizsgálók Lapja. 2024/II-III. 20-21. old.

Szakmájának „nagyköveteként” 2024 október végén részt vett és előadást tartott az Amerikai Roncsolásmentes Vizsgálati Társaság Las Vegasban tartott éves konferenciáján is¹⁰. A magyar tudomány „utazó nagyköveteként” bejárta a világot, Európa szinte minden országát személyesen megismerhette, mintegy 30-szor tett látogatást Ázsia országaiban, ugyanennyi lehetőség adódott Észak- és Közép-Amerika sajátosságainak megtapasztalásához, de Afrika jellegzetességeivel is szembesülhetett két alkalommal.

A hazai nagyrendezvények közül elszakíthatatlanul nevéhez fűződik a két évenként megrendezett Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás sorozat, amelyből ő nyitotta meg immáron a XIV.-et 2025. március 25-én, Egerben.

Minden élet egyszer lezárul, akkor is, ha nehezen és szomorúan vesszük tudomásul mi, az átmenetileg még itt maradtak. Trampus Péternek a kezdet 1947. szeptember 19-én virradt és a vég 2025. április 12-én adatott meg. A két dátum között, az egyik létfontosságú szerve, a szíve, legalább 2,5 milliárdszor dobbant, amelyről az őt akárcsak felületesen ismerők is mindig elismerően szóltak. A két határpont között eltelt 28 331 napot pedig mind szakmailag, mind pedig erkölcsileg



*Trampus Péter a XIV. RAKK-on,
Egerben, 2025. március 25-27. között*

példamutatóan élte meg, élte át. Élete minden szempontból példamutató.

Kedves Péter! Barátaid, ismerőseid, kollégáid nevében én is búcsúzom¹¹ tőled abban a biztos tudatban, hogy te csupán előre siettél és mi is követni fogunk TÉGED.

Nyugodj Békében!

Tóth László
ny. egyetemi tanár

¹⁰ Trampus P.: Beszámoló az Amerikai Roncsolásmentes Vizsgálati Társaság éves konferenciájáról. Anyagvizsgálók Lapja. 2024/IV. 36. old.

¹¹ Megemlékezésekkel találkozhatunk a MAROVISZ, a Gábor Dénes-díjasok, a Paksi Atomerőmű Zrt., az Országos Atomenergia Hivatal, a Debreceni Egyetem, a Dunaújvárosi Egyetem honlapjain és az MTA Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottság 2025. április 22-én tartott ülésén.



**Szűk családi körben helyezték örök nyugalomba a
MAROVISZ volt elnökének hamvait
Alsóörsön (Úttörő u.8.) 2025. június 13-án.**

**Akik személyesen is búcsúzni szeretnének tisztelt és kedves
barátunktól, azok kövessék az alábbi „útleírást”:**

A temető bejáratánál, ahol az urnafal is van, balra kell fordulni és kb. 50 méterre található a ravatalozó. Innen a betonúton felfelé haladva, kb. 50 méterre lesz egy vízcsap a jobb oldalon. Ha itt balra nézünk, akkor egy fekete obeliszket látunk az orgonabokrok között. Előtte található a sír.



Meggyőződéssel hiszem és vallom, hogy bármikor is járok a Balaton környékén, e kis temetőbe betérve friss virágot találok e kiváló ember, Trampus Péter sírján! Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy Pammer Zoltán igaz soraival búcsúzzunk:

„Kedves Péter!

Gratulálok a kitüntetésedhez. Szinte minden emberben találok olyan tulajdonságot, ami példaértékű lehet, de a kivételes intelligencia, munkabírási és tisztességi egy személyben ritkán található ilyen mértékben.”

Tóth László
felelős szerkesztő

Tárgy: Jelentkezési felhívás a 2025. évi,
Kiváló Fiatalk Mérnök Díjra

Tisztelt Kolléga!

A GTE Százhalombattai Területi Szervezete és a Magyar Hegesztési Egyesület, mint társszervező 2025-ben is megrendezi, hagyományos formában, a Balatoni (korábbi nevén Csopaki) Ankétot egy megújult környezetben. A rendezvényen meghirdetjük a fiatal mérnökök részére a

Kiváló Fiatalk Mérnök díjat

A díjazás célja: A nyomástartó rendszerek (torony-, tartály-, csőköteges jellegű készülékek, kazánok, csőkemencék, csővezetékek és szerelvényeik) és atmoszférikus tartályok témakörben dolgozó fiatal mérnökök számára, bemutatkozási lehetőség a munkájuk ismertetésén keresztül. Munkájukkal hozzájárulnak a nyomástartó rendszerek szakszerű tervezési, gyártási, vizsgálati és karbantartási feladataihoz, ezzel elkerülve a nagyobb meghibásodásokat, üzemleállásokat. Továbbá, kapcsolatot szeretnénk teremteni, a nagyobb tapasztalatú szakemberek és a fiatal mérnökök között, akik az utánpótlást biztosítják a vegyipari, kőolajipari, energetikai (atom, fosszilis, megújuló) ipari, gyógyszeripari, élelmiszeripari cégeknek és oktatási intézményeknek.

Résztvételi feltételek: Pályázhat 30 év alatti (ezévben tölti be maximum 30. életévét) fiatal mérnök; aki a nyomástartó rendszerek (torony-, tartály-, csőköteges jellegű készülékek, kazánok, csőkemencék, csővezetékek és szerelvényeik) vagy atmoszférikus tartályok tervezésével, gyártásával, vizsgálatával, karbantartásával foglalkozik.

Formai feltételek: A pályázónak maximum 15 db diából álló prezentációt kell elküldenie a kiírásban szereplő témakörből (pl. szakdolgozat kivonata vagy kiemeltebb szakmai munka) magyar nyelven.

Értékelési szempontok:

- Műszaki újszerűség
- Gazdaságossági megfontolások
- Legjobb mérnöki gyakorlatok alkalmazása
- Szakmai témakör mellett iparági kitekintés
- Az előadás anyag kivitele
- A helyszíni előadás

A pályázat kiértékelését a szervezőbizottsági tagok és a kuratóriumi tagok közül kérjük fel.

A benyújtott pályaművek értékelése alapján, a legjobb három beadott pályázat bemutatására kerül sor a Balatoni Ankét szombat délelőtti szekciójában (2025.11.29-én a Hotel Azúrban - 8600 Siófok, Erkel Ferenc u. 2/c.).

Díjazás: A legjobb pályaművet benyújtónak (díjnyertes) 50000 Ft pénzjutalom + oklevél és szervezői ajándék, a többi előadónak oklevél + szervezői ajándék. Ezen ajándékon felül minden Kiváló Fiatalk Mérnök díjra meghívott kolléga, az előadás megtartásával ingyenesen részt vesz a szombat délelőtti programon. A díjra pályamunkát beadók kedvezményesen részt vehetnek az ankét napjain (részletek a Balatoni Ankét felhívás kedvezmények részénél - <http://www.events.gteportal.eu/45-balatoni-anket>).

A pályamű leadási határideje: 2025. augusztus 31.

Jelentkezés a pályamű leadásával történik az alábbi címre: Ilinyi János (ilinyij@gmail.com)

Kiváló Fiatalk Mérnök díjjal kapcsolatban felvilágosítást ad: Kurucz Botond (bkurucz@mol.hu)

A Szervezőbizottság nevében:

Kurucz Botond
titkár

„Az idő lassan elszivárog...”

„Time's slow seeping will never stop...”¹

„Képzeld el, hogy valamely hang megcsendül. Zúg, zeng, aztán abbamarad. Csend van; a hang elmúlt és nincs többé. Mielőtt hangzani kezdett, jövő volt; nem lehetett tehát megmérni, mert még nem volt. Most sem lehet, mert már nincs meg. Akkor lehetett volna, mikor hangzott, mert akkor mérhető valami volt.

De akkor sem állott, hanem haladt és elhaladt.

Vagy ez okon inkább mérhető volt?

Elhaladás közben tényleg valami időtartammá szélesedett, aminek alapján mérhető lett volna, - a jelennek ugyanis semmi terjedelme nincsen. Ha tehát akkor meg lehetett volna mérni, tegyük fel, hogy újra felharsanik valamely más hang s még mindig folyamatosan és egyenletesen hangzik. Mérd meg, amíg tart, mert ha elhangzik, már a múlté lesz, s többé nem lesz mit méregetned.

Mérjük hát s mondjuk meg, mekkora?

Most még hangzik. Igen ám, de csak akkor lehetne tartamát megállapítani, ha a hangzást elejétől végig megmérhetnők; s mi nem tudunk egyebet mérni belőle, mint a hangzásának egyik pontjától a másikig terjedő hangtartamot. Következésképpen azt a hangot, amely még nem fejeződött be, nem lehet úgy megmérni, hogy megállapíthassuk, milyen hosszú, vagy milyen rövid, s azt sem mondhatjuk e mérés alapján róla, hogy egyenlő valamivel, vagy egyszerese, kétszerese stb. más valamely hangnak. Viszont ha befejeződik, nincs többé, mérni tehát nem lehet.

És mégis mérjük az időt.

Nem azt, ami még nincs, sem azt, ami már nincs, azt sem, melynek nincs tartamos kiterjedése, sőt azt sem, amelynek nincs végződése; vagyis sem a jövőt, sem a múltat, sem a jelent, sem a folyó időt, - időt azonban mégis mérünk! ” [1]

Aurelius Augustinus Hipponensis (354-430) a nyugati kereszténység első nagy filozófusa, az 1298-ban szentté avatott egyházdoktor, Szent Ágoston. Az egyházatya költőien emelkedett töprengésétől hosszú az út a téridő-geometria távolságban kalibrált idejéig. A térbeli három helykoordinátát kiegészítő negyedik tengely a modern fizika csodálatos fejezetét, a speciális relativitáselméletet alapozta meg.

Az idő közvetlen tapasztalata, a legrövidebb, látványos természeti ismétlődés a nappalok és éjszakák egymásra következéseiben jelentkezik. A Hold periodikus fényváltozása, a Föld és a bolygók valódi, és a csillagok látszólagos mozgása során fellépő ismétlődések az idő mérésének hosszabb egységei. Az ókortól ismeretes hold-hónap és

nap-év a különféle civilizációk naptárait alapozták meg.

A rövidebb időtartamok mérésére születtek meg a víz, homok és gyertya órák. Az időmérés első, igazi műszere a XIII. századtól használt súlyhajtásos, foliot-szabályozós mechanikus óra lett. A történelemformáló mechanizmus feltalálója egy közismert legenda szerint az első magyar királynak a Szent Koronát küldő II. Szilveszter pápa (938-1003). A később egyházfővé választott Gerbert d'Aurillac kora kiemelkedő tudósa volt. Az arab számjegyek bevezetése mellett a homunculus elkészítésével is hírbé hozott, élete végén (állítólag) az ördögök által elragadott főpap azonban a kerek órákat bizonyosan nem találta fel.

A középkor hatalmas költeménye, Dante Allighieri (1265-1321) „Isteni színjátéka” [2] kora tudományos enciklopédiájaként is olvasható. Az 1308-1321 között keletkezett remekműben a kör négyszögesítés problémája, a hajóépítő műhely mesterembereinek látványosan részletezett munkálkodása, a szivárvány keletkezése és a földgömb fokhálózata mellett megannyi más tudományos-technikai valóságkelem rejtőzik. Dante szépséges tercináiban az óra mechanizmusa is előkerül:

„Miként az óra, csengve-bongva tarkán,
az Úr arája keltét jelzi reggel,
s zeng Jegyeséhez, szent szerelmi dalt tán,
hol kerek fogózza kerekkel
tin-tin szavát mind oly remekbe csengi,
hogy duzzad a jók lelke szeretettel:
úgy láttam én, hogy ütemét kerengi
a szent kerék, s felelget hangra hangot,
oly édesen, hogy nem sejtetheti senki,
csak ott, hol az örök Kéj ver harangot.”

(Paradicsom X. 139-148, Babits Mihály fordítása)

Évszázadokon át az időt toronyórák, vagy a tornyokba szerződött zenészek harsonái, esetleg a toronyörök és az utcákon éjjel járó bakterok kiáltásai jelezték.

A finommechanika fejlődésének köszönhetően mindinkább javult az órák járáspontossága. A tik-takoló szerkezeteket csillagászati megfigyelések alapján állították be. A déli 12 óra pillanatának meghatározására az 1689 óta használatos passages-távcső² szolgál.

Az idő pontos mérésének mindennapi igénye először a tengeri navigációban merült fel. Az óceánok messzeségében vitorlázó hajó helyzetének földrajzi szélességét és hosszúságát két mérés eredménye adta meg. A szélességi adat a delelő Nap horizont feletti (szextánssal kimért) szöge. A hosszúsági értéket a navigátor a Nap helyi delelésének pillanatában leolvasott hajó kronométer mutatta greenich-i idő segítségével számította ki.

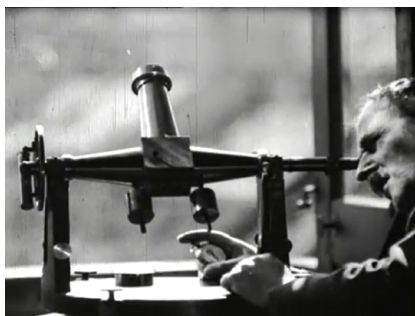
¹ József Attila „Ars poetica” költeményét Michael Beevor fordította angol nyelvre. (József Attila: Poems, The Danubia Book C. London 1966)

² A másként átmeneti műszerként ismert fontos eszközt Ole Rømer (1644-1710) dán csillagász fedezte fel. Rømer a Jupiter holdjainak fogyatkozását vizsgálva elsőként (habár 30 %-os hibával) határozta meg a fény terjedési sebességét.

A legpontosabb mechanikus órák tipikus szerkezeti eleme az inga³.

A világ talán legismertebb időmérő mechanizmusa a londoni Parlament Erzsébet-tornyában ketyeg. Négy hangra komponált harangjátékát először 1859. május 31-én hallhatták Viktória királynő alattvalói. Az első óranegyedet a dallam első, a másodikat az első és második, a harmadik óranegyedet az első három ütem kondulásai jelzik. A negyedik óranegyedkor, vagyis az egész órákban a teljes négy ütem hangzik fel, majd egy ütemnyi szünet után (a tulajdonképpeni) Big Ben, a tekintélyes nagyharang üti el az órák számát.





Az iskola fizika tanára az észak-dél irányra tájolt passzázs-távcsővel megállapítja a helyi dél pillanatát [5]

születtek indítványok az „anacronisztikus és fölös kiadást okozó” lövés megszüntetésére, ám a lakosság határozott igényére 1944-ig megmaradt a kedves hagyomány.

A vasúti közlekedés fejlődése kikényszerítette az állomásról állomásra különböző helyi idők helyett az egységes vasúti idő bevezetését. A magyar államvasút 1871-től a pest-budai helyi időt, az osztrák vasút a prágai helyi időt használta.

A Föld 24 időzónára osztásának gondolata 1878-ban vetődött fel. A magyar vasútvonalakon a közép-európai zónaidő használatát 1891. október 1-jén vezették be. Ugyanez az államigazgatásban csak egy év múlva történt meg.

A csillagászati és a zónaidő különbségének frappáns magyarázatát, s egyben a budai déllövést a magyar főváros legszebben mesélő krónikása, Krúdy Gyula (1878-1933) „Téli utazás Lök és Dob között” című novellájában olvashatjuk [6]. A történet hőse, a furcsa nevű Szent Mihály úr hajdújával beszélgetve:

„...csendesen elmagyarázta Istvánnak, hogy a napóra mutatja tulajdonképpen a pontos időt, már az ókorban találták ki, és mint ilyen régi találmány, betöltötte helyét, hiába jöttek a svájciak a maguk kronométereivel és más, hivatalos, vasutak járásához, postajáratokhoz, irodák nyitásához és különböző pontosságokat megkövetelő helyzetek megméréséhez való szerkezeteikkel. A napóra örök. (Lásd özvegy Sztárayné [Rózsai] kézikönyvtárában lévő Népszerű csillagászat 56-ik oldalát.)

István csak bámolt.

– Hát ha ilyen jól tudja a tekintetes úr, mért nem igazítja óráját a napórához?

– Azért, mert megcsíptem ökelmém. Decemberben, úgy elseje táján még csak háromnegyed tizenkettő volt nálam: Budán, a reáliskolában már deket lőttek. Éhes az időjelző professzor! – gondoltam magamban, és többet nem törődtem a dologgal. De a napórából egyszerre legnagyobb baj származhatik, ha az ember észreveszi, hogy a hivatalos órák tulajdonképpen csalják az idejűkkel.”

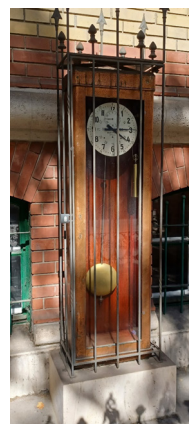
A főváros második pontos idő jelző készüléke az 1883-ban felszerelt műgyetemi óra volt. Az egyetem akkor még Pesten volt, a Múzeum körúton álló egyetemi épület falán lévő órát villamos vezeték kötötte össze az intézmény csillagászati tanszékének referencia műszerével. A passage-

távcsővel rendszeresen ellenőrzött tanszéki óra pontos periódus idővel lengő ingája egy villamos áramkört nyitott és zárt. Az áramkör az utcai óra ingájának lengését, és az inga által a mutatók mozgását vezérelte.

A mindmáig a Múzeum-körúti rácsos kalitkában működő szerkezet azonban nem azonos az eredeti órával. A magyar órás szakma egyik legkiválóbb mestere, Hoser Viktor (1871-1957) hetenként felhúzott, súlyhajtásos ingaórája önállóan működik, nincs kapcsolatban más szerkezettel.

A varázslatosan mesélő Krúdy „Az ember, aki mustármag volt” című elbeszélésében [7] a Múzeum-körúti óra is felbukkan:

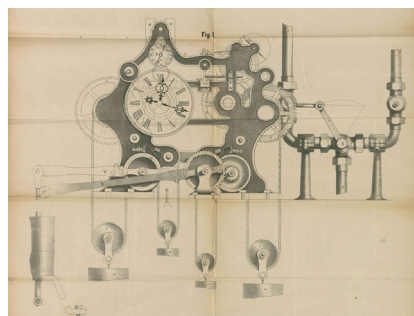
„Az irodából lejövet elővette zsebóráját, és rendes emberhez méltóan másodpercnnyire összeigazította azt a Műgyetem órájával, miután éppen ezen a tájon haladt át. Nyolc teljes perc választotta el még az egy órától, amikor rendszerint ebédelni szokott.”



Hoser Viktor 1912-től mindmáig működő köztéri ingaórája (Laczik B. felvétele)

A déllövés és a Múzeum-körúti óra után a pályaudvarokra, közteterekre felszerelt órák összehangolt működését a távközlés történetének érdekes, fontos, magyar leleménye, a Telefon Hírmondó rendszere végezte [8].

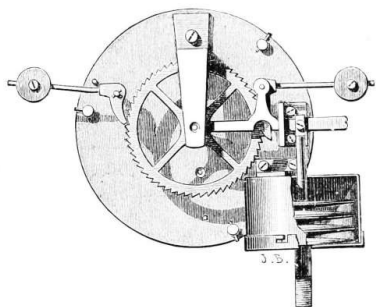
A XIX. század második felétől mind szélesebb körben használták fel a sűrített levegőt. A préslég hajtású gépek, szerszámok mellett gyorsan elterjedtek a leveleket és kis csomagokat igen gyorsan továbbító pneumatikus csöpszták. A sűrített levegővel működő pontos időjelzés a francia főváros egyedülálló műszaki érdekessége volt.



Részlet a pneumatikus órahálózat vezérlő szerkezetének szabadalmi dokumentációjából [9]

Carl Albert Mayrhofer (1835-1891) osztrák mérnök 1877-ben Bécsben egy sűrített levegővel működő órahálózatot telepített. Megoldására számos országban szabadalmat kapott, amelyet a feltaláló Viktor Antoine Popp (1846-1912) és Ernst Resch mérnökökkel osztott meg. Popp és Resch az 1879-es Világkiállításon mutatta be pneumatikus óraszinkronizáló rendszerét. A párizsi városi tanács engedélyt adott Popp „Compagnie des Horloges Pneumatiques” cégének, hogy köz- és magánórák meghajtására sűrített levegős hálózatot telepítsen.

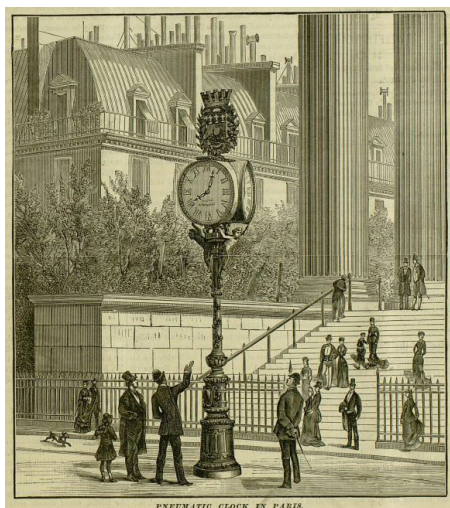
A hálózat csövei a városi csatornáknak és a földalatti vasút alagútjaiban futottak. A vezérlő központ percenként egy légimpulzus küldésével működtette a nagyszámú nyilvános órát, elsősorban a vasútállomásokon, valamint a magán előfizetőknél lévő készülékeket. Minden pneumatikus óra egy fém membrán szelencét tartalmazott. A levegőimpulzus hatására a szelence függőleges irányban elmozdult, és a szelencéhez kapcsolt kilincs az óra 60 fogú kilincskerekét egy foggal tovább fordította.



A pneumatikus hálózat működtető mechanizmusa [10]

1880. december 31-ig a köztereken 14 nyilvános kanadalóóra és a középületekben további 33, sűrített levegővel hajtott óra működött. A 11 párizsi kerület különböző intézményeiben (bankoknál, színházakban és szállodákban) további 1475 óra mutatta a pontos időt.

Párizs központjában, az Avenue de l'Opera keresztezésében, a rue Sainte-Anne 7. szám alatt működött a központi állomás. Innen 10 darab 27 mm átmérőjű cső indult, amelyekből 6...20 mm átmérőjű másodlagos csövek



Párizs egyik köztéri órájáról készült grafika [13]

ágaztak le. A vezérlő levegő nyomása alacsony, mindössze 0,75 bar volt. A rendszer legnagyobb kiépítésében 7800 órából állt.

Az eredeti Popp szabadalmat a [11] irodalom mutatja. A párizsi pneumatikus órahálózatot bemutató videó megtekinthető a youtube-on [12].

Az órák évtizedeken át közmegegyezésre, igen jól szolgálták a francia fővárosban a pontos idő jelzését. Az 1910-es nagy árvíz során a Szajna elárasztotta a sűrített levegős üzemeltetést, és január 21-én 10 óra 50 perckor a főváros valamennyi órája egyszerre állt meg. A hibát azonban gyorsan elhárították, és a pneumatikus órák 1927-ig, a szolgáltatás megszüntetéséig a párizsi utcakép jellegzetességei maradtak.

A gyönyörű, szecessziós öntvényekből és a hozzájuk tartozó érdekes szerkezetekből sajnos egyetlen darab sem maradt meg. A magánelőfizetők megmaradt készülékei a régiségárverések ritkán felbukkanó, igen drágán gazdát cserélő ritkaságai.

Laczik Bálint

Irodalomjegyzék

- [1] Szent Ágoston Vallomásai, XXVII. FEJEZET, <http://mek.niif.hu/04100/04187/04187.htm#214> (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [2] Dante Alighieri: Divina Commedia (Isteni színjáték)
- [3] Big Ben videó: [https://www.youtube.com/watch?v=r82TsVBUPxw6'15"-től](https://www.youtube.com/watch?v=r82TsVBUPxw6'15) (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [4] Medium: A Brief History of Smartwatches: Timekeeping <https://medium.com/nerd-for-tech/a-brief-history-of-smartwatches-timekeeping-7efc0042ac14> (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [5] Magyar Filmhíradó 1934. március 525. sz. Híradó, <https://filmhíradokonline.hu/watch.php?id=958> (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [6] Krúdy Gyula: Téli utazás Lök és Dob között
- [7] Krúdy Gyula: Az ember, aki mustármag volt
- [8] Az egységes idő Budapesten, Műszaki Lap XII. évf. 12. szám 1911 jún. 20 141-143 o.
- [9] Landesarchiv Baden-Württemberg Staatsarchiv Ludwigsburg https://www2.landesarchiv-bw.de/ofs21/bild_zoom/zoom.php (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [10] The Paris Pneumatic Clock Network <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/airclock/airclock.htm> (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [11] Archivalportal-D: Patent des Viktor Popp, Ernst Resch und Albert Mayrhofer in Wien auf pneumatische Uhren <https://www.archivalportal-d.de/item/P6QUEOEDNDDHUSD2XBVNC3HNNVDBHQ7J?lang=en&facetValues%5B%5D=context%3DGNSSZ4IW6SEKIANRTK3CSOW46CVMLHFRN&sort=&rows=20&offset=0&viewType=list&hitNumber=1> (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [12] Primal Space: The Underground Clocks of Paris https://www.youtube.com/watch?v=go1_p2aWrJg (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)
- [13] Parisian Fields: Pneumatic_clock https://parisianfields.com/2018/03/25/a-question-of-time/pneumatic_clock/ (Megtekintés dátuma: 2025.05.19.)

MOL Petrolkémia Zrt. Meghibásodási Archívuma – 2. rész

MOL Petrochemicals Ltd. Failure Archive – Part 2



Erózió

Anyagminőség: H9Ni

Károsodott felület pirogázzal érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: pirogáz

Az áramló közegben lévő szilárd kokszzemcsék mechanikai koptató hatása miatt a hőmérőcsokn tömörtelenné vált.



Savas korrózió

Anyagminőség: Szénacél

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: Salétromsav

A szállított közeg (salétromsav és ammóniumnitrát vizes oldata) a szivattyú tengelyváll felőli végén, a korrózióálló hüvely alatt az illesztési hézagnál beszívargott, és intenzíven korrodálta a szénacél tengelyt.



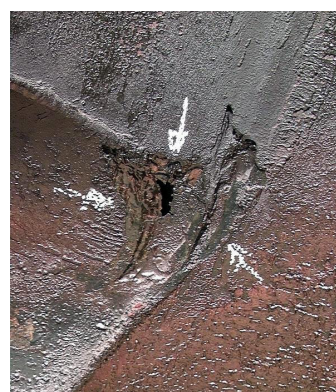
Ciklikus kifáradás

Anyagminőség: Ötvözött acél

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: ömledék

Az extrúder csiga végén egy gyártási eredetű bemetszésnél – egytengelyűségi hiba miatt fellépő – ismétlődő hajlító igénybevétel hatására repedés keletkezett, amely tovább terjedve a keresztmetszetet addig gyengítette, amíg a tengely eltört.



Erózió

Anyagminőség: Szénacél

Károsodott felület technológiai gőzzel érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: $p_u = 12 \text{ bar}$,
telített gőz $t_u = 200^\circ\text{C}$,

A 12 bar nyomású technológiai gőzben vegyes fázis alakul ki, a folyadék cseppek áramlása során az irányváltoztatásoknál (ívek, T-idomok) eróziós igénybevételt okoz.



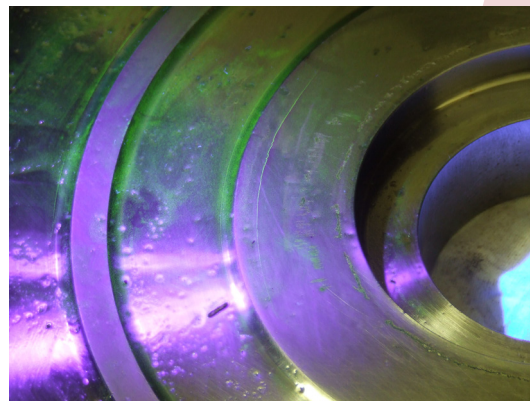
Késél korrózió

Anyagminőség: KO36

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: hexán

Helytelen hegesztési technológia miatt a Cr kioldódott a szemcsehatáron és Cr-karbidokat képzett, az átmeneti zónában lecsökkentve a korrózióval szembeni ellenállóságot. A csővezeték a hegesztési varratoknál tömörtelen lett.
Javítását 18/8 CrNi max. 0,03%C tartalmú acél alkalmazásával, hegesztési varratok hőkezelésével lehet elvégezni.



Ciklikus kifáradás

Anyagminőség: 34NiCrMo16

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: etilén

A 2400-2800 bar üzemi nyomáson fellépő periodikusan változó igénybevétel hatására az anyag kifáradt. A dugattyús kompresszor hengereiben lévő tömszelence csészék a homloklapon elrepedtek.



Szigetelés alatti korrózió

Anyagminőség: Szénacél

Károsodott felület a szigetelés alatt jelen lévő vízzel érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: pirobenzin

A szigetelés záróelemének hibája miatt a csapadék behatolt a csőfelülethez és ott megrekedt, 40-50%-os fogyást okozva a csővezeték falvastagságában.



Kavitáció

Anyagminőség: Szénacél

Károsodott felület vízzel érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Helytelen üzemeltetés miatt

a víz keringető szivattyú bekavított, szállító teljesítmény csökkenést, zajt és vibrációt okozva.



Kúszás, dekarbonizáció

Anyagminőség: Hőálló acél

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: $p_u = 3 \text{ bar}$,
pirogáz $t_u = 850^\circ\text{C}$,

A tartós és magas hőmérsékletű üzemelés hatására a pirolizáló kemencék radiációs csöveinek szövetszerkezete a belső felületen eldurvul, felcementálódik. A felkeményedés miatt az anyag szilárdsága és alakváltozó képessége lecsökken.



Szigetelés alatti korrózió

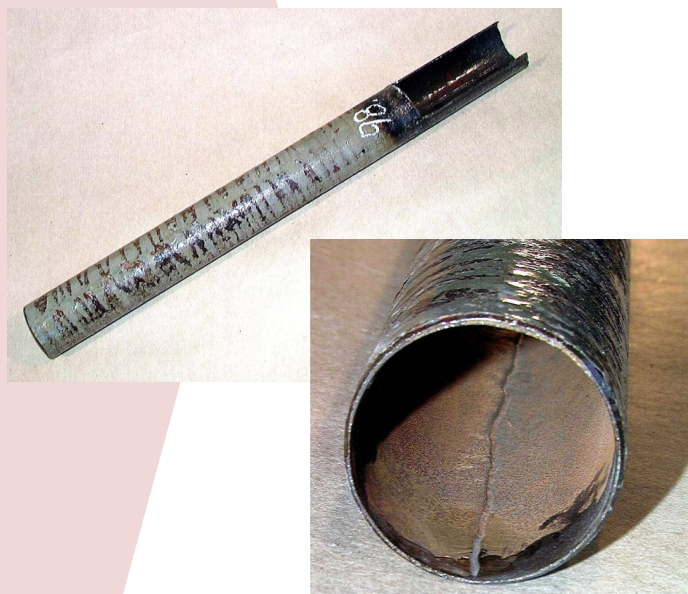
Anyagminőség: Szénacél

Károsodott felület a szigetelés alatt jelen lévő vízzel érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: C2-C3 szénhidrogén

Az időszakosan üzemelő csővezetéken a szigetelés alá befolyt, pangó csapadék intenzív korróziós felvékonyodást okozott.



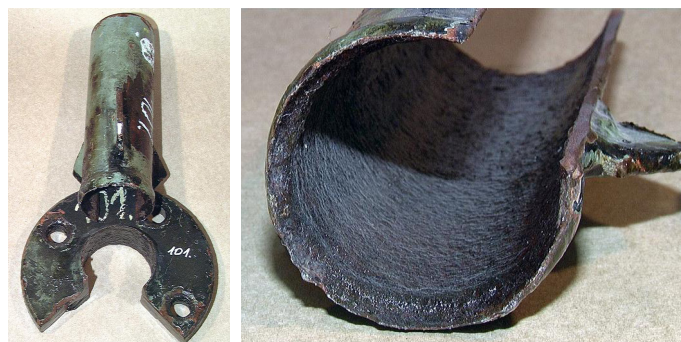
Kénsav korrózió

Anyagminőség: Szénacél

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: $p_u = 1 \text{ bar}$,
kénsav $t_u = 40^\circ\text{C}$,

Az időszakosan üzemelő csővezetékben a maradó pangó kénsav felhígult és a cső belső felületének felső alkotója mentén vonalszerű korróziót okozott.



Erózió

Anyagminőség: Szénacél

Károsodott felület vízzel érintkezik.

Üzemeltetési körülmények:

Közeg: víz

A vízestoronyban lévő Raschig gyűrűk bekerültek a torony utáni csőszakasz vízáramába, ahol jelentős eróziós hatást okoztak.

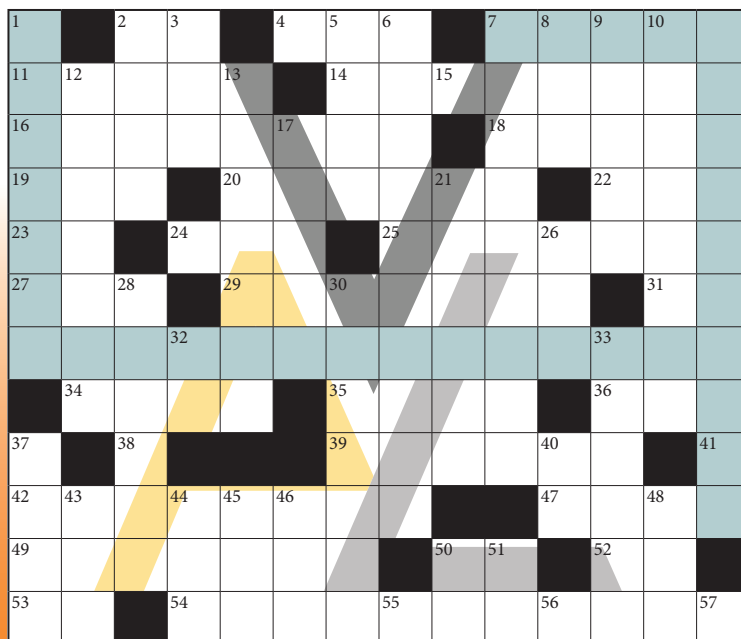
Összeállította:

Kocsis-Galuska Anna

Joó Gyula

MOL Petrolkémia

Anyagvizsgálók Lapja keresztrejtvény



Vízszintes

1. Római 1000
2. Ver
4. Kaftán eleje!
7. **A megfejtés első része**
11. Jelzők
14. Étel
16. Győztesnél
18. Rovar
19. Dokumentum vége!
20. Muzsikája
22. 2,54 cm
23. Tova
24. -zug
25. Szörnyű történet
27. Vegán befejezve!
29. Megeszi a fűvet a rétről
31. Zeke egyenműi!
34. Elkészül a térszta
35. Ázsiai eredetű népcsoport
36. ULR!
37. Névelő
38. Kálium

39. Földbe ás
41. Oxigén vegyjele
42. Olvadási hő
47. Már nem érdekli
49. 70-es, 80-as évek népszerű zenekara
50. Kötőszó
52. Német fogaskerékgár névbetűi
53. Könnyűfém
54. Adhéziós kötéshez használt anyag

Függőleges

1. **Megfejtés első része, Szent-Györgyi Albert mondása: Az élet nem más, mint...**
2. Taktus
3. Szűrő fegyver
4. Kard eleje!
5. Az öreg
6. Hozzá szálló
7. Kis Kelemen
8. Idegen női név
9. Ipari növény
10. Kóborol

12. Karcsú
13. Érkező
15. Kén
17. Izraeli sivatag
21. Hideg szagló szerv
24. A harmadik irány jele
26. Csendes múlt!
28. Orosz senki
30. Igás viszi
32. Indián üdvözlét
33. Szálas anyaggal foglalkozó
37. Ritka női név
40. Elöl-hátul jár!
43. Próbát elvisel, kibír
44. Genf vége!
45. Végtelenül undok!
46. Angol megszólítás
48. Nem azonosított repülő tárgy
50. Valamint
51. Kettős mássalhangzó
55. Az ABC első betűje
56. Nem SI Súlymérték jele
57. Nitrogén

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

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

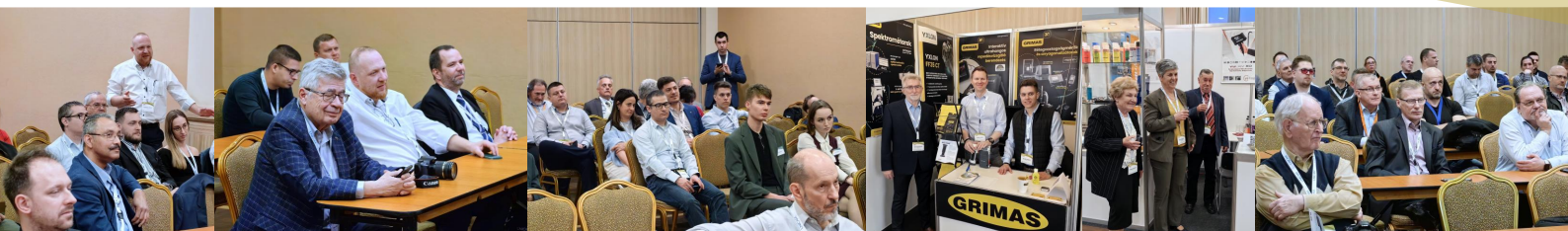
Beküldési határidő: **2025. augusztus 10.**

A 2024/IV. lapszám keresztrejtvényének nyertese: Róka Zsuzsanna

XIV. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS



2. NAP képekben



3. NAP képekben



Beszámoló a 20. oldalon!

XIV. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS



**Lezajlott a XIII. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló
Konferencia és Kiállítás!**

Részletes beszámoló a 20. oldalon!