

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

# Kohászat

Vaskohászat

Öntészet

Fémkohászat

Anyagtudomány

Hírmondó

154. évfolyam

2021/2. szám



Jó szerencsét!

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

## TARTALOM

- 1 Kaptay György:** A Miskolci Egyetem Tudományos Tanácsáról és a BKL Kohászat jövőjéről
- Vaskohászat**
- 2 Tardy Pál:** Az acélipar kihívásai és a kihívásokra adott válaszai
- 7 Széll Attila – Fazekas Péter:** Melegalakított szerszámacélon kialakított duplex bevonat tribológiai vizsgálata
- Öntészet**
- 14 Molnár Dániel – Gyarmati Gábor – Barkóczy Péter – Maróti Boglárka – Kis Zoltán – Bíró Csaba – Tarbay János Gábor:** Késő bronzkori tokosbalta komplex öntéstechnikai vizsgálata
- 20 Hajas Gergely:** Vékony falú, nagy geometriájú, alumínium gravitációs öntési technológia 3D nyomtatott homokforma alkalmazásával
- Fémkohászat**
- 23 Illés István Balázs – Kékesi Tamás:** Alumínium és alumíniumtartalmú hulladékok forgó dobkemencés olvasztásának optimalizálási lehetőségei
- 35 Németh Tamás:** Hőálló alumíniumötvözet távvezeték-alapanyagok gyártása az INOTAL Zrt.-nél
- Anyagtudomány**
- 41 Acél Artúr – Buza Gábor – Juhász Gergely – Maloveczky Anna – Szabó Dávid – Windisch Márk:** Az ultrarövid lézersugár-impulzusok hatása egyes anyagokra
- 45 Székely Levente Csaba:** A hőkezelés hatása a reaktortartály platírozással felrakott rétegének szövetszerkezetére
- 42 Kádár Csilla – Pierre Kubelka:** Alumínium- és magnéziumalapú szintaktikus habok
- Hírmondó**
- 50** Emlékeztető az OMBKE Választmány 2021. április 29-i üléséről
- 51** A Miskolci Egyetem hírei
- 52** Összefoglaló a 35. OTDK Műszaki Tudományi Szekciójáról
- 52** XII. RAKK és 10. AGY online konferencia és kiállítás
- 53** A Magyar Öntészeti Szövetség (MÖSZ) 32. közgyűlése
- 54** Magnezitipari Rt. Jolsva 1942
- 56** Dunai Vasmű történet – másképp
- 59** Köszöntők
- 60** Nekrológok

Öntészet rovatunkat az 1950-ben indított és 1991-ben megszűnt önálló szaklap, a BKL Öntöde utódjának tekintjük.

## FROM THE CONTENT

**Tardy Pál: Challenges of the steel industry and its responses** ... 2  
Steel industry had to face different challenges since the middle of the 20th century. After World War 2 steel demand was strongly increased; the steel industry responded to this challenge by the introduction of integrated steelmaking. In the mid 1970's the growth was slowed down; the answer was to increase the share of electric steelmaking which is more flexible. As a result the availability of scrap was a problem for a while. At about the start of the new millennium production started to increase very strongly. The increase was achieved mainly with integrated steelmaking. In the last decades the idea of sustainable development became very important. It puts new requirements for the steel industry, being one of the largest energy consumer and CO<sub>2</sub> emitter. To follow these requirements innovative solutions have to be developed and introduced in the steel industry.

**Széll Attila – Fazekas Péter: Tribological investigation of duplex coating on hot forming tool steel** ... 7  
Heat treated hot forming tool steel (1.2344 ESR / ESU) with a hardness of 50 HRC was treated with salt bath nitrocarburizing with different treatment parameters, followed by wet chemical and mechanical preparation on the test specimens to remove the compound layer. The specimens were then coated with a CrAlN-based PVD coating by plasma-enhanced magnetron sputtering (PEMS). The tribological properties of the duplex-coated, nitrocarburized, and hardened specimens were investigated. The tests were performed with a ball craterer (Calotest) device and a modular micro-nano surface inspection device suitable for performing ball-on-disc testing. The abrasion resistance of the nitrocarburized layer and the CrAlN layer was tested. We sought to answer how the wear resistance of a PVD layer applied to nitrocarburized layers of different thicknesses depends on the layer thickness and the structure of the layer. During the tests, wear characteristics, wear volume, wear factor and coefficient of friction were determined on test specimens with different coating types.

**Molnár Dániel – Gyarmati Gábor – Barkóczy Péter – Maróti Boglárka – Kis Zoltán – Bíró Csaba – Tarbay János Gábor: Complex analysis of a late bronze age socketed axe casting technology** ... 14  
The case study is a part of a research program, which combines the experimental casting and defect analysis with material testing methods and simulation techniques. In this paper we examine the casting technology of a late bronze age socketed axe using computer simulation. The initial parameters and the validation data of the simulation are prepared using Prompt-gamma activation analysis, neutron tomography and metallography.

**Hajas Gergely: Large geometry thin walled aluminium gravity sand casting process with 3D printed sand form** ... 20  
On base of technology patent (EP3294476) of Alu-Onto Ltd a thin walled (1-3 mm), large geometry aluminium gravity sand castings were produced using 3D printed sand forms. Using the inlet system of applied technology was adopted to 3D sand-printing technology and parts were produced without tool. Under the sample production the printed sand forms were tested according to mechanical, thermal and functional parameters of applied technology.

**Illés István Balázs – Kékesi Tamás: The possibility of optimizing the melting of aluminium scrap and Al-containing waste materials in rotary furnaces** ... 23  
Several factors, such as the mass ratio and the type of the added salt, the rotation speed of the

furnace, the intensity of heating, the oxygen ratio and the magnesium concentration, influence the metal recovery significantly. We have carried out experimental examinations to determine the relative masses of the tapped metal and the amounts of the metal entrapped in the oxide residue from dross samples of equal metal content prepared synthetically. Similar experiments were conducted to determine the efficiency of melting metal scrap of 2.5–5 mm particle size. Based on the results, we have shown the directions of optimization. The heat effect generated by the slight oxidation of the charge can be even useful for enhancing the metal recovery if firing is set correctly.

**Németh Tamás: Production of thermal-resistant aluminium alloy overhead line conductor materials at INOTAL Zrt.** ... 30  
Demand for electricity is growing worldwide. With the advent of electromobility, high-capacity batteries have emerged and emerged the need to charge them quickly. Fast charging means a demand for high power. However power loss in the form of heat will also increase on the electricity network. These are temperatures that conventional conductors of reasonable size and weight cannot withstand. INOTAL Zrt. renders an increase in demand for thermal-resistant aluminium alloy wire conductors probably and the company is prepared for their production. Development of the production technology of the aluminium-zirconium alloy type AT3 according to the international standard IEC 62004: 2009 has been completed, preparing large-scale production is in progress. AlZr AT1 product is already in series production, 1,847 tons have been sold by the end of April 2021.

**Acél Artúr – Buza Gábor – Juhász Gergely – Maloveczky Anna – Szabó Dávid – Windisch Márk: The effect of ultrashort laser beam pulses on certain materials** ... 35  
An ultrashort pulse laser device was put into operation within the framework of a successful joint tender of Bay Zoltán Nonprofit Kft. and Neumann János University. The experience and research results gained with the instrument for research and educational purposes have opened up new application-oriented research areas in the field of laser beam material processing. Some of these are presented in the article.

**Székely Levente Csaba: The microstructural effects of heat treatment on reactor pressure vessel cladding** ... 41  
The inner surface of pressurized water reactor vessels is clad with stainless steel made by surface welding. The clad pressure vessel is heat-treated several times, which results in a decrease in the corrosion resistance of the material. In this research, the welding was reproduced together with the heat treatments, and traces of sensitization were identified on the examined specimens. Metallographic studies show that there is a strong correlation between heat treatment times and the level of sensitization.

**Kádár Csilla – Pierre Kubelka: Aluminium- and magnesium-based syntactic foams** ... 45  
The compressive properties, the failure mechanisms of different syntactic foams were investigated. For manufacturing, commercial purity (cp) Al and cp Mg were used as matrices and two kinds of ceramic hollow sphere (CHS) (differing both in size and composition) as filler materials. We found that for Al matrix, both kinds of CHS resulted in the same peak stress. However, when using Mg instead of Al as matrix material, the CHSs led to an increase of 50% and 100% in the peak stress, respectively. The difference in the strength can be attributed to the reaction between the sphere and the matrix that changed the composition of the matrix material.

• **Szerkesztőség:** 1051 Budapest, Október 6. utca 7., III. em. • **Telefon:** 06-1-201-7337 •  
• **E-mail:** bkl.kohaszat@gmail.com • **Internetcím:** www.ombkenet.hu/bkl/kohaszat.html •

• **Felelős szerkesztő:** Balázs Tamás •

• **A szerkesztőség tagjai:** Bíró Nóra, dr. Buzáné dr. Dénes Margit, dr. Dévényi László, dr. Dúl Jenő, dr. Harcsik Béla, dr. Kóródi István, Schudich Anna, dr. Tardy Pál, dr. Török Tamás •

• **A lapban megjelenő valamennyi cikket független szakértők lektorálják •**

• **Kiadó:** Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület • **Felelős kiadó:** dr. Hatala Pál •

• **Nyomja:** Press+Print Kft. 2340 Kiskunlacháza, Gábor Áron u. 2/a • **HU ISSN 0005-5670 •**

• **Belső tájékoztatásra, kereskedelmi forgalomba nem kerül.** • A közölt cikkek fordítása, utányomása, sokszorosítása és adatrendszerekben való tárolása kizárólag a kiadó engedélyével történhet. •

• **Indexeli az EBSCO Publishing Inc. •**

# A Miskolci Egyetem Tudományos Tanácsáról és a BKL Kohászat jövőjéről

## Tájékoztató a ME TT működéséről

A Miskolci Egyetemen (ME) régóta működik Tudományos Tanács (TT), 2017 előtt Roósz András vezetésével. Amikor 2017 őszén azt elnökként átvettem, az akkori rektor azt kérte, hogy tárjuk fel és erősítsük a ME nemzetközi tudományos láthatóságát (NTL). Ennek oka az volt, hogy egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy ennek erős vagy gyenge volta szignifikáns hatással van az egyetem hazai és nemzetközi elfogadottságára és ezen keresztül a bevételeire is. A jelenlegi rektor kérésére ezt 2020 végén kiegészítettük a hazai tudományos láthatóság (HTL) mérésével is (régbben ennek mérését kizárólagosan a volt rektorhelyettes végezte, de furcsa és célszerűtlen volt a két, egymásnak ellentmondó metodika évenkénti egymáshoz feszülése). Feltárni persze az NTL-t és a HTL-t egyszerűbb, mint erősíteni. Kialakítottuk a mérési algoritmusok rendszerét, amivel ma már sok mindent mérünk évente:

- I. Az előző évben megjelent, a Scopus-ban (ami egy nemzetközi tudományos adatbank) és a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) látszó művek (a ME, mint munkahely feltüntetésével), innen számítjuk az NTL és ma már a HTL értékeit is, személyekre lebontva, majd tanzsékek és karok szerint összesítve.
- II. A ME 2020-ban bekerült a QS nevű nemzetközi rangsoroló (ranking) cég első 1 000 egyeteme közé (a világon), de csak a 996. helyen. Félő, hogy jövőre innen kieshetünk, márpedig ennek nemzetközileg és itthon is nagy marketingértéke van. Az ide való bekerülés egyik fő kritériuma az elmúlt 5 évben megjelent, a Scopus-ban is látszó cikkekre kapott független hivatkozások száma. Ezért feltártuk, hogy egyénileg ki mit tett hozzá ehhez a sikerhez, sőt az új rektor 2020 novemberében, a Tudomány Ünnepe alkalmából ezen az alapon adott át kitüntető okleveleket a kollégáknak.
- III. Minden évben megállapítjuk, hogy a Selmecen – Sopronban – Miskolcon megjelent művekre kapott független Web of Science (egy másik nemzetközi tudományos adatbank) hivatkozások alapján mennyi a ME (és jogelődjei) h-indexe, (azaz azon műveinek száma, melyek minimum ugyanennyi hivatkozást kaptak). Megadjuk azokat a műveket és szerzőiket, akik ehhez hozzájárulnak. Az első helyen még mindig Scopoli áll Selmecről, ezért az oklevélatadásnál a kitüntetetteket abba a sorba ültetjük a ME Díszaulájában, amit Scopoli bronzszobra nyit meg, bár őt nem szólítjuk ki.

A fenti három mérési eredményt évente közzétesszük, és rávesszük az egyetem vezetését arra, hogy okleveleket és anyagi elismerést is adjon. A 2021-es évre erre határozott ígéretünk van dr. Horváth Zita rektortól. Az előbbi kimutatások és oklevelek önmagukban is ösztönzőek, ezekre kevés köszönő és rengeteg sértődött e-mail és telefon érkezik évente, hogy XY miért nincs az első helyen stb. Ennek azonban van ösztönző hatása is, hiszen az emberek a büszkeségükön keresztül jól motiválhatóak. Tény, hogy míg 2015–2016-ban az ME publikációs termése visszaesett, 2018 óta folyamatos a növekedés. Ez azért is kell, mert ötéves átlagban 1 000 Scopus-cikk alatt a nemzetközi rangsoroló cégek nem állnak szóba velünk; a Miskolci Egyetem fennállása óta először 2018-ban elértük és azóta tartjuk ezt a szintet, illetve fokozatosan növekszünk.

## Vélemény a BKL Kohászat jövőjéről és helyéről

A BKL Kohászat az egyetlen magyar nyelvű kohászati szakmai–tudományos folyóirat, ami az elmúlt években jó és egyenletes színvonalon jelent meg. Minden számot átnézek (részben el is olvasom), amikor meghozza a postás.

A környező volt szocialista országok hasonló lapjainak a többsége ma angol nyelvű, vagy kevert nyelvű. Ezzel a nemzetközi mezőny „futottak még” kategóriájában vannak, de igazán komoly nemzetközi lappá soha nem válnak. Ennek oltárán azonban kevés értelme volt beáldozni az anyanyelvi kiadást.

A célunk (amit tanítók és hirdetek is), hogy minden tudománnyal foglalkozó ember jelentessen meg angol nyelven évi átlagban öt folyóiratcikket a világ legjobb lapjaiban (a legjobban, amelyik hajlandó a cikkét publikálni), és ezen túl minimum egy magyar nyelvű cikket a szakmája folyóiratában. Nálam ez a 20% kijön az elmúlt 33 évre, mióta az egyetem és aspirantúrára után hazajöttem a Szovjetunióból. Ezen cikkek többsége a BKL Kohászatban jelent meg, bár néha írok máshová is.

Ehhez tartozik az a törekvés is az MTA-n és a ME-n, hogy a magyar nyelvű publikáció megléte legyen belépő kritériuma minden tudományos cím odaítélésének (persze a minőségi külföldi cikkek mellett). Ez működik is: mind a ME MAK (Műszaki Anyagtudományi Kar) kari doktori követelményekben, mind a ME MAK habilitációs, mind az MTA VI. Műszaki Tudományok Osztálya habituszvizsgálat követelményeiben van ilyen kritérium. Ha valaki fémekkel foglalkozik és ezen belül pl. nem térésmechanikával, akkor ennek egyetlen igazi fóruma a BKL Kohászat. Ezért úgy látom, hogy amíg az egyetemeken vannak fémekkel foglalkozó kollégák (ME, BME, Óbudai Egyetem, Széchenyi István Egyetem, Debreceni Egyetem stb.), addig a BKL Kohászatnak lesznek egyetemi szerzői.

A nem tudományos tartalom a BKL Kohászat számaiban elviselhető, különösen a „ki halt meg” és a „ki lett 70 éves” rovatot szerintem sokan olvassák azok közül, akik még élnek. A közgyűlési és egyéb jegyzőkönyveket talán kevésbé, de ez is az elviselhető kategória. Ilyen van a TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) lapjában is, a JOM-ban (Journal of The Minerals, Metals & Materials Society), de ott az első 10 oldalon.

Véleményem szerint a BKL-nek meg kell őriznie a magyar nyelvű kohászati–fémek anyagtudományi tematikáját, és nem kell görcsölnie azon, hogy nem ez a világ leginkább hivatkozott folyóirata. Soha nem lesz az, ne foglalkozunk vele, nem ezért szeretjük és nem ez a funkciója. A fő funkciója szerintem kettős: – van egy mikro-társadalmi kohéziós szerepe, amihez kellenek az egyesületi hírek is,

– van egy magyar műszaki kohászati szaknyelvápoló, -fejlesztő szerepe, ami nélkül a magyar kohászati szaknyelv elsorvadna, de legjobb esetben is diverzifikálna BME- és ME-társulásokra: ezek egységesítése csak a BKL Kohászatban belül valósul meg, esetleg még a szakmai konferenciákon, de ott csak beszélt nyelv van, írott nincs. Itt megjegyzem, hogy ha rajtam múlna, az Országos Anyagtudományi Konferencia cikkeit is magyarul adatnám ki a BKL-ben, és nem angolul egy sehol nem jegyzett kiadványban, de ebben a kérdésben nincs döntési jogköröm.

Kaptay György

TARDY PÁL

## Az acélipar kihívásai és a kihívásokra adott válaszai

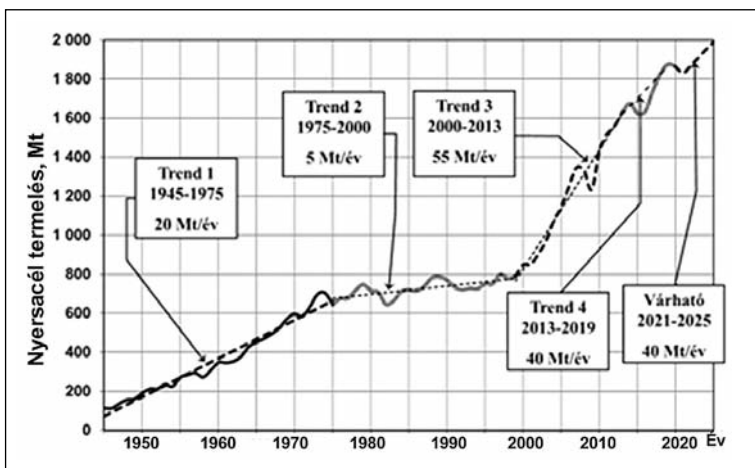
**Az acélipart a 20. század közepe óta különböző kihívások érték. A 2. világháború után az acélfelhasználás jelentősen nőni kezdett; erre a kihívásra az acélipar az integrált acélgyártás bevezetésével válaszolt. Az 1970-es évek közepén a növekedés lelassult. A válasz az elektroacél-gyártás arányának növelése volt, amely rugalmasabban alkalmazható az igények változásakor. Ennek eredményeként az acélhulladék elérhetőségével adódtak problémák. Az új évezred elején a termelés ismét jelentősen nőni kezdett. A növekedést elsősorban integrált acélgyártással érték el. Az utolsó évtizedekben a fenntartható fejlődés eszméje vált uralkodóvá. Ez jelentős igényeket támaszt az acéliparral szemben, amely az egyik legnagyobb energia felhasználó és CO<sub>2</sub>-kibocsátó. A követelmények teljesítése érdekében innovatív megoldásokat kellett kifejleszteni és bevezetni.**

### 1. Bevezetés

A világ acéltermelése 1950 óta közel a tízszeresére nőtt. A növekedés azonban nem volt egyenletes. A kisebb ingadozásokat figyelmen kívül hagyva öt szakaszt lehet megkülönböztetni (1. ábra):

1. 1950 és 1975 között évente 20–30 Mt-val nőtt a termelés (~ 5%/év),
2. 1975 és 2000 között sokkal lassabb volt a növekedés (~ 1%/év),
3. 2000 és 2013 között a növekedés sebessége igen magas volt (~ 6-7%/év),
4. 2015-ben rövid időre csökkent a termelés, majd valamivel lassabb szakasz következett (~ 4%/év).
5. A 2020 elején kitört világválság hatására visszaesett a termelés; de 2021-től optimista becslések szerint a korábbinak megfelelő évi ~ 4%-os növekedés várható.

Az acélipart minden szakaszban új kihívások érték, amelyekre különböző válaszokat kellett adni. A cikkben röviden áttekintjük a kihívásokat és a válaszokat.



1. ábra. A világ nyersacél termelésének alakulása 1950 óta

### 2. Az acélipar válaszai az első két szakaszban

#### a) Az első növekedési szakasz (1950–1975)

A háború utáni újjáépítés eredményeként az acélfelhasználás rendkívül gyorsan nőtt, és az acéliparnak követnie kellett a mennyiségi igények növekedését. Az 1950-es évek elején a korábban is alkalmazott acélgyártási eljárásokat használták: az acél 90%-a Siemens–Martin-eljárással készült, a többi elektroacél-gyártással. Ebben a szakaszban az acélipar válasza az oxigénes acélgyártás kifejlesztése és gyors terjedése volt. Az új technológia termelékenysége sokkal nagyobb volt az SM-eljárásénál, amit a méretek növelésével, a befűvási eljárások fejlesztésével stb. tovább tudtak növelni. Az 1970-es évek első felében az acéliparban az integrált acélgyártás vált uralkodóvá.

#### b) A második növekedési szakasz (1975–2000)

Az 1970-es évek közepén az olajválság következtében a világgazdaság növekedésében trendváltás következett be. Ennek eredményeképpen az acélfelhasználás növekedése jelentősen lassult, és az előző periódus hatására

kiépült új kapacitások eredményeként felesleges kapacitások alakultak ki. A túltelített acéliparon tipikus árciklusok jelentek meg, az acélárak 20–40%-kal estek, ami súlyos nehézségeket okozott a termelőknek.

A fő kihívás ekkor a vállalatok életképességének megtartása volt: romló piaci körülmények mellett is versenyképesnek kellett maradni. Legfontosabb feladat a termelési költségek csökkentése és a rugalmasság növelése volt, hogy követni tudják a piac gyorsan változó igényeit.

Erre a célra az elektroacél-gyártás sokkal alkalmasabb az integrált acélgyártásnál: kisebbek a beruházási költségek, a termelés csökkentésének költségei is sokkal kisebbek, kisebb az anyag- és energiaigénye. Ennél a technológiánál

a legfontosabb fejlesztési feladatok a következők voltak:

- a termelékenység növelése,
- a termékminőség javítása,
- minden lehetőség kihasználása a költségek csökkentésére,
- a termelés rugalmasságának növelése.

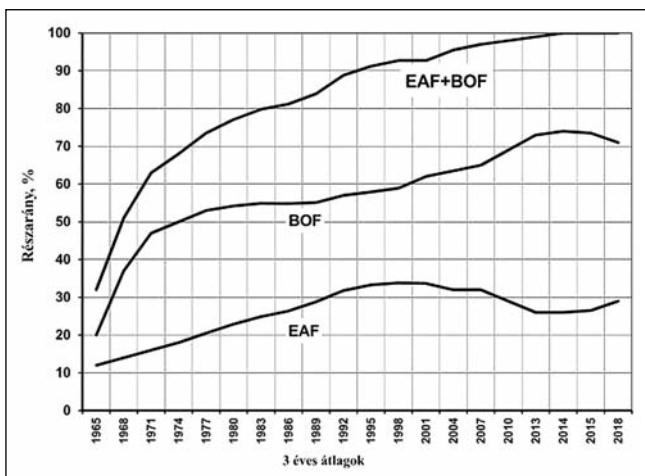
A termelékenységet a berendezések méretének növelésével, oxigénbefúvással, a folyamatok optimalizálásával növelték, különböző minőségjavító módszereket (üstkemencék, különböző üstmetallurgiai eljárások stb.) alkalmazva jelentősen javítani tudták a termékminőséget. Nem tudták azonban az acélhulladékkal bevitt szennyezők egy részét (pl. réz) eltávolítani.

Az előnyök kihasználásának eredményeként az elektroacél-gyártás részaránya jelentősen nőtt ebben a szakaszban: az SM-eljárás kiszorulását az elektroacél-gyártás növekedése ellensúlyozta (2. ábra).

Ennek a szakasznak meghatározó műszaki fejlődése a folyamatos öntés gyors terjedése volt. Ennek eredményeként jelentősen csökkentek a termelési költségek: a kihazatal nőtt, és a melegalakítási műveletek száma csökkent.

**1. táblázat.** Az integrált acélgyártás és az elektroacél-gyártás összehasonlítása

	Integrált acélgyártás	Elektroacél-gyártás
<b>Termelékenység</b>	~ 12 000 t/nap	~ 6000 t /nap
<b>Betétanyag</b>	nyersvas	acélhulladék, DRI
<b>Fajlagos anyagfelhasználás</b>	~ 2 500 kg/t acél (vasérc, koks, mész, acélhulladék)	~ 1 500 kg/t acél (acélhulladék, DRI, mész)
<b>Fajlagos energiaigény</b>	19–24 GJ/t acél	8-10 GJ/t acél
<b>Fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátás</b>	2-2,5 t/t nyersacél	0,4–0,7 t/t nyersacél
<b>Rugalmasság</b>	csekély	jelentős



**2. ábra.** Az oxigénes konverteres (BOF) és az elektroacél-gyártás (EAF) részarányának változása a világ acéliparában

**c) A harmadik növekedési szakasz (2000–2013)**

Az ezredforduló táján az acélfelhasználás és ennek megfelelően az acéltermelés korábban nem tapasztalt gyors növekedésnek indult; a növekedés gyorsabb volt, mint az 1950-es és '60-as években. Lényeges különbség azonban, hogy a növekedési ütemet az első szakaszban a fejlett országok diktálták, 2000 óta pedig Kína, amely akkor még fejlődő ország volt. A növekedés üteme a 2008-2009-es

gazdasági válság idején megtört; ez azonban rövid ideig tartott, és a fejlett országokat sokkal jobban érintette, mint a fejlődőket.

A globális acéltermelés 2000 és 2013 között csaknem kétszeresére nőtt (850 Mt-ról 1560 Mt-ra). A növekedésben Kína volt meghatározó: nyersacél-termelése 131 Mt-ról 822 Mt-ra, azaz 690 Mt-val nőtt.

Ebben a szakaszban az első szakaszhoz hasonlóan a termelési volumen növelése volt a legfontosabb. Az acéliparnak azonban új kihívásokkal is szembe kellett néznie:

- biztonságos betétanyag-ellátás,
- a környezetterhelés csökkentése,
- a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentése (klímavédelem).

A termelés erőteljes növeléséhez Kínában az integrált acélgyártás lehetőségeit használták ki.

A 2. ábrán a két alaptermék arányának változását mutatjuk be 1950 óta. Az első szakaszban (a dinamikus növekedés idején) az integrált acélgyártás részaránya jelentősen nőtt. A második szakaszban (az 1970-es évek közepétől) – elsősorban a nagyobb rugalmassága miatt – az elektroacél-gyártás aránya nőtt, a harmadik szakaszban pedig ismét az integrált acélgyártás fejlődött gyorsabban. Kínában az új gyártókapacitások zöme erre a technológiára épült.

**d) A negyedik szakasz (2013–)**

A negyedik szakasz a termelés rövid visszaesésével indult, majd a korábbihoz hasonló ütemben kezdett nőni. A világválság kitérője 2020-ban ismét csökkenést eredményezett, amit az eddigi jelek és a nemzetközi szakértők szerint lényegében az előző szakasznak megfelelő növekedési ütem fog követni.

**3. Az alapanyag-ellátás helyzetének alakulása**

Az acélipar alapanyag-igénye és a szállítási lehetőségek kb. az ezredfordulóig egyensúlyban voltak. Mivel a földkéregben elérhető vasérc mennyisége sokszorosa az acélipar igényeinek, nem volt akadálya annak, hogy igény szerint növeljék a vasércbányák termelését, így a rohamosan növekvő igényeket is viszonylag könnyen ki tudták elégíteni.

Az acélhulladék esetében más a helyzet. Az acélhulladék nem természeti erőforrás, hanem a korábban gyártott acélból származik. Ennek szükségszerű következménye, hogy az elérhető acélhulladék mennyisége a múltban gyártott (és felhasznált) acél mennyiségétől függ. Szerző a 2000-es évek elején kezdett foglalkozni ezzel a problémakörrel, amikor az elektroacél-gyártás területén nehézségek adódtak az ellátással: a piacon elérhető hulladék mennyisége időről időre kisebb lett az igényeknél. Az elérhető hulladékmennyiség becslésére modellt dolgozott ki, amelyet számos fórumon ismertetett, és a World Steel Association is hosszabb időn keresztül ezt a modellt használta számításainál.

A modell lényege az acélipar vas-mérlege, amely a következőképpen szemléltethető:

$$Fe(\text{nyersacél}) = Fe(\text{betétanyagok}) - Fe(\text{hulladékok, veszteségek, melléktermékek}).$$

Az igényoldal viszonylag egyszerűen számítható a számos nemzetközi szervezetnél elérhető nyersacél, nyersvas és direkt redukált érc (DRI) mennyiségekből.

A keletkező acélhulladék mennyiségének becslése már bonyolultabb feladat. Három fő acélhulladék-típust szokás megkülönböztetni:

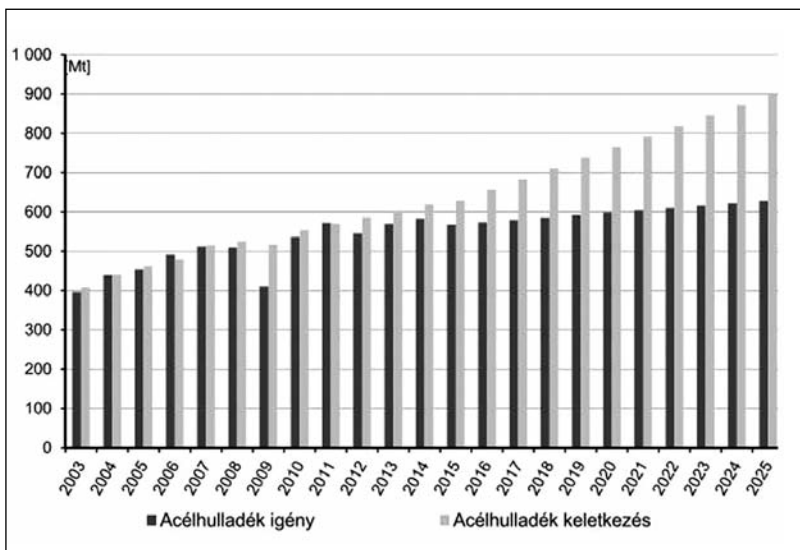
- saját hulladék, amely az acélipari vállalatnál keletkezik a termelés és feldolgozás során,
- új (felhasználói) hulladék, amely az acéltermékeket felhasználó vállalatoknál keletkezik akkor, amikor a szállított acéltermékből kialakítják az általuk használt alkatrészeket,
- régi (amortizációs) hulladék, ami az elhasználot acélalkatrészekből, szerkezetekből származik.

Az első két hulladéktípus a gyártás során, ill. a felhasználás során a gyártást követően viszonylag rövid időn belül keletkezik, a régi hulladék keletkezésének számításánál azonban figyelembe kell venni a hulladékba került alkatrész, szerkezet élettartamát. A két legfőbb kategória az építőiparban, infrastruktúráknál felhasznált acél és a gépek, járművek előállításánál felhasznált acél. Az előbbieknél 50 éves, az utóbbiaknál 8 éves átlagos élettartamot feltételeztünk. Nemzetközi acélipari szervezetek (elsősorban a World Steel Association és az EUROFER) kiadványaiban az említett célokra felhasznált acél mennyisége is hosszabb időtávra elérhető. Korábbi publikációinkban részletesen ismertettük a számításoknál alkalmazott feltételezéseket és paramétereket [1, 2].

Az ezredforduló előtt mindkét hulladéktípus mennyisége mérsékelten növekedett, majd az ezredforduló körül megindult gyors növekedés eredményeként a járművekből, gépi berendezésekből keletkező hulladék mennyisége egy idő után gyorsan nőni kezdett. Ennek megfelelően a hulladékhiány, ill. szűkös ellátás szakasza után a 2010-es évek elején egyre növekedett az a hulladékmennyiség, amire az acéliparnak változatlan feltételek mellett már nem volt szüksége.

Számszerű becsléseink eredményeit a 3. ábra tartalmazza.

Az ábrán jól látható a 2000-es évek elejének problémá-



■ 3. ábra. A keletkező acélhulladék mennyisége és az acélipar hulladékigényének alakulása

ja: az elérhető hulladék mennyisége alig különbözött az igénytől, sőt esetenként negatívra fordult (ezt az európai miniacélművek megéreztek: nem, vagy csak magas áron tudtak hulladékot vásárolni). A 2010-es évek elején az acél-felhasználás 10 évvel korábban kezdődött dinamikus növekedése már éreztette hatását: a felhasznált acélból készült eszközökből, járművekből egyre több régi hulladék keletkezett, és mivel továbbra is az integrált eljárás volt meghatározó, a keletkező hulladék mennyisége gyorsabban nőtt az igényeknél. Kínában folyamatosan nő a régi hulladék mennyisége, és a feldolgozás korszerűsítésével exportórré válhatott. Egyelőre semmi jele nincs annak, hogy újra hulladék-ellátási problémák alakuljanak ki az acéliparban.

#### 4. A jelen és a jövő fő kihívása: a klímavédelem szigorodása

Napjaink közismert témája a fenntartható fejlődés biztosítása földünkön. Bár a megfogalmazott kritériumok közül több is érinti az acélipart (hulladékhasznosítás, körkörös gazdaság, légszennyezés stb.), a legnagyobb kihívást a klímavédelem jelenti.

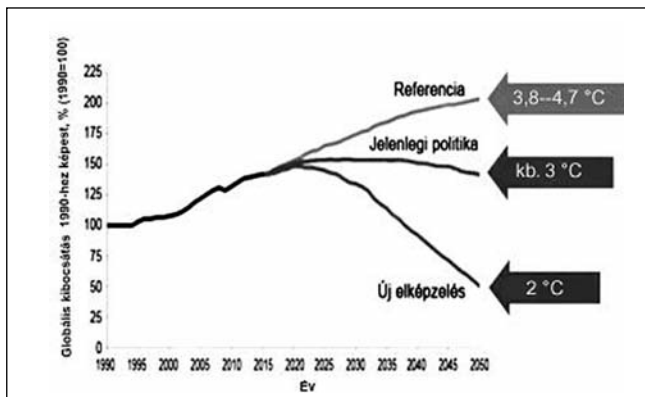
Az éghajlatváltozással foglalkozó kutatók megállapították, hogy a globális felmelegedés hajtóereje az emberi tevékenységből származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás, amely a légkörbe kerülve üvegházhatást fejt ki. A Kyotói Protokollt 1992-ben fogalmazták meg, 1997-ben fogadták el és 2005-ben lépett életbe. Az aláíró országok vállalták az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését. Első szakasza 2008–12-ig tartott. A kibocsátás ennek ellenére tovább növekedett. Az acélipar részaránya a globális kibocsátásban ~ 7%.

A megvalósítás legfontosabb eszközeként az emissziókereskedelmet próbálták felhasználni. Az acélipar – mint egyike a nagy kibocsátóknak – erősen érintett ebben a témában. Ennek lényege, hogy a kibocsátók meghatározott mennyiségű CO<sub>2</sub>-kibocsátásra (kvóta) kapnak jogot; az ennél többet kibocsátók kvótákat vásárolhatnak az ennél kevesebbet kibocsátóktól. Ezzel megindult az ún. kvótakereskedelem. Az érzékeny iparágak (köztük az acélipar) az EU-ban a versenyképesség megtartása érdekében ingyenes kvótákat is kaptak. Ezért kevesebb kvótát kellett vásárolniuk, ami csökkentette a költségeiket. A kvótaárak kezdetben magasak voltak, majd meredeken estek. Ennek oka az ingyenesen kiosztott kvóták nagy mennyisége, emiatt a piacon túlkínálat alakult ki. A 2012–2020 közötti kereskedelmi periódusban ezt úgy próbálták korrigálni, hogy az érzékeny iparágak esetén a legjobb 10% átlagának megfelelő fajlagos kibocsátásra korlátozták az ingyenes kvóták mennyiségét (benchmark alapú kiosztás), ez azonban nem változtatott a helyzeten: az EU acélipara továbbra is jóval több ingyenes kvótahoz jutott, mint amennyit kibocsátott. Ennek eredményeként az acélipar fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása és energiafelhasználása az elmúlt évtizedben alig változott (2. táblázat).

**2. táblázat.** Az acélipar fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása 2009–2019 között a nyersacélgyártásig

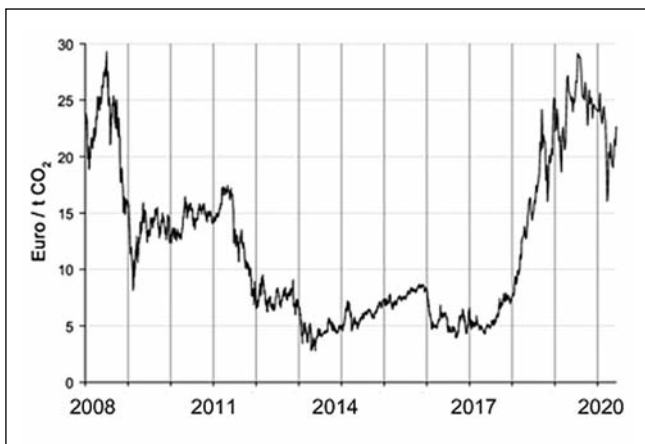
Év	2009	2011	2013	2015	2017	2019
Fajlagos kibocsátás, t CO <sub>2</sub> /t nyersacél	1,81	1,79	1,76	1,82	1,84	1,83

A helyzet ismeretében az ENSZ a Kyotoi Egyezmény módosítását javasolta, amire 2016-ban Párizsban került sor. A fő célkitűzés a globális felmelegedés csökkentése volt úgy, hogy 1990-hez képest 2 °C-nál (sőt lehetőleg 1,5 °C-nál) ne legyen nagyobb a hőmérséklet-növekedés (4. ábra). Az egyezmény nagy visszhangot keltett, számos ország aláírta; nagy hiányossága azonban, hogy nem tartalmaz kötelező érvényű mennyiségi vállalásokat.



**4. ábra.** A tervezett globális hőmérséklet-növekedésekhez szükséges kibocsátások alakulása (1990 = 100%)

A nemzetközi szervezetek erősödő nyomásának hatására az Európai Bizottság a 2020–2030 közötti időszakra határozottabb lépéseket tervezett az emissziókereskedelmi rendszer reformjára, aminek fő eszköze a kvóta egységárak emelése 4-5 €/t-ról 25-35 €/t-ra. A cél elérése érdekében az évenkénti kibocsátáscsökkentést a korábbi 1,74%-ról 2,2%-ra növelték. Ennek hatása a kvótaárra gyorsan érzékelhetővé vált (5. ábra).



**5. ábra.** A kvótaár változása az előírások szigorodása következményeként

Ezt az utat követve a jelenlegi technológiák alkalmazásával az acélipar CO<sub>2</sub>-költségei jelentősen nőnek.

A klímavédelem szigorja, mértéke és költségei között azonban jelentős különbségek vannak az egyes országok, régiók között. A kis ráfordítást alkalmazó, de nagy kibocsátó országok, régiók energiaintenzív termékeinek gyártási költségei emiatt kisebbek, ami méltánytalan versenyelőnyt jelent számukra. Az EU ennek a problémának a kiküszöbölésére 2022 végére tervezi a kiegyenlítő vámrendszer (carbon border adjustment) mechanizmus bevezetését, aminek az a lényege, hogy az ilyen országokból származó acélimportra vámot vetnek ki. Ez ugyan segítséget jelenthet pl. az acélipar számára, de nem oldja meg a globális problémát.

Az acélipar azonban nem térhet ki a nemzetközi szervezetek elvárásai elől, azaz hosszú távú megoldásokat kell kidolgozni az ágazat CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentésére. Az ezirányú kutatások 2004-ben az EU támogatásával indultak meg (ULCOS, Ultra Low Carbon Steelmaking, és azóta számos más projekt is volt, pl. a World Steel Association Climate Action programja: a projekt 2010-ben fejeződött be, de azóta is intenzív munka folyik világszerte).

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2020-ban áttekintést adott az ígéretek eredményekre alapozott fejlesztési módszerekről. Az EUROFER 2019-ben készített „Lehetőségek a CO<sub>2</sub>-semleges európai acélipar eléréséhez” (Pathways to a CO<sub>2</sub>-Neutral European Steel Industry) című dokumentuma összefoglalta az Európában szóba jöhető technikákat.

A legegyszerűbb megoldások a meglévő technológiák módosítására, korszerűsítésére alapozódnak. Mind a BOF, mind az EAF eljárás fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása csökkenthető a folyamatszabályozás fejlesztésével, a betétanyagok célszerű kiválasztásával, a maradék- és hulladék energiák hasznosításával stb. Az így elérhető eredmény azonban nem jelentős az elvárásokhoz képest.

Kézenfekvő megoldás a hulladékarány növelése az acélipar betétanyagaiban, ami elsősorban az elektroacél-gyártás részarányának a növelésével érhető el. Mint láttuk, ennek az ezredforduló elején korlátot szabott az elérhető acélhulladék mennyisége. Ez a probléma a kínai acélipar termelésének gyors növekedésével megoldódott: a kínai acéliparban máig az integrált acélgyártás az uralkodó, ami – mint leírtuk – nettó hulladéktermelő. Az elérhető hulladékmennyiség ennek megfelelően dinamikusan nőhet 2050-ig, amikor kb. 1300 Mt prognosztizálható. Ez várhatóan akkor is bőségesen elegendő lesz az acéliparnak.

Az elektroacél részarányának növelését a továbbiakban nem a hulladékkeletkezés, hanem az acélhulladékból előállítható acél szennyezettsége korlátozza. Az amortizációs hulladék ugyanis olyan szennyező elemeket is tartalmaz, amelyek nem, vagy csak nehezen, nagy költségek árán távolíthatók el az acéolvadékból (elsősorban a rézről van szó). A szennyezők jelenléte az acél tulajdonságait is befolyásolja, ami elsősorban a hidegen, ill. melegen hengerelt acéltermékek felhasználóinál okoz gondot. Nagyrészt emiatt az elektroacél-gyártás részaránya valószínűleg nem fogja túllépni a 40%-ot.

Az acélgyártás során keletkező gázok (kamragáz, torokgáz, konvertergáz) fizikai és kémiai energiátartalma (CO, CO<sub>2</sub>) hasznosítható villamos erőművek működtetésére.

sénél, ill. bizonyos vegyületek előállításánál (ammónia, metanol).

A nagyolvasztóból történő nyersvasgyártás mellett a direkt redukciós eljárások betétanyaga is vasérc („virgin iron”, „szűz vas”), így az említett szennyezettség problémája nem merül fel. A direkt redukált vasat az elektroacélgyártásnál és a nyersvasgyártásnál is felhasználják. Az elektroacélgyártásnál eredményesen lehet alkalmazni az átlagos szennyezettség csökkentésére (hígítására). 2018-ban kb. 110 direkt redukálóberendezéssel kb. 80 Mt szivacsvasat állítottak elő.

Az acélpár kibocsátásánál figyelembe kell venni azokat a kibocsátásokat is, amelyek a felhasznált anyagok, energiák előállításához szükségesek. Az elektroacélgyártás esetében alapvetően a villamos energia előállítása során keletkezett kibocsátásról van szó. Ez fosszilis energiával működtetett hőerőművek esetében jelentős, megújuló energiákkal működtetett erőművek és atomerőművek esetében elhanyagolható.

A vasérc direkt redukációjához elsősorban földgáz használható, és – ha van rá lehetőség – a nagyolvasztó torokgáz alkalmazása sem zárható ki egyes szakértők szerint. A redukció eredményeként ebben az esetben is CO<sub>2</sub> keletkezik, amit az acélgyártás közvetlen kibocsátásához hozzá kell tenni; a fajlagos kibocsátás az eljárástól függően 15-25%-kal kisebb a hagyományos nyersvasgyártásnál.

A növényekből előállított redukálószer (pl. faszén) esetében a növény növekedése során a levegőben lévő CO<sub>2</sub>-t használja fel, azaz lényegében a szén körforgásáról van szó.

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) szerint a globális célok elérése érdekében az acélpárnak 2050-ig legalább a felére kell csökkenteni a CO<sub>2</sub>-emissziót. Ehhez az acélgyártásnak (a legnagyobb ipari kibocsátó) a 2019. évi 1,4 t CO<sub>2</sub>/t nyersacél értékéről 0,6 t CO<sub>2</sub>/t nyersacélra (60%-kal) kell csökkenteni a fajlagos kibocsátást. Elemzéseik során két forgatókönyvet vizsgáltak:

- *STEPS scenario (Stated Development Scenario)*: a jelenlegi feltételrendszer mellett a legjobb rendelkezésre álló technológiák alkalmazása.
- *SDS scenario (Sustainable Development Scenario)*: a leghatékonyabb, biztos eredményt hozó, sikeres nemzetközi együttműködést feltételező scenárió.

A 3. táblázat tartalmazza a két scenárióval elérhető fajlagos energiafelhasználási és CO<sub>2</sub>-kibocsátási adatokat (2019-es tényadatok és a 2030-ra, 2050-re vonatkozó becslések).

A becslések során vizsgált technológiai változatok fajlagos kibocsátási adatait a 4. táblázat tartalmazza.

**3. táblázat.** Az acélpár fajlagos energiafelhasználásának (GJ/t) és CO<sub>2</sub>-kibocsátásának (t CO<sub>2</sub>/t nyersacél) alakulása a két scenárió alapján

Szenárió	2019	2030 Steps	2030 SDS	2050 Steps	2050 SDS
Energia-intenzitás GJ/t	18,9	17,9	17,2	16,1	14,8
Fajlagos kibocsátás t CO <sub>2</sub> /t	1,4	1,3	1,2	1,1	0,6

**4. táblázat.** Fajlagos CO<sub>2</sub>-emisszió a szobajöhető acélgyártási módszerek alkalmazása esetében

Eljárás	Fajlagos kibocsátás t CO <sub>2</sub> /t nyersacél	Jellemzés
BOF a legjobb elérhető technikával	1,9	Ismert, meglévő eljárások (20% csökkenés)
BOF biológiai úton készült redukálószerrel	1,1	Ezekkel az anyagokkal helyettesítik a kokszot
BOF + a CO <sub>2</sub> leválasztása és tárolása	0,9	A nagyolvasztóból származó CO <sub>2</sub> leválasztása
Elektroacélgyártás	0,4	Acélhulladék, vagy direkt redukált vas használatával

Eszerint a BOF technológia fejlesztése a legjobb elérhető technikák alkalmazásával 20% körüli csökkentést eredményez. A biológiailag előállított redukálóanyagok (biokoks) alkalmazása és a CO<sub>2</sub>-leválasztás és tárolás már eredményesebb. Amennyiben a gyártás során CO<sub>2</sub>-kibocsátás nélkül előállított villamos energiát használnak, a kibocsátás minimálisra csökken.

A felsorolt megoldások gyakorlati bevezetése természetesen jelentős költségekkel jár. Tisztességes verseny az acélpiacon csak akkor lenne lehetséges, ha a klímavédelmi fejlesztésekre költött ráfordítások hasonlóak lennének a globális acélpiacon szereplőknek; ezt beavatkozás nélkül gyakorlatilag kizártnak tarthatjuk. Ilyen körülmények között a kormányzatoknak és az illetékes nemzetközi szervezeteknek kell intézkedéseket hozni ennek a problémának a kiküszöbölésére.

Egy ilyen lehetséges eszköz az EU által már korábban bevezetett kiegyenlítő vám (border adjustment): a kis klímaráfordításokat alkalmazó országokból származó acéltermékek importjára vámot vetnek ki. A vámnak olyan mértékűnek kell lennie, hogy ösztönözze az acélpári vállalatokat a fejlesztésekre.

A klímavédelmi fejlesztések állami vagy nemzetközi szervezetek általi pénzügyi támogatása a fejlesztések költségeit csökkentheti a vállalatoknál; ezt az eszközt is érdemes kihasználni. A témával kapcsolatos K+F munkát szintén támogatni kell.

A kibocsátási kvóták csökkentése és a villamos energia klímavédelemmel kapcsolatos árnövekedésének kompenzálása az érintett vállalatoknál ugyancsak lehetséges eszköz.

Az EU kvótakereskedelmi rendszerének célirányos kialakítása is ösztönözheti a vállalatokat a fejlesztésekre.

Innovatív acélpári vállalatok a jövőre való felkészülés jegyében már a jelenlegi körülmények között is jelentős összegeket fordítanak új, csökkentett kibocsátást eredményező technológiák fejlesztésére. Néhány példa az alábbiakban látható.

- *Aco Verde do Brasil*: 100% faszén használata;
- *Arcelor Mittal Belgium*: a keletkező gázok felhasználása etanolgyártásra;
- *Emirates Steel*: CO<sub>2</sub> tárolása a kimerült olajkutakban;
- *EVRAZ Colorado*: napenergiával termelt villamos energia alkalmazása;

- *HBIS* (a világ egyik legnagyobb acélipari társasága, Kína): 2 Mt kapacitású, hidrogénre alapozott DRI demonstrációs üzemét épít;
- *Nucor (USA)*: szélerőműben előállított villamos energia használata;
- *Tata Steel*: új olvadékredukciós technológia fejlesztése;
- *ThyssenKrupp* és *Nippon Steel*: kísérletek a H alkalmazására a nagyolvasztóban.

## **Összefoglalás**

Az acélipar működési feltételeit számos, részben külső, részben belső tényező befolyásolja. Ezek változása az acélipar számára újabb és újabb kihívást jelent, amihez alkalmazkodnia kell.

A dolgozatban 1950-ig visszatekintve elemezzük a kihívásokat és az acélipar válaszait a kihívásokra. Legfontosabb megállapításaink a következők:

1. 1950 és az 1970-es évek közepe között a globális acéligény és ennek megfelelően a nyersacéltermelés is dinamikusan nőtt. Ezt az acélipar a korábbiaknál nagyobb termelékenységgel integrált acélgyártás bevezetésével tudta elérni.
2. Ezt követően, az ezredfordulóig jelentősen lassult a növekedés üteme, ami a rugalmasabb elektroacélgyártás felfutásának kedvezett. Ennek eredményeként egy idő után szűkös lett az acélhulladék elérhetősége.
3. Az ezredfordulón jelentős trendváltás következett be: a termelés növekedése felgyorsult, alapvetően a kínai acélipar látványos fejlődése következtében. Ez ismét az integrált acélgyártás növekedésének kedvezett.
4. Már az ezredforduló előtt megjelentek, majd egyre erősödtek az új elvárások, amelyek közül a fenntartható fejlődés, elsősorban a klímavédelem előtérbe kerülése jelentett új kihívást. Meghatározó feladat lett az acélgyártás CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentése.

5. A klímavédelem a nemzetközi politika középpontjába került; ezzel az acéliparra, mint nagy kibocsátóra nagy felelősség és súlyos feladatok hárultak. Az acélipar CO<sub>2</sub>-kibocsátását 2050-ig 50-55%-kal kellene csökkenteni.
6. Ehhez új technológiákat kell kidolgozni és bevezetni, ami jelentős költségekkel jár. A kormányzatok és a nemzetközi szervezetek célirányos szabályozók alkalmazásával és pénzügyi eszközökkel támogatják a vállalatok ezirányú fejlesztéseit.
7. A dolgozat rövid áttekintést ad a lehetséges megoldásokról, és összefoglalja a ma ismert megoldások lényegét.

## **Felhasznált források**

- [1] *Tardy, P. – Károly, Gy.*: BHM Berg- und Hüttenmanische Monatshefte 148 (2003) No. 7. pp. 261–268
  - [2] *Tardy, P.*: stahl u. eisen 133 (2013) No. 3. pp 49–57. Az acélipar termelésére, a technológiák arányára, energia- és nyersanyagfelhasználására vonatkozó adatok a World Steel Association (WSA) statisztikai kiadványai-ból (Steel Statistical Yearbooks) származnak.
- A klímaváltozással kapcsolatos adatok, információk, programok legfontosabb forrásai a nagy nemzetközi szervezetek tematikus kiadványai, honlapjai:
- World Steel Association  
International Energy Agency: Iron and Steel Technology Roadmap  
World Economic Forum  
EUROFER Low Carbon Roadmap: Pathways to a CO<sub>2</sub>-neutral European steel industry  
OECD Steel Committee  
Joint Research Center (EU)
- Internetes portálok:  
Material Economics  
European University Association (EUA)  
EIONET Climate Change Mitigation and Energy (ETC/CME)

SZÉLL ATTILA – FAZEKAS PÉTER

# **Melegalakító szerszámacélon kialakított duplex bevonat tribológiai vizsgálata**

*Előzetesen 50 HRC keménységűre hőkezelt melegalakító szerszámacélt (1.2344 ESR/ESU) sófürdős karbonitridálással kezeltünk különböző kezelési paraméterekkel, majd ezt követően nedves kémiai és mechanikai előkészítést végeztünk a próbatesteken a vegyületi réteg eltávolítása céljából. A próbatestekre ezután CrAIN alapú PVD-bevonatot vittünk fel plazmával segített magnetronos porlasztással (PEMS). Az így létrehozott duplex bevonatos, valamint a csak karbonitridált, illetve csak edzett próbatestek tribológiai tulajdonságait vizsgáltuk. Gömbsüvegkoptató (Calotest) berendezéssel és ball-on-disc vizsgálatához alkalmas moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezéssel hajtottuk végre a tesztek. A karbonitridált réteg és a CrAIN réteg kopásállóságát vizsgáltuk. Arra kerestük a választ, hogy a különböző vastagságú karbonitridált rétegekre felvitt PVD-réteg kopással szembeni ellenállása hogyan függ a rétegvastagságtól és a réteg felépítésétől. A vizsgálatok során kopási jellemzőket, kopási térfogatot, kopási tényezőt és súrlódási együtthatót határoztunk meg a különböző bevonattípussal ellátott próbatesteken.*

## Bevezetés

Egy tárgy felülete nemcsak geometriai határt jelöl ki a térben, hanem mindenekelőtt egy dinamikus és reaktív zóna, amely a mikroszkopikus és a szubmikroszkopikus skálán számos jelenség (fizikai, kémiai), valamint behatás (mechanikus, termikus) ostromának van kitéve.

Ez a külső határfelületi réteg a tárgy első védelmi vonala, képletesen a páncélja. Katonai szóhasználattal élve ez a frontvonal, ami a csata kimenetelét nagyban eldöntheti. Egy tárgy életében sok ilyen harci helyzet kialakulhat, elég csak a súrlódásra, korrózióra, hőterhelésre gondolnunk, sőt ezek kombinációja már a modern kori (szárazföldi, vízi, légi) hadviselést juttatja eszünkbe.

Napjaink egyik legfiatalabb tudományága a felülettudomány, eredeti angol elnevezéssel surface engineering, a felületi vagy felület közeli rétegek vizsgálatával foglalkozik.

Számos iparág részére nyújt tudományos háttértámogatást, és kínál kézzelfogható, ipari méretekben is jól alkalmazható megoldásokat. Ezek a megoldások a legtöbb esetben felületkezelések formájában jelennek meg a készterméken, de sokszor a késztermék előállításánál, a gyártáshoz használt szerszámokat, készülékeket vetik alá valamilyen felületkezelő eljárásnak az élettartam növelése céljából.

A felülettechnológiai eljárások két csoportra oszthatók. Az egyik csoportba azok a technológiák tartoznak, ahol az alapanyag felületi rétegét módosítjuk, ez lehet kémiai összetétel változtatása nélküli és kémiai összetétel változással járó folyamat. A másik csoportba azok az eljárások tartoznak, amelyek során az alapanyag felületére attól eltérő anyagi minőségű, eltérő kémiai összetételű réteget, vagyis bevonatot viszünk fel. Az előbbiekből látható, hogy a felülettudomány kutatási területe a hőkezelés és a felülettechnológiák által fedésbe került tudományterület.

A duplex eljárásoknál két vagy több különböző eljárás tulajdonságait ötvözve, összetett tulajdonságú kompozit-réteget igyekszünk létrehozni. A képződött réteg kombinálja az öt felépítő rétegek tulajdonságait.

Alumínium-, magnézium- és rézötvözetből készülő alkatrészek egyik legtermelékenyebb és legköltséghatékonyabb gyártási módja a nyomásos öntés. A nyomásos öntés során alkalmazott szerszámok melegalakító szerszámacélból készülnek, és tönkremenetelük legtöbbször hőkifáradásból eredő repedések, felületi kimosódások, feltapadások és korróziós jelenségek formájában mutatkozik meg. A termelékenység növelése érdekében a nyomásos öntés során a gyártók igyekeznek a ciklusidőket csökkenteni, ez a lépés a szerszámok hősokk jellegű terhelésének intenzitását nagyban növeli [1, 2]. Az alkalmazott alapanyagok, főként a Si ötvözésű alumíniumok erősen abrazívak, a bennük található szilíciumszemcsék erősen

koptató hatásúak, a nagy sebességű ömledék koptató hatása még erőteljesebb. Az ilyen szerszámokon az élettartam növelése céljából felületkezeléseket alkalmaznak. A legelterjedtebb eljárás a nitridálás, illetve karbonitridálás [3]. Az utóbbi évtizedben a nitridálást PVD-bevonatokkal (Physical Vapour Deposition, fizikai gőzfázisú leválasztás) kombinálva, duplex felületkezelést alkalmaznak a megfelelő élettartam biztosítására [4, 5, 6].

Munkánk során egy ilyen duplex bevonat vizsgálatát végeztük el, a bevonatok alapját a CLIN-eljárás (Controlled Liquid Ionic Nitrocarburizing, ellenőrzött folyékony ionos karbonitridálás) képezi, az alkalmazott sófürdő hőmérséklete 580 °C volt, az alkalmazott bemelegítési idő 60, 120 és 480 perc volt. A felső PVD-réteg CrAIN összetételű nagy keménységű, hőálló bevonat. A vizsgálatokhoz használt próbatetek bevonatfelépítését az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A vizsgálathoz használt próbatetek bevonat mátrixa

Próbatetest jele	Bevonat típusa			
	CLIN 580/60 diffúziós zóna	CLIN 580/120 diffúziós zóna	CLIN 580/480 diffúziós zóna	PVD CrAIN rétegvastagság,
	µm			
DUP1	43			4
CLIN1	43			
DUP2		75		4
CLIN2		75		
DUP3			140	4
CLIN3			140	
PVD1				4
REF1				

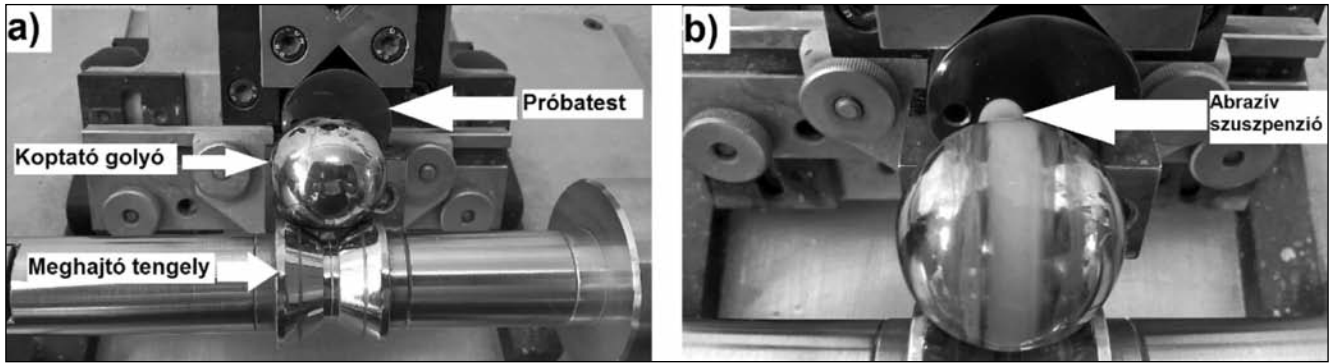
## 1. Gömbsüvegkoptatás (Calotest gömbsüvegkoptató vizsgálat)

A vizsgálat során egy forgó golyó a vizsgált alkatrész felületére gömbsüveg alakú nyomot koptat. A vizsgálatot a DIN EN 1071-2 Advanced technical ceramics – Methods of test for ceramic coatings – Part 2: Determination of coating thickness by the crater grinding szabvány alapján végzik el. A koptatáshoz használt golyót a forgótengely hajtja meg, a vizsgálat során a vizsgált alkatrészeire ható normál irányú erő a golyó tömegéből adódik. Ez az erő változtatható az alátámasztás vízszintessel bezárt szögének és a golyó átmérőjének változtatásával. A koptatáshoz edzett csapágygolyót használnak, minél nagyobb a golyó átmérője, annál pontosabban lehet a rétegvastagságot meghatározni. A koptatás elvégezhető szárazon is, de így nagyon hosszú a kopási kráter kialakulásához szükséges idő. A folyamat felgyorsításához abrazív (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, polikristályos gyémánt) szemcséket tartalmazó szuszpenziókat alkalmaznak. A gömbsüvegkoptató berendezésekkel nemcsak síkfelületű minták, hanem a mintabefogó kialakításától függően hengerpalást, vagy akár gömbfelületek is vizsgálhatóak (1, 2. ábra).

**Széll Attila** 2021-ben szerzett anyagmérnöki BSc-oklevelet járműipari anyagtechnológiák szakirányon. 2009-től a TS Magyarország Kft. PVD-szegmensének irányítója, jelenleg a vállalat termelési vezetője.

**Fazekas Péter** 1999-ben szerzett vegyészmérnöki MSc-diplomát a BME-n. 2007-től a TS Magyarország Kft. minőségügyi vezetője, jelenleg a vállalat ügyvezető igazgatója.





■ 5. ábra. Az SP83 gömbcsüvegkoptató berendezés: a) koptatási elrendezés, b) pillanatfelvétel koptatás közben

2. A kapott képen a keménységmérő kalibrált mérőszoftverével megmértük a koncentrikus körök átmérőit.

Minden próbatesten három koptatást végeztünk, a három eredményt átlagolva végeztük el a rétegvastagság számítását.

A PVD-bevonatos próbatestek koptatási képein (6. ábra) két felületi réteg is látható, a CrAIN réteg alsó, ún. ragasztó/adhéziós rétege, ami jelen esetben egy Cr-Al összetételű színfém réteg, a másik a CrAIN fedőréteg.

A rétegvastagság számításához az (1.2) összefüggést használtuk, ahol:

- $s$  – a bevonat vastagsága;
- $D$  – a gömbcsüveg külső átmérője;
- $d$  – a gömbcsüveg belső átmérője;
- $R$  – a gömbcsüvegkoptató golyó sugara (15 mm).

A duplex bevonatos próbatestek rétegvastagság-mérési eredményeit a 2. táblázat tartalmazza.

A csak karbonitridált próbatestek kopási nyomait vizsgálva külön értékelhető bevonat nem volt látható. Mivel a koptatás körülményei minden próbatestnél azonosak vol-

tak, ezért a kopási nyomok összehasonlíthatóak egymással, a kopási térfogat alapján az egyes próbatestek abraszív koptató hatással szembeni ellenálló képességére tudunk következtetni [3]. A keletkezett gömbcsüveg térfogatának kiszámolásához először a gömbcsüveg magasságát, avagy a koptatási nyom legmélyebb pontjának a felülettől mért távolságát kell kiszámolni az (1.4) képlettel:

$$T = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} \quad (1.4)$$

A gömbcsüveg térfogatát az alábbi képlet alapján határoztuk meg:

$$V_w = \frac{\pi \cdot T}{6} \left( \frac{3}{4} D^2 + T^2 \right) \quad (1.5)$$

ahol:

- $D$  – a kopás során keletkezett gömbcsüveg átmérője;
- $R$  – a koptató golyó sugara;
- $T$  – a gömbcsüveg mélysége;
- $V_w$  – a kopási térfogat [8].

A kopási tényező meghatározható a következő összefüggéssel:

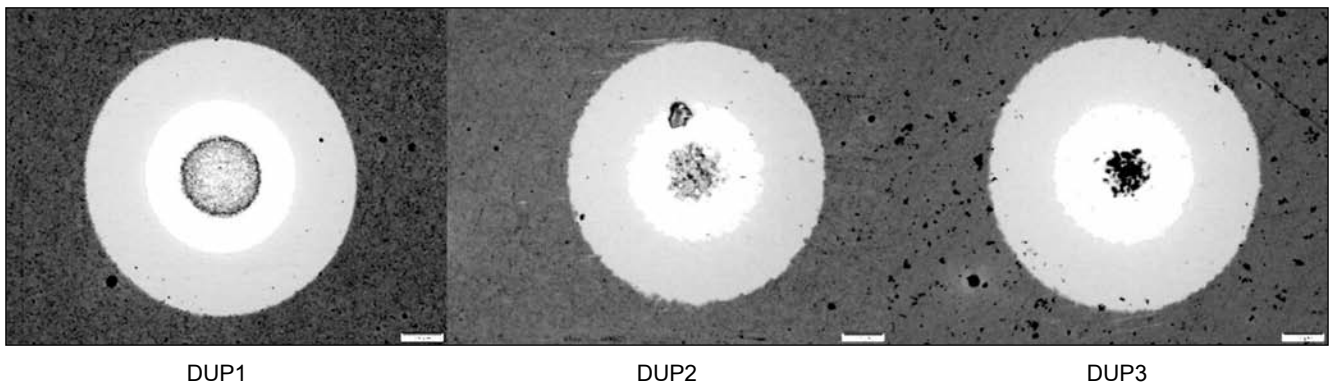
$$K = \frac{V_w}{S \cdot F_N} \quad (1.6)$$

Ahol  $S$  az (1.7) összefüggéssel értelmezett teljes kopási úthossz:

$$S = n \cdot 2R \cdot \pi \cdot t \quad (1.7)$$

2. táblázat. Duplex kezelésű próbatestek bevonatának vastagsága

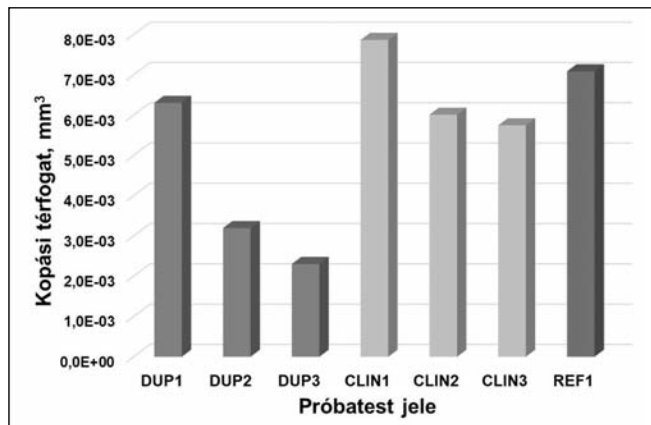
Gömbcsüvegvizsgálat (Calotest) eredményei, $\mu\text{m}$						
Próbatest jele	D	$d_1$	$d_2$	Rétegvastagság, teljes	Rétegvastagság, felső réteg	Rétegvastagság, alsó réteg
DUP1	1178	1016	956	3,95	2,96	0,99
DUP2	994	788	698	4,18	3,06	1,11
DUP3	916	676	572	4,27	3,18	1,08



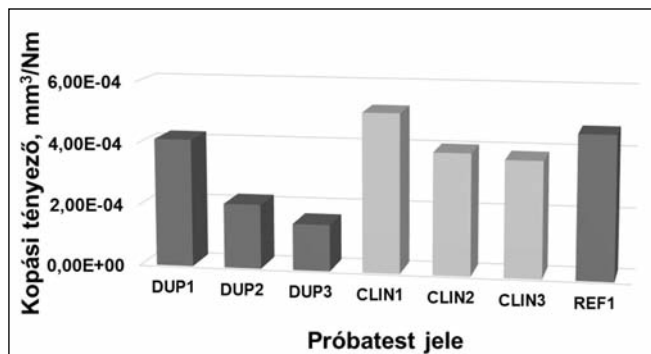
■ 6. ábra. A PVD-bevonatos próbatestek mikroszkópi felvételei ( $N=100\times$ )

3. táblázat. A kopási térfogatok összehasonlító táblázata

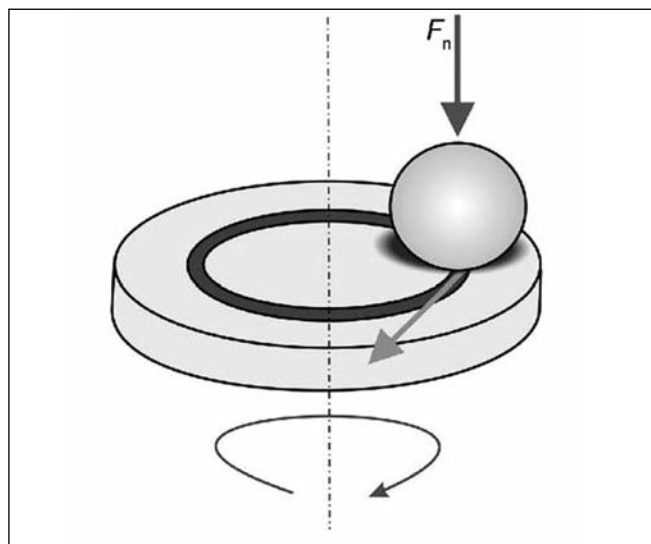
Próbatest sorszáma	d [mm]	R [mm]	h [mm]	V <sub>w</sub> [mm <sup>3</sup> ]	K [mm <sup>3</sup> /Nm]
02	1,178	15	0,011568494	6,305E-03	4,133E-04
06	0,994	15	0,008235894	3,196E-03	2,095E-04
10	0,916	15	0,006993764	2,305E-03	1,511E-04
04	1,245	15	0,012922441	7,867E-03	5,157E-04
08	1,164	15	0,011295053	6,010E-03	3,940E-04
12	1,151	15	0,011044074	5,746E-03	3,767E-04
14	1,213	15	0,012266424	7,089E-03	4,647E-04



7. ábra. A kopási térfogatok összehasonlító diagramja



8. ábra. A kopási tényezők összehasonlító diagramja



9. ábra. A ball-on-disc vizsgálat elvi elrendezése



10. ábra. CETR UNMT-1 moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezés

A kapott eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

A kopási tényező értékeit diagramban ábrázolva (7., 8. ábra) szembe-tűnő a kopási ellenállás változása a bevonatok típusának változtatásával. A REF1 edzett próbatest eredményét referenciának véve látható, hogy az 580/60 kezelési paraméterű CLIN1 próbatest jobban kopott, mint a csak edzést kapott próbatest. A többi karbonitridált, de leginkább a duplex bevonattal ellátott minták a kopással

szemben jobb ellenállást képviselnek, mint a referencia minta. Az is jól látszik, hogy csak a 60 percnél hosszabb karbonitridálási idővel előkezelt duplex bevonatos próbatestek kopási ellenállása haladja meg a bevonat nélküli, karbonitridált mintákon mért értékeket.

Referenciaként a REF1 jelű próbatestet, azaz a csak edzett állapotú mintát választva összehasonlíthatóvá válnak a kopási tényező értékek. Ennek során, a csak edzett, bevonat nélküli referencia minta kopási tényezőjét 100%-nak véve a vizsgált minták relatív kopási tényezői nagyság szerint növekvő sorrendben a következők:

DUP3 minta (CLIN 580/480 + CrAIN bevonat): 32,5%

DUP2 minta (CLIN 580/120 + CrAIN bevonat): 45%

CLIN3 minta (CLIN 580/480): 81%

CLIN2 minta (CLIN 580/120): 85%

DUP1 minta (CLIN 580/60 + CrAIN bevonat): 89%

REF1 minta (csak edzett, bevonat nélküli): 100% referencia

CLIN1 minta (CLIN 580/60): 111%

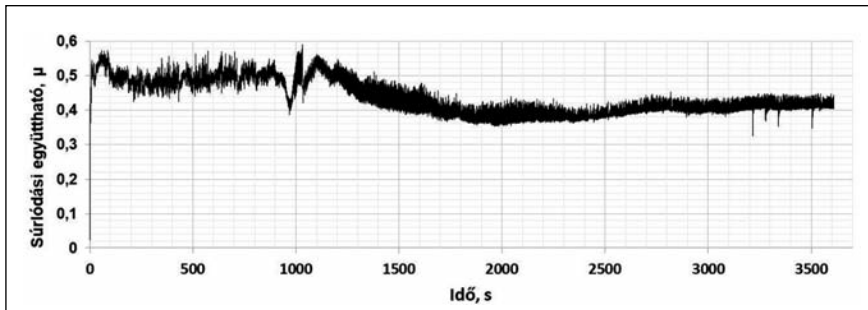
## 2. Ball-on-disc kopásvizsgálat

A ball-on-disc [10, 11] kopásvizsgálatokat a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében található CETR UNMT-1 moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezéssel (9., 10. ábra) végeztük el. A vizsgálat során egy golyót az előre meghatározott nyomóerővel szorítunk a tárcsa (korong) alakú próbatesthez olyan módon, hogy a felületek között pontszerű érintkezés jöjjön létre, ami a kopás során egyre növekvő felületté alakul. Az álló helyzetű szerszám (golyó) tengelye merőleges a vizsgálat során forgómozgást végző tárcsára, a csúszási sebességet a tárcsa fordulat-

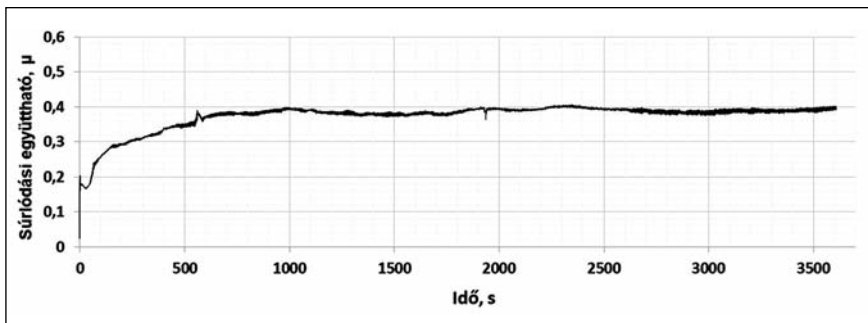
gátat során egy golyót az előre meghatározott nyomóerővel szorítunk a tárcsa (korong) alakú próbatesthez olyan módon, hogy a felületek között pontszerű érintkezés jöjjön létre, ami a kopás során egyre növekvő felületté alakul. Az álló helyzetű szerszám (golyó) tengelye merőleges a vizsgálat során forgómozgást végző tárcsára, a csúszási sebességet a tárcsa fordulat-

**4. táblázat.** A ball-on-disc kopásvizsgálat összefoglaló táblázata

Próbatest jele	Súrlódási együttható, teljes	Súrlódási együttható, utolsó 20%	Kopásnyom átlagos szélessége, $\mu\text{m}$
DUP1	0,224	0,422	1046
DUP2	0,230	0,425	1049
DUP3	0,218	0,412	907
PVD1	0,235	0,436	1118



**11. ábra.** A PVD bevonatolt PVD1 próbatest ball-on-disc kopásvizsgálat során felvett súrlódási együttható–idő diagramja



**12. ábra.** A duplex bevonatos DUP3 próbatest ball-on-disc kopásvizsgálat során felvett súrlódási együttható–idő diagramja

számával, a csúszási úthosszt a csúszási sugár megválasztásával állítjuk be.

A ball-on disc vizsgálatoknál használt paraméterek:

koptatási idő:  $t = 60 \text{ min}$

koptatási úthossz:  $L = 180 \text{ m}$

csúszási sebesség:  $v = 50 \text{ mm/s}$

tárcsa fordulatszáma:  $n = 159 \text{ 1/min}$

normálirányú terhelő erő:  $F = 90 \text{ N}$

súrlódópár:  $\varnothing 3 \text{ mm}$ , SiC golyó

A rögzített adatokból a teljes vizsgálat során mérhető súrlódási együtthatóból átlagot számoltunk, a vizsgálat

ványos elszíneződés, azaz az oxidáció hatása is észlelhető.

– A DUP1; DUP2; PVD1 mintán láthatóak a levált bevonatszempcsék, a vörös elszíneződést a súrlódás során keletkező  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  típusú vasoxid okozza.

– A DUP1, DUP2 és PVD1 súrlódási együttható diagramokon látható sűrű, fésűszerű jelingadozások a törmelékek, leváló bevonat vagy alapanyag szemcsék jelenlétét jelzik. Ebből a szempontból a DUP3 minta viselkedése eltérő, ahol alig látható ilyen jelingadozás, és a kopásnyom optikai mikroszkópos vizsgálata is megerősítette a

utolsó 20%-ából is átlagot számítottunk, ez utóbbiból a tribológiai rendszerünk végső, állandósult állapotára tudunk következtetni (4. táblázat).

A vizsgálat során felvett súrlódási együttható–idő diagramok a 11. és 12. ábrán láthatóak.

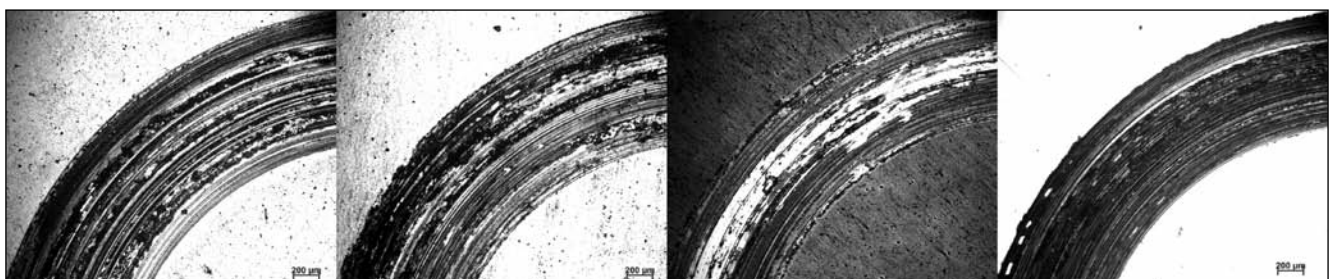
A kopásnyomok átlagos szélességét mikroszkópi felvételeken történt távolságméréssel határoztuk meg (13., 14. ábra).

**A kopásvizsgálat során megfigyelt sajátosságok:**

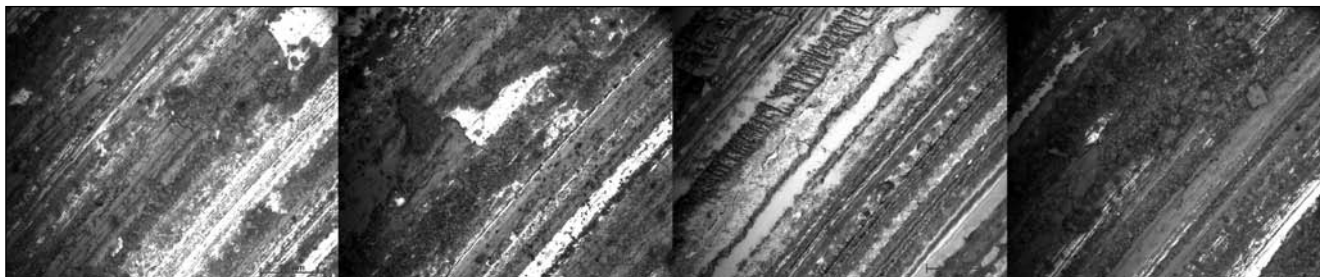
– A súrlódási együttható nagysága a duplex bevonatos mintáknál a legkisebb, a DUP3 minta súrlódási együtthatója a legkisebb az összes vizsgált minta közül.

– A kopásnyom átlagos szélessége szintén a DUP3 mintán a legkisebb, a megfelelő alátámasztást nyújtó diffúziós réteg kedvező hatása miatt a CrAIN bevonat nem vált le. A legnagyobb súrlódási együttható értéket a PVD1 mintán mértük, a nem megfelelő alátámasztás miatt a CrAIN bevonat korán levált, a levált bevonat törmelékének szemcséi háromtest abráziós kopást valósítottak meg. Ez okozta a gyors abrazív jellegű kopást.

– A kopásnyomok optikai mikroszkópi 500x-os nagyítású képein látható, hogy a DUP3 mintán a CrAIN réteg még mindig összefüggő, a bevonat eredeti színe és némi szivár-



**13. ábra.** Kopásnyomok optikai mikroszkópos felvételei,  $N = 50\times$  nagyítás, balról jobbra: DUP1; DUP2; DUP3; PVD1 próbatestek



■ 14. ábra. A kopásnyomok optikai mikroszkópos felvételei, N = 500× nagyítás, balról jobbra: DUP1; DUP2; DUP3; PVD1 próbatestek

réteg leválás elmaradását. A legsűrűbb, legnagyobb amplitúdójú jellegadózás a PVD1 mintán figyelhető meg, ahol a CrAIN rétegből kipergő nagy keménységű szemcsék okozzák a jelenséget.

### Az eredmények értékelése

– A Calotest vizsgálat során,  $Al_2O_3$  abrazív szemcsés koptató adalék jelenlétében az 580 °C-on legalább 120 percig karbonitridálással előkezelt duplex bevonattal ellátott DUP2 minta kopási térfogata és kopási tényezője 55%-os, míg a 480 percig előkezelt DUP3 duplex mintáé 66%-os csökkenést mutat a kezeletlen mintához képest. Ez a kopásállóság nagymértékű javulását mutatja.

– A duplex bevonat abrazív kopással szembeni ellenálló képessége csak a 120 és 480 perces előkezelést kapott DUP2 és DUP3 minták esetén haladta meg az azonos módon előkezelt PVD-réteg nélküli, csak karbonitridált mintáét.

– A 60 perccel előkezelt DUP1 duplex minta kopással szembeni ellenálló-képessége gyengébb volt a szintén 60 perces csak karbonitridált mintáénál, a gömbsüvegkoptatás során a tribológiai rendszerbe kerülő, a bevonatból származó törmelékszempcsék extra koptató hatása miatt.

– A ball-on-disc kopásvizsgálatokból arra következtetünk, hogy a hosszú idejű (480 perc) előkezelést kapott duplex bevonattal ellátott minta kopási ellenállása a vizsgálat során alkalmazott SiC ellentesttel alkotott tribológiai rendszerben, kiemelkedően nagy, amit igazolt, hogy a PVD-bevonat csekély károsodása volt megfigyelhető a mintán.

– Összességében a kopási ellenállással összefüggő mért és számított jellemzők alapján a vizsgált duplex eljárásváltozatok közül a legkedvezőbb az 580 °C / 480 min paraméterekkel végzett sófürdős karbonitridálás és CrAIN bevonat kombinációja.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a TS Magyarország Kft. felületkezelő dolgozóinak a próbatestek előkészítésében nyújtott segítségért. Köszönet illeti dr. Marosné dr. Berkes Máriát és Fülöp Fruzsínát a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet dolgozóit a kopási vizsgálatok során nyújtott szakmai tanácsokért és a vizsgálatok elvégzésében és kiértékelésében nyújtott segítségért.

### Irodalom

- [1] Marek Hawryluk et al.: Influence of the different variants of the surface treatment on the durability of forging dies made of Unimax steel, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2020) 107:4725–4739 p.
- [2] A. J. Norwood et al.: Surface temperature of tools during the high-pressure die casting of aluminium, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture vol. 221 (2007) 1659–1664. p.
- [3] Shu-Hung Yeh: Thermal Fatigue Behavior of Nitrocarburized and Low Pressure Nitrided Modified JIS SKD61 Hot Work Mold Steel. Materials Transactions, Vol. 54, No. 7 (2013), 1184–1190. p
- [4] Jihua Penga, Zhenzhong Zhua, Dongyi Sua: Sliding wear of nitrided and duplex coated H13 steel against aluminium alloy. Tribology International 129 (2019), 232–238. p.
- [5] Fábio Faria Condea, Julian Arnaldo Ávila Diazb, Guilherme Faria da Silvaca, André Paulo Tschiptschin: Dependence of Wear and Mechanical Behavior of Nitrocarburized/CrN/DLC Layer on Film Thickness. Materials Research. 2019; 22(2): e20180499 .
- [6] Delorme H.: Definition and development of an innovative coating for optimised tooling, used in aluminium die casting. World Foundry Congress, (2006), 1–9. p.
- [7] Anton Paar, CSM Instruments, CAT Calotest Technical Features 2011, 2011.
- [8] Kovács Tünde: Kopásvizsgálati eljárás fejlesztése, Budapesti Műszaki Főiskola, Anyag- és Alakítástechnológiai Tanszék (2004)
- [9] Kuzsella László, Kovács Tünde: Két különböző módszerrel meghatározott kopási együttható összehasonlítása, X. Fiala műszaki tudományos ülés-szaka, 2005. március. 18–19, Kolozsvár [https://eda.eme.ro/bitstream/handle/10598/14925/10\\_FMTU2005%20\\_%20Kuzsella%20Laszlo%20-%20Kovacs%20Tunde%20\\_%20343348%20old.pdf?sequence=1](https://eda.eme.ro/bitstream/handle/10598/14925/10_FMTU2005%20_%20Kuzsella%20Laszlo%20-%20Kovacs%20Tunde%20_%20343348%20old.pdf?sequence=1) >
- [10] DIN 50324:1992-07 Tribologie; Prüfung von Reibung und Verschleiß; Modellversuche bei Festkörpergleitreibung (Kugel-Scheibe-Prüfsystem)
- [11] ASTM G99 – 17 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus

MOLNÁR DÁNIEL – GYARMATI GÁBOR – BARKÓCZY PÉTER – MARÓTI BOGLÁRKA – KIS ZOLTÁN – BÍRÓ CSABA – TARBAY JÁNOS GÁBOR

## Késő bronzkori tokosbalta komplex öntéstechnikai vizsgálata

*A bemutatott munka egy olyan kutatási program esettanulmánya, mely a kísérleti rekonstrukciós jellegű öntést és a használati nyom elemzését kombinálja anyagvizsgálati módszerekkel és szimulációs eszközökkel. Munkánk során szimulációs eszközökkel vizsgáljuk egy késő bronzkori tokosbalta gyártási körülményeit. A szimuláció kiindulási és peremfeltételeit, valamint az eredmények validálását a prompt-gamma aktivációs analízis, a neutrontomográfia és a metallográfia eredményei szolgáltatják.*

### 1. Bevezetés

A bronzbalták legnagyobb számban és változatosságban a késő bronzkor (Kr. e. 1500–900) időszakában figyelhetők meg a Kárpát-medencei leletanyagban. Legnagyobb mennyiségben az ún. tokosbaltákkal találkozhatunk, melyek elsősorban korabeli rituális bronzkincsekből, szórványleletként, ritka esetben sírok mellékleteiként kerültek elő [1, 2]. A tokosbalta, mint baltatípus, fontos technológiai innovációnak számított ebben az időszakban.

A tokosbalták minden esetben üreges öntvények. A vizsgált változataikra jellemző egy megvastagodó, a köpűt körülölelő perem, továbbá egyes típusoknál a nyelezést segítő öntött fül az egyik keskeny oldalon, és/vagy szegecslyukak mindkét keskeny oldal mentén. A fém baltafejet L alakú fába nyelezték be ragasztóanyagok, kötözés, vagy szegecselés segítségével. A tokosbaltákat fegyverként, famegmunkáló és favágó eszközként, daraboló eszközként és fémműves eszközként is használták [3].

A tokosbalták öntése többféle módon történhet, a Kárpát-medencében túlnyomóan a kétrészes, zárt formába, mag alkalmazásával történő öntésre vannak régészeti bizonyítékok [4]. Ezt a gyártási módszert támasztják alá a feltárt öntőforma- és öntőmagleletek, az öntőformaleletek beömlőjével egyező rávágás típusnyomok, az öntvényeken nagyszámban megjelenő formafél-elmozdulások, a



1. ábra. Az isaszegi tokosbalta [5], ltsz. 1903.58.2

balták bordás díszítései és a mag elmozdulásához köthető hibák.

Különösen a késő bronzkor derekától jellemző, hogy a tokosbalta-leletek jelentős része nem tekinthető hibátlan öntvénynek, számos olyan karakteres hibát figyelhetünk meg, melyek a modern öntészetben is hibának számítanak: pórusképződés, zsugorodási hibák, formafél-elmozdulás, hidegfolyás, hiányos öntvény. A hibák többsége olyan általánosan előforduló öntészeti jelenség, mely kiküszöbölhető lett volna. Mivel ezek a tárgyak azonban jel-

**Molnár Dániel** 2002-ben a Miskolci Egyetemen kohómérnök diplomát, 2010-ben ugyanott PhD-címet szerzett. Jelenleg az ME Öntészeti Intézetében tanszékvezető egyetemi docens. Kutatási területe az öntészeti folyamatok számítógépes szimulációja.

**Gyarmati Gábor** szakmai életrajzát 2020/4. számunkban közöltük.

**Barkóczy Péter** szakmai életrajzát 2020/5-6. számunkban közöltük.

**Maróti Boglárka** az Energiatudományi Kutatóközpont tudományos munkatársa, PhD-fokozatát 2019-ben szerezte a Hevesy György Kémiai Doktori Iskolában. Kutatási területe különféle régészeti korú fémtövezek roncsolásmentes jellemzése képalkotó módszerekkel, valamint felületi és térfogati analitikai technikák segítségével.

**Kis Zoltán** az Energiatudományi Kutatóközpont tudományos főmunkatársa, PhD-fokozatát 1999-ben szerezte a Veszprémi Egyetemen. Kutatási területe a roncsolásmentes anyagvizsgálatok során alkalmazható digitális képalkotás, pozícióérzékes prompt-gamma aktivációs analízis és Monte Carlo szimulációk.

**Bíró Csaba** a Tűzvarázs Művészeti Műhely alapítója. A Műhelyben bronzműves tevékenységgel foglalkoznak, kísérleti régészeti módszerekkel rekonstruálják a korabeli technológiákat.

**Tarbay János Gábor** régész, főmuzeológus. PhD-fokozatát 2019-ben szerezte az Eötvös Loránd Tudományegyetem Történelemtudományi Doktori Iskola Régészeti Doktori Programján. 2014-től a Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Tárának munkatársa. Alapvető kutatási területe a Kárpát-medence késő bronzkorának fémművessége, kincsleletei és hadtörténete.

lemzően mindennapi eszközök lehetnek, esztétikai hibáikkal nem foglalkoztak, javításnyomok általában csak azok funkcionális részein figyelhetők meg [5].

A vizsgált tokosbalta a Magyar Nemzeti Múzeum (MNM), Régészeti Tárának Őskori Gyűjteményében található, és a Pest megyei Isaszegről származik a késői bronzkorból (1. ábra) [5–6]. Technológiai nyomai alapján megmunkált késztermék lehetett, öntési hibái az esztétikai hibakategóriába sorolhatóak.

## 2. Alkalmazott vizsgálati módszerek

A tokosbalták gravitációs öntéssel előállított öntvények, vizsgálatukra számítógépes szimulációt alkalmaztunk. A szimuláció első lépése a technológiai probléma mögött álló fizikai jelenségek azonosítása és az ezeket leíró matematikai egyenletek felírása volt. Az egyenletrendszerek analitikusan vagy numerikusan kerültek megoldásra, majd a matematikai eredményeket fordítottuk le a technológiai megoldás nyelvére. Kísérleteink során a NovaFlow&Solid szimulációs szoftver segítségével elemeztük a formatelési és dermedési viszonyokat, vizsgálva a beömlőrendszer kialakítását, a formázóanyagok és az eltérő öntési hőmérsékletek hatását [7].

Prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) módszerrel határoztuk meg a tokosbalta-lelet és a replikaöntvény ötvözetét, mely a számítógépes szimulációk során bemenő paraméterként szolgált. A PGAA módszer alkalmas nagyméretű minták kémiai összetételének roncsolásmentes meghatározására. A módszer a vizsgált tárgy neutronnyalábnal történő besugárzásán, valamint a neutronbefogást követően kibocsátott gamma-fotonok detektálásán alapszik. A neutronok és gamma-fotonok nagy áthatóképessége miatt a mérés során a besugárzott térfogat átlagos összetételéről szerezhető információ. A neutronbesugárzás és a mérés egyidejűleg zajlik, melyhez jó energiafelbontása miatt nagy tisztaságú germánium detektort használunk. A gamma-csúcsok energiája a mintát alkotó elemekre jellemző, míg az intenzitásuk a mennyiségükkel arányos.

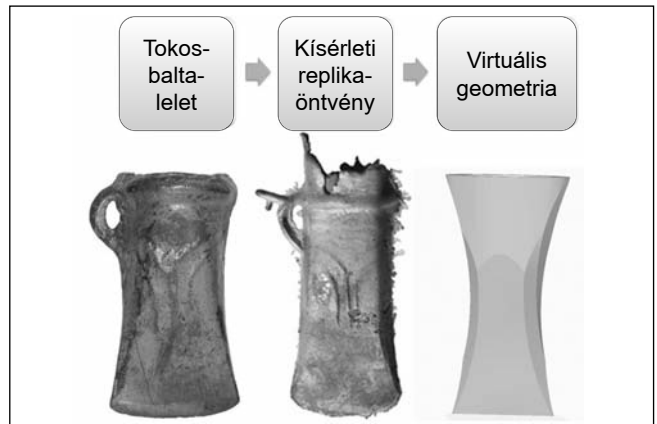
A spektrumkiértékelés HYPERMET-PC szoftverrel történt, az elemazonosítást és a koncentrációsámítást a spektroszkópiai adatkönyvtár segítségével, a ProSpeRo programmal végeztük [8–9]. A PGAA módszert korábban sikeresen alkalmazták késő bronzkori tárgyak roncsolásmentes ötvözetét meghatározására [10].

Neutronos képalkotással vizsgáltuk a tokosbalta-lelet és a replikaöntvény belső szerkezetét és alkottuk meg a vizsgált geometria számítógépes modelljét. A transzmissziós képek alapján a 2D-s neutronradiográfia és a 3D-s neutrontomográfia, az anyagon áthaladó sugárnyaláb gyengülését mérve, információt nyújt a minta belső szerkezetéről. A tomográfia ily módon valójában a radiográfia kiterjesztése. A kis szögekben elforgatott tárgyról készült projekciósorozatból az objektumra jellemző fizikai mennyiség térbeli eloszlása matematikai rekonstrukciós algoritmussal számítható ki. A 3D adathalmaz megjelenítésével, valójában digitális képfeldolgozással, ún. virtuálisvalóság-ábrázolás hozható létre, mely pontról pontra mutatja az anyag neutrongyengítési együtthatóját a behatolás mélységétől füg-

getlenül. A PGAA és a tomográfiai mérések helyszínül a Budapesti Neutron Centrum szolgált [11].

## 3. Elvégzett kísérletek

A vizsgált virtuális geometria reprezentálja a tokosbalta-lelet attribútumait, és segítségével vizsgálhatók a formatelési és dermedési viszonyok. A virtuális geometria a tokosbalta-lelet és a kísérleti replikaöntvény alapján került kialakításra (2. ábra).



■ 2. ábra. Vizsgált geometriák

A virtuális geometria kialakítását indokolta a tokosbalta-lelet korlátozott vizsgálhatósága, valamint, hogy a kísérleti replikaöntvény hordozza azokat az öntési hibákat, amik miatt az azon végzett vizsgálatok eredményei kevésbé tekinthetők reprezentatívnak. A virtuális geometria anyagminőségét a kísérleti replikaöntvény alapján definiáltuk, mely PGAA módszerrel került meghatározásra: 83 m/m% réz (Cu), 11 m/m% ón (Sn) és 6 m/m% antimon (Sb).

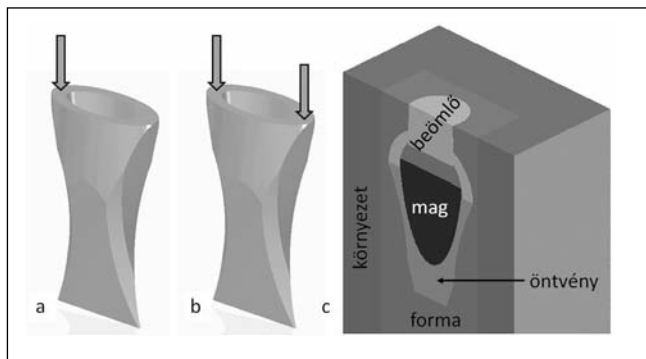
### 3.1. A beömlőrendszer

A virtuális geometria egy kisméretű, ovális keresztmetszetű test, melynek térfogata 43 cm<sup>3</sup>, falvastagsága 4,6-6,2 mm között változik. A szimulációs modell tartalmazza az öntvényt, az annak belső üregeit kiképző magot, a külső felületét kiképző formát és a formát körbevevő környezetet. A vizsgált öntvény gyártásával kapcsolatosan a beömlőrendszer kialakítása volt kérdéses.

A vizsgált tokosbalta- és öntőforma-leletek alapján [4–5] megállapítható, hogy a baltákat jellemzően a perem irányából öntötték, több jellemző beömlőrendszer-típus alkalmazásával. A beömlőrendszer kialakításánál két esetet vizsgáltunk (3. ábra): a) aszimmetrikus és b) szimmetrikus beömlőrendszer-elrendezés. A c) ábrarészen a vizsgált modell középvonalbeli metszete látható.

### 3.2. A forma

A szimulációk során két lehetséges formázási módszert vizsgáltunk, az elvesző és a tartós formába történő öntést. A szakirodalmi források, valamint a MNM gyűjteményében található öntőformák vizsgálata alapján megállapítható, hogy az elvesző formák anyaga döngölt homok vagy agyag volt, míg a tartós formák anyaga jellemzően homokkő,



■ 3. ábra. Vizsgált geometriák

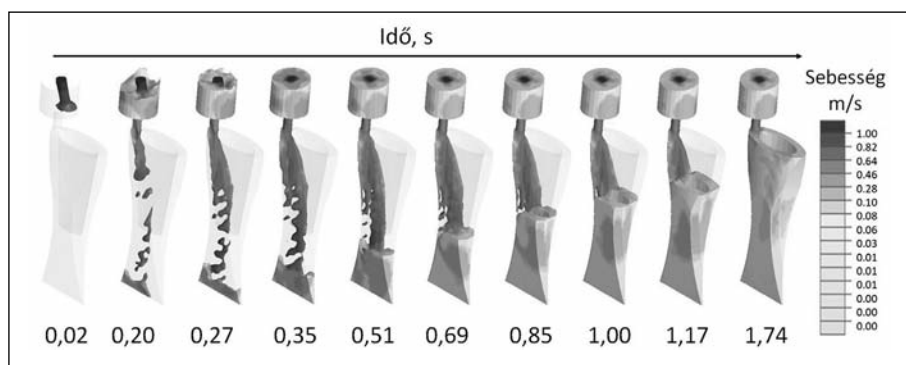
iszapkő, tufa vagy pala [12]. A számítások során az elvesző forma anyagát bentonitos homokformaként definiáltuk, a tartós formába történő öntés esetén egy kőből készült formát vizsgáltunk, melynek anyagtulajdonságait szakirodalmi források alapján határoztuk meg. Feltételeztük továbbá, hogy a formaüreg a talajban került kialakításra, így elvesző forma esetén a forma és a környezet anyaga is homok, míg kőformába történő öntéskor az összezárt formát öntés előtt eltemették a talajba, így a forma anyaga kő, míg a környezet anyaga homok volt. Megjegyzendő, hogy a kísérleti öntések során a formát általában csak félig ássák be a talajba.

## 4. Eredmények

### 4.1. Formatelés

A formatelési vizsgálatok során az olvadékat 1100 °C öntési hőmérsékleten, kanálból öntöttük a formába, 0,5 kg/s térfogatárammal. Mindkét vizsgált beömlőrendszer esetén elvégeztük a formatelési folyamatok vizsgálatát, melyek közül az aszimmetrikus beömlőrendszerrel végzett kísérlet eredményeit mutatjuk be az idő függvényében (4. ábra). Áramlási sebesség skála: 0,00–1,00 m/s.

Mindkét beömlőrendszer esetén az olvadék egy definiált szögben, adott sugárral lép be a beömlőrendszerbe és onnan a rávágáson keresztül a formaüregbe, amit szabadesséssel tölt fel. A kialakuló áramlási sebesség a formaüregben belül magasabb a 0,4 m/s kritikus áramlási sebességnél, ami fölött rézötvözetek esetén turbulencia alakul ki. A turbulencia a szennyezőket és az olvadéksugár felületén kialakult oxidhártyákat bekeveri a térfogatba, ami bifilm



■ 4. ábra. Formatelés aszimmetrikus beömlőrendszerrel

hibákat okoz [13]. A számított formatelési idő szimmetrikus beömlőrendszer esetén 1,40 s, aszimmetrikus beömlőrendszer esetén 1,74 s.

Jó gázáteresztő képességű formák esetén a formaüregben lévő levegő egy része távozik a forma nyitott pórusain keresztül. Ha viszont a formának nincs gázáteresztő képessége, akkor a levegő csak a beömlőrendszeren keresztül tud eltávozni, addig az időpillanatig, míg a beérkező olvadék teljes keresztmetszetében ki nem tölti a rávágást. Az a levegőmennyiség, ami ebben az időpillanatban a formaüregben van, bekeveredik az olvadékba.

A turbulensen mozgó olvadékárammal együtt levegőbuborékok is besodródhatnak a formaüregbe, amiket a felületi turbulencia bekeveri a fémtérfogatba, ami a kettős oxidhártyák keletkezésének egyik fő oka. A kettős oxidhártyák a bronzötvözetek esetén jellemzően metallurgiai hibákat okoznak, mivel a belsejükben lévő levegő a dermedés során a pórusképződés kiindulópontja [14–15].

### 4.2. Dermedés

A szimulációs kísérletek során 12 különböző kiindulási és peremfeltétellel végeztük el a dermedési viszonyok vizsgálatát, az öntési hőmérséklet értékét változtatva 1015–1100 °C között (1. táblázat). A viszonylag alacsony öntési hőmérsékleteket a bronzkorban rendelkezésre álló olvasztástechnika alapján definiáltuk [16]. A forma és a környezet kiinduló hőmérséklete minden esetben 20 °C volt. Az egyes beállítások alatt a pórusok számított mennyisége (%) látható.

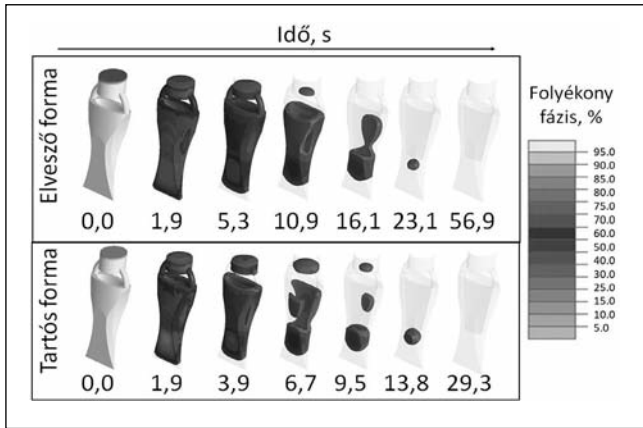
1. táblázat. Kiindulási és peremfeltételek, számított zsugorodás

Elvesző forma						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
T <sub>öntési</sub> , °C	1015	1025	1035	1050	1070	1100
Forma	homok	homok	homok	homok	homok	homok
Környezet	homok	homok	homok	homok	homok	homok
Zsugorodás, %	2,92	2,977	3,035	3,04	3,069	3,161
Tartós forma						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
T <sub>öntési</sub> , °C	1015	1025	1035	1050	1070	1100
Forma	kő	kő	kő	kő	kő	kő
Környezet	homok	homok	homok	homok	homok	homok
Zsugorodás, %	3,071	3,128	3,184	3,135	3,244	3,253

nika alapján definiáltuk [16]. A forma és a környezet kiinduló hőmérséklete minden esetben 20 °C volt. Az egyes beállítások alatt a pórusok számított mennyisége (%) látható.

A dermedési folyamatokat szimmetrikus beömlőrendszer esetén az 5. ábrán mutatjuk be az idő függvényében. A felső ábrason az elvesző formában történő dermedés látható az A1 (T<sub>önt</sub>: 1015 °C) esetben, míg az alsó ábrason a tartós formában történő dermedést mutatja a B6 (T<sub>önt</sub>: 1100 °C) esetben. A skálán a folyékony fázis mennyiségét ábrázoltuk (5,00–95,00%). A képeken a már megdermedt öntvényrészeket nem jelenítjük meg.

A dermedési folyamatok jellege a két formázóanyag és a vizsgált öntési hőmérsékletek esetén hasonló. Fő különbség a dermedési idő, mely elvesző forma esetén közel kétszerese a tartós formában kialakulónak. Gravitációs öntészetben a dermedés során kialakuló



■ 5. ábra. A vizsgált öntvény dermedése különböző beállítások esetén

ló zsugorodást jellemzően a tápfejben lévő fémmennyiség kompenzálja. A vizsgált esetben, tápfej hiányában, a beömlőrendszerben lévő fémmennyiség táplálja az öntvényt a rávágáson keresztül. Ez a táplálás addig érvényesül, míg a rávágás el nem fagy, mely a vizsgált elvesző forma esetén a  $t = 6,21$  s időpillanatban (45,2% folyékony fázis), míg tartós formában történő dermedés esetén a  $t = 3,43$  s időpillanatban (52,4% folyékony fázis) történik meg.

Adott öntési hőmérsékleten vizsgálva, a zsugorodások mennyisége a tartós formába öntve mindig magasabb, mint elvesző formába öntve. A zsugorodások eloszlása mindkét formázóanyag esetén hasonló, az egyes eredmények között lokális különbségek vannak. Fő különbség a zsugorodások mértékében van.

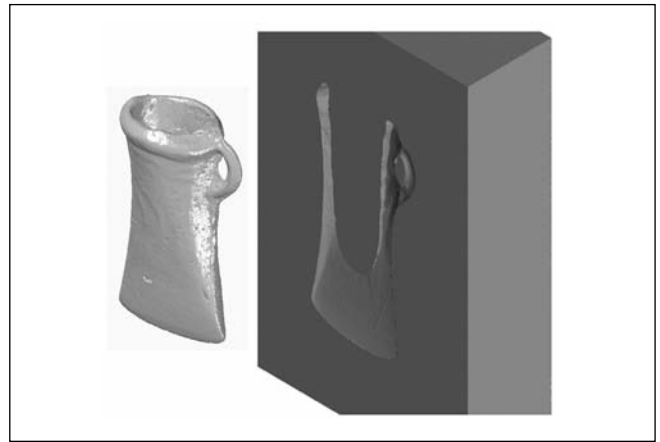
Ha összehasonlítjuk a vizsgált öntési hőmérsékleteket a szakirodalomban fellelhető korabeli olvasztási módszerekkel elérhető hőmérsékletekkel, akkor elmondható, hogy a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten történt az öntés [16], amire a tokosbalta-leleteken feltárt öntési hibák is következtetni engednek.

### 4.3. A tokosbalta-lelet geometriájának vizsgálata

A virtuális geometrián elvégzett szimulációk alapján megállapítható, hogy adott anyagminőség esetén a forma anyagának és a túlhevítés mértékének van szignifikáns hatása a zsugorodások kialakulására. Korábban ismertettük, hogy a virtuális geometriát úgy alakítottuk ki, hogy az reprezentálja a tokosbalta-lelet jellemzőit. A virtuális geometrián elvégzett vizsgálatok alapján meghatározhatók azok a fő befolyásoló paraméterek, melyek változtatásának hatását vizsgálni kívánjuk a tokosbalta-lelet további szimulációs vizsgálata esetén. Meghatároztunk egy egyszerűsített kísérleti mátrixot, mely a 2. táblázatban látható. Vizsgálataink célja a legkisebb és a legnagyobb túlhevítéssel történő öntés hatásának vizsgálata elvesző és tartós forma alkalmazása esetén.

2. táblázat. Egyszerűsített kísérleti mátrix

	Elvesző forma		Tartós forma	
	C1	C2	D1	D2
$T_{\text{öntési, } ^\circ\text{C}}$	1015	1100	1015	1100
Forma	homok	homok	kő	kő



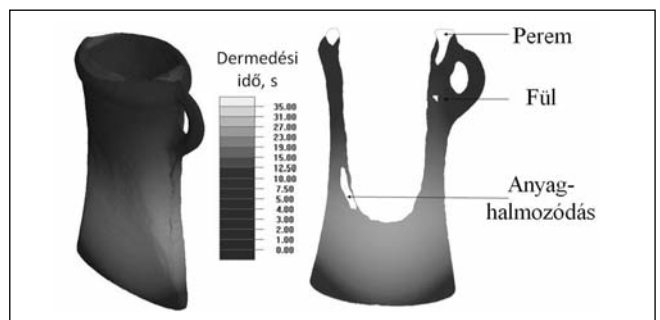
■ 6. ábra. Az öntvény és a forma metszetének geometriája

A lelet számítógépi geometriáját neutrontomográfia segítségével detektáltuk és CAD modellezési eszközökkel javítottuk, előállítva így az eredeti önteni kívánt test közelítő geometriai modelljét ( $V = 20,5 \text{ cm}^3$ ) és azt körbevevő formát, melyek a 6. ábrán láthatóak.

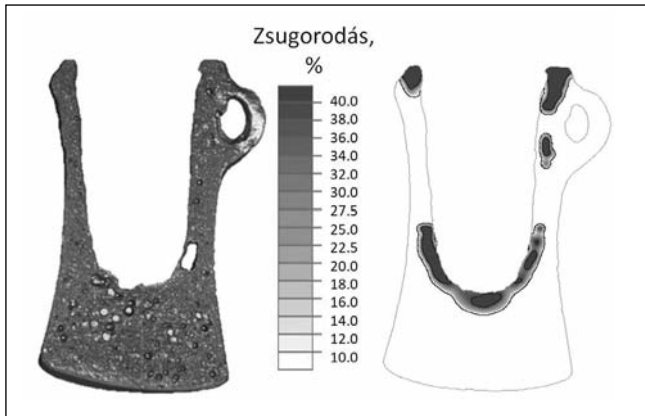
A beömlőrendszert nem hoztuk létre, hanem azokat a geometriai helyeket definiáltuk, ahol az olvadék belép a formaüregbe. A formatelési és a dermedési számításokat csatolt módon végeztük el, ahol első lépésben a formatelést vizsgáltuk, majd a dermedési viszonyokat. A vizsgálatok során a tokosbalta-lelet kémiai összetételét PGAA módszerrel határoztuk meg: 92,0% Cu, 4,8% Sb, 1,1% As, 1,6% Ni, 0,59% Ag, 0,12% Co. Az öntési hőmérséklet 1015 és 1100 °C volt, az olvadékat kanálból öntöttük a homokból és kőből készült szobahőmérsékletű formába, 0,1 kg/s térfogatárammal.

Az olvadék a gravitációnak megfelelően, az öntvény legfelső síkjára merőlegesen lép be a formaüregbe, a szabadon eső olvadék zuhanó jelleggel tölti fel a formaüreget. A formatelés kezdetén az olvadék jelentős turbulenciával fröccsen szét a formaüreg alján, majd ~ 35%-os formakitöltöttségtől kezdve az olvadék mozgása megnyugszik, és egyenletesen emelkedik annak szintje a formaüreg teljes megteléséig. A szabadon eső olvadék sebessége túllépi a kritikus 0,4 m/s értéket, a számított formatelési idő 1,677 s.

A dermedési és lehülési folyamatok vizsgálatát a formatelés után, csatolt módon végeztük, ahol a számítás kezdeti időpillanatában a formaüreg a definiált hőmérsékletű olvadékkal volt kitöltve. A dermedési karakterisztika jellege mindkét formázóanyag esetén közel azonos. Az öntvény számított dermedési idejét az 1100 °C-on, kő formába öntött (D2) esetben mutatjuk be axonometrikus nézetben



■ 7. ábra. Számított dermedési idő, D2



■ 8. ábra. Számított zsugorodások, tomográfias felvétel

és a középvonali metszet vetületén a 7. ábrán. Skála: dermedési idő 0,00–35,00 s.

Mindegyik vizsgált beállítás esetén a geometria először dermedő része a fül és annak környezete, majd sorrendben az él, utána a perem környezete volt. Az utoljára dermedő öntvényrész a maggal kiképzett rész alatti anyaghalmozódás. A 7. ábra metszeti képén látható kitöltetlen, anyaghiányos részek zsugorodási üregeket jeleznek. A dermedés során az öntvény felső részén, a perem környezetében alakul ki anyaghiányos rész, mivel ez a legmagasabb pozícióban lévő öntvényrész az alatta lévő öntvényrészeket táplálja. Az öntvény középső részén, az anyaghalmozódás környezetében alakul ki további anyaghiányos rész, melynek kiterjedése függ a dermedési körülményektől. Tartós formák esetén egy további anyaghiányos rész is kialakul a fül környezetében.

A középvonali metszet vetületén vizsgált zsugorodási üregek az 1100 °C-on, kő formába öntött (D2) esetben a 8. ábrán láthatók, ahol a zsugorodás skála: 0,00–40,00%. Az ábra bal oldalán a tomográfias kép egy mesterséges metszete látható azonos vizsgálati sík esetén.

Az egyes szimulációkra jellemző porozitás értékek a 3. táblázatban láthatóak.

3. táblázat. Számított porozitásértékek

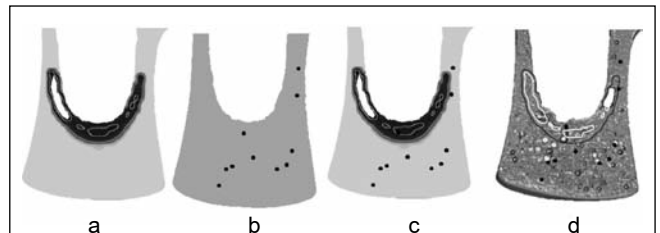
	Elvesző forma		Tartós forma	
	C1	C2	D1	D2
T <sub>öntési</sub> , °C	1015	1100	1015	1100
Forma	homok	homok	kő	kő
Porozitás, %	2,84	3,69	2,80	3,66

A tokosbalta-lelet tomográfiával mért porozitásértéke: 3,4%. A számított porozitásértékek csak a zsugorodási porozításra jellemzők, míg a tomográfias értékek figyelembe veszik a zsugorodási és gázpórusokat is.

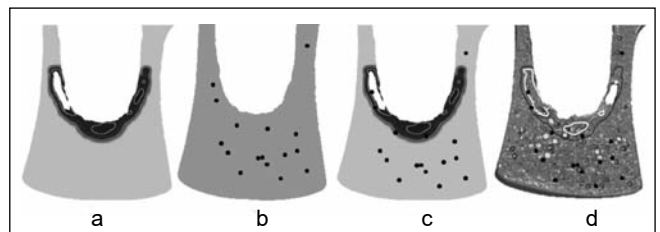
Ahhoz, hogy ne csak a zsugorodási pórusok térfogatának számszerű értékeit, hanem azok eloszlását is össze tudjuk hasonlítani, a szimulációval előállított képeket és a tomográfia eredményeit közösen kell kiértékelni. Ahogy az a 8. ábrán is látható, a szimulációs eredmények megjelenítése során a zsugorodási porozitás egy folytonos skála mentén kerül megjelenítésre, mely azt reprezentálja, hogy mekkora a zsugorodások nagysága egy adott geometriai részen belül. A tomográfiával rögzített képen viszont a zu-

gorodási és a gázpórusok anyaghiányos helyekként jelentkeznek. A pórusok két eltérő megjelenési formáját grafikai eszközökkel lehet összehasonlíthatóvá tenni.

A számított és a mért értékek közös megjelenítése az anyaghalmozódás környezetében a 9–10. ábrán látható, ahol a) számított zsugorodási pórusok, b) bezárt levegőbuborékok pozíciója, c) számított zsugorodási pórusok és bezárt levegőbuborékok, d) a számított zsugorodási értékek határolóvonalainak és a buborékok pozíciójának közös megjelenítése a tomográfias felvételeken. Az ábrák d) részén a szürke vonalak a  $\geq 10\%$  anyaghiányos helyek határát jelölik, a fehér vonalak a  $\geq 40\%$  anyaghiányos helyek határát jelölik.



■ 9. ábra. A számított és mért eredmények összehasonlítása, C1 eset, T<sub>önt</sub>: 1015 °C

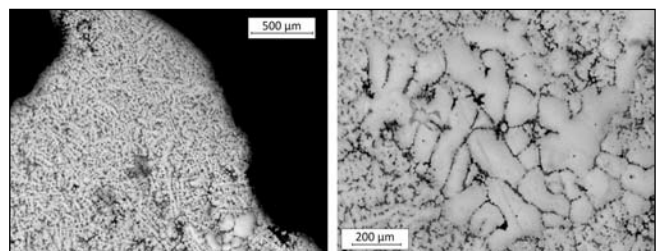


■ 10. ábra. A számított és mért eredmények összehasonlítása, C2 eset, T<sub>önt</sub>: 1100 °C

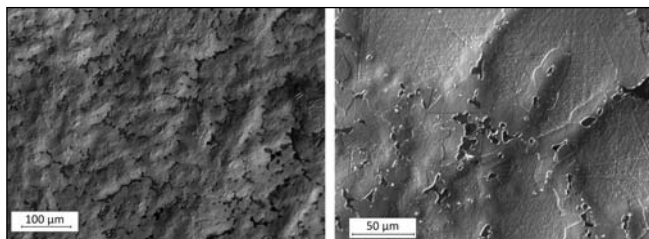
#### 4.4. Mikroszerkezet vizsgálat

Roncsolásos vizsgálat elvégzése csak minimális beavatkozással volt lehetséges. Erre a fül melletti peremrész, a feltételezett beömlőrendszer csonkja adott lehetőséget. A kivett minta beágyazása után mechanikus felületelőkészítést és bemártásos maratást alkalmaztunk, ahol a marószersz vas-klorid és sósav vizes elegye volt. Az előkészített felületről optikai mikroszkópi felvételeket készítettünk mind világos látótérben, mind interferencia kontraszt alkalmazásával.

A 11. ábrán, a világos látótérben előtűnik az öntött tárgyakra jellemző dendrites szerkezet. A minta nagy részére finom dendrites szerkezet jellemző, kis szekunder dendritágtávolsággal, ami a tárgy gyors hűlésére utal. A dendrit-



■ 11. ábra. Világos látótérű optikai mikroszkópi felvételek



■ 12. ábra. Interferencia kontraszt felvételek

ágak között apró réz-szulfid zárványok láthatóak. A minta közepén, egy viszonylag kis területen, nagyméretű dendritek találhatóak, melyek szekunder dendritágtávolsága jóval nagyobb.

Az interferencia kontraszt felvételeken olyan apró különbségek tűnhetnek elő, amelyek világos látótérben alig látszanak. A 12. ábrán apró újrakristályosodott szemcseszerkezet vehető észre, ahol a szemcsékben a rézötvözetekre jellemző ikerhatárok is láthatóak. Ez az újrakristályosodott szerkezet a nagyméretű dendritek határán igazán szembetűnő. A szemcsék átlagos mérete harmada, negyede a finom dendrites szerkezet szekunder dendritágtávolságának.

A dendrites szerkezeten képlékeny alakváltozás okozta jelentős deformáció nem vehető észre, így kismértékű (50%-nál kisebb redukció) alakváltozás történt. A finom szemcseszerkezet nagy hőmérsékleten bekövetkezett újrakristályosodást mutat, mely hőmérsékleten a tárgy kevés időt töltött, mert a szemcsedurulás hatása nem növelte lényegesen a szemcseméretet. Mivel a tárgyon utólagos megmunkálás nyomai nem figyelhetők meg, így az előző megállapítások mind arra utalnak, hogy a vizsgált terület kristályosodás után, nagy hőmérsékleten deformálódott a tárgy lehűlése közben. Tekintve a szimulációs tanulmány eredményét és a mintavétel helyét, a balta anyaga ebben a térfogatban akkor deformálódhatott, amikor a beömlő rendszert eltávolították, vélhetően letörték, a baltáról. Ez elegendő mértékű képlékenyalakítást jelent a balta ezen területén, hogy az újrakristályosodás meginduljon. A balta hőmérséklete valószínűleg ekkor még olyan nagy volt, közel a szolidusz hőmérséklethez, hogy finom szemcsés szerkezet alakult ki.

## 5. Összefoglalás

A vizsgált bronzkori tokosbalta-lelet esetén az öntési geometria CAD modelljének alapjául a tárgyról készült neutrontomográfias rekonstrukcióból nyert felszíni 3D pontfelhő szolgált, ezen kívül a prompt-gamma aktivációs analízis ötvözetű összetétel eredményei szolgáltatták a szimulációs számítások összetételi bemenő paramétereit. A szimulációs eredmények a tárgy belső szerkezetét feltáró módszerek, a neutrontomográfia és a metalográfia eredményeivel hasonlíthatók össze, illetve validálhatóak.

Az elvégzett vizsgálatok és szimulációs eredmények alapján valószínűsíthető, hogy a tokosbaltát aszimmetrikus beömlőrendszerrel öntötték, melyet az optikai mikroszkópi felvételek is alátámasztanak.

A szimulációs eredmények alapján a tokosbalta öntése tartós formába történt. A kétrészes, zárt formába, mag

alkalmazásával történő öntési módszert a régészeti bizonyítékok is alátámasztják.

A lelet öntése a gyakorlatban a lehető legkisebb mértékű túlhevítéssel történt, melyet a bronzkorban rendelkezésre álló olvasztástechnika is valószínűsít.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a NovaCast Systems AB cég támogatását, hogy biztosította a NovaFlow&Solid szoftverhez való hozzáférést. *Tarbay János Gábor* hálás a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjért.

## Irodalom

- [1] *A. Mozsolics*: Bronze und Goldfunde des Karpatenbeckens. Depotfundhorizonte von Forró und Ópályi, p. 37–41. Budapest, 1973
- [2] *O. Dietrich*: Vom Meißel zum Beil? Einige Gedanken zu den frühesten Tüllenbeilen im Karpatenbecken ausgehend von den Tüllenmeißeln vom Typ Bullendorf. In: Pop, H. et al. (eds.), Local and Regional Cultural Identities in European Context. Archaeology and historical anthropology. Cluj-Napoca, 2010.
- [3] *B. Roberts, B. S. Ottaway*: The Use and Significance of Socketed Axes during the Late Bronze Age. European Journal of Archaeology vol. 6/2, 2003, 119–140.
- [4] *B. Wanzek*: Die Gußmodel für Tüllenbeile im südöstlichen Europa. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 2, Bonn, 1989.
- [5] *Tarbay J. G.*: A gyermelyi típusú kincsek és koruk, PhD-disszertáció, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Régészettudományi Intézet, Budapest, 2018.
- [6] *T. Kemenczei*: Unpublished finds in the Prehistoric Collection of the Hungarian National Museum. In: T. Kovács (ed.), Studien zu Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen. Festschrift für Amália Mozsolics zum 85. Geburtstag, Budapest, 1996, 231–247.
- [7] *Jesper Hattel*: Fundamentals of Numerical Modeling of Casting Processes, Polyteknisk, Denmark, 2005
- [8] *Z. Révay et al.*: Prompt gamma-ray spectrum catalog. In: Molnár G. L. (ed) Handbook of prompt gamma activation analysis with neutron beams. Springer, Boston, pp 173–364, 2004
- [9] *Z. Révay*: Determining elemental composition using prompt gamma activation analysis. Analytical Chemistry 81:6851–6859, 2009.
- [10] *J. G. Tarbay et al.*: Non-destructive analysis of a Late Bronze Age hoard from the Velem-Szent Vid hillfort. Journal of Archaeological Science 127, 105320, 2021.
- [11] *Z. Kís et al.*: Neutron based imaging and element-mapping at the Budapest Neutron Centre, Physics Procedia. 69, p. 40–47, 2015.
- [12] *Péterdi Bálint*: Bronzkori és vaskori öntőformák petrográfiai vizsgálata, Óskoros kutatók III. összejevetele, Szombathely, 2004
- [13] *J. Campbell*: Complete Casting Handbook, 2. edn., p. 3–90, Elsevier Ltd. Oxford, 2015
- [14] *H. Song et al.*: Morphology and Fracture of Oxide Bifilm Defects in Nickel-Aluminium Bronze, J. Mater. Res. Technol. 10, p. 926–934., 2020.
- [15] *E. Erzi et al.*: On the Fracture Pressure of Liquid Metals, Mater. Sci. Technol. 35, p. 1656–1659, 2019.
- [16] *R. F. Tylecote*: History of Metallurgy, Maney, London, 1992

# Vékony falú, nagy geometriájú, alumínium gravitációs öntési technológia 3D nyomtatott homokforma alkalmazásával

**A cikk témája az Alu Öntő Kft. EP3294476 technológiai szabadalma alapján készült vékony falú (1–3 mm), nagy geometriájú alumínium homokforma öntvény előállítására 3D nyomtatott forma alkalmazásával. A kísérlet során a szabadalom szerinti beömlőrendszerrel gyártóeszköz alkalmazása nélküli öntvényt állítottunk elő. A próbagyártás alatt a nyomtatott forma termikus, mechanikus, funkcionális jellemzőit teszteltük és hasonlítottuk össze a hidegen kötő furángyantas homokformázási technológia szerint előállított öntvényekkel.**

A nyomásos öntvények irányába támasztott piaci követelmények egyre inkább a súlycsökkentés felé tolódnak, mindamellett az ilyen öntvények mechanikai tulajdonságainak növelése is fontos szempont lett: vékony falvastagság, nagy öntvénygeometria, növelt szilárdsági jellemzők és komplex geometria. Az autóiparban az ilyen nyomásos öntvények jellemzően a karosszériaelemek, átlagosan 2 mm-es falvastagsággal, belső bordázattal és növelt szilárdsági tulajdonságokkal.

Szabadalmazott öntési eljárásunk lényege a gravitációs gyorsöntés. A gyors, pár másodperces, formatöltési idő, és a szintén rövid idejű megszilárdulás alapvető fontosságú ahhoz, hogy vékony falú (3 mm alatti), nagy geometriájú öntvényeket tudjunk előállítani.

Ehhez szükség van olyan befogadó formára, amely jól tolerálja az öntés előtti hevítést, a mechanikai leszorításnak ellenáll, valamint megfelelő felületi érdességet ( $R_z = 25\text{--}35$ ) biztosít az öntvénynek. Szintén fontos az alkalmazott zsugorodás, a homokforma hőtágulása és e két paraméter eredőjeként az öntvény végleges geometriája, melynek eljárásunk esetében a nyomásos öntészeti szabvány szerinti méretpontosságnak kell megfelelnie.

A fentiek figyelembevételével eljárásunk komplett beömlőrendszerét átültettük a homokforma nyomtatási eljárásba.

A Voxeljet AG a technológiánkat megismerve szintén érdeklődést mutatott arra, hogy nyomtatott homokformái milyen mértékben felelnek majd meg az így előállított vékonyfalú öntvények esetében. Ezúton is köszönjük, hogy a tesztformákat rendelkezésünkre bocsátották.

## A kísérlet célja

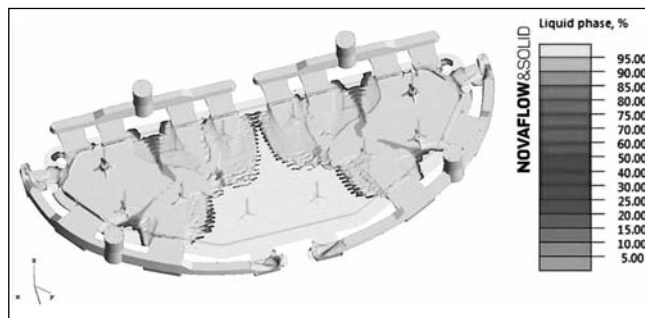
Az elvégzett kísérlet célja annak vizsgálata, hogy az általunk alkalmazott öntési technológia alkalmazható-e 3D nyomtatott homokformák esetében.

További fontos információkat szeretnénk volna megtudni a nyomtatott homokformákról, különösen a hevítési hőmérséklettűrés, mechanikai szilárdság a nagyobb olvadáramlási sebesség és -nyomás miatt, valamint a kapott öntvény felületi minősége is fontos volt számunkra.

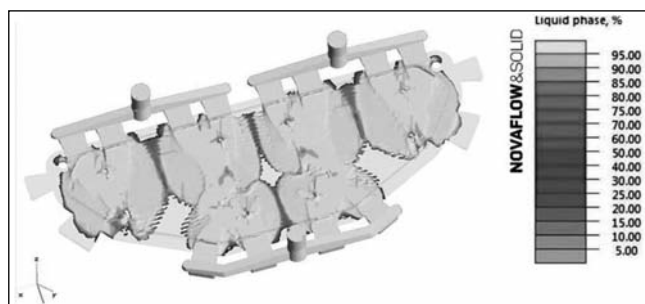
Az általunk gyártott öntvények közül egy  $620 \times 220 \times 11$  mm befoglalójú és 1,5-3 mm falvastagságú geometriát

választottunk. Az alapanyag AlSi10Mg0,3 ötvözet, melynek olvadékezelésénél csak AlSr10 szemcsefinomítást alkalmaztunk.

A beömlőrendszer kivitelezése 4 szekciós (4 álló, leszálló), szűkülő keresztmetszettel (1. ábra) rendelkezett, de formatöltési szimuláció készült 3 szekciós kivitel szerint is (2. ábra).



■ 1. ábra. A beömlőrendszer kialakítása és a formatöltés szimulációja 4 szekciós beömlőrendszerrel, a képen a folyékony fázis aránya 75% feltöltési hányadnál

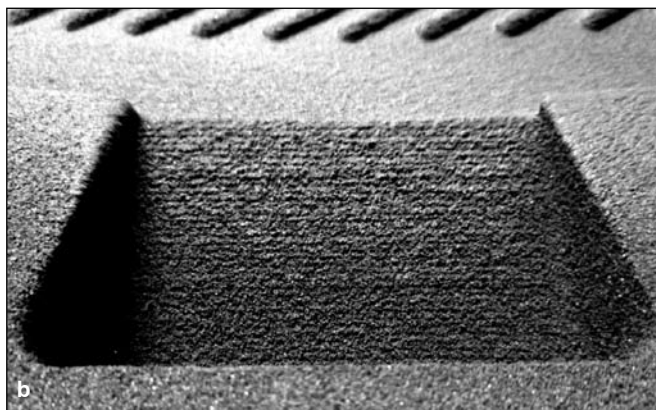
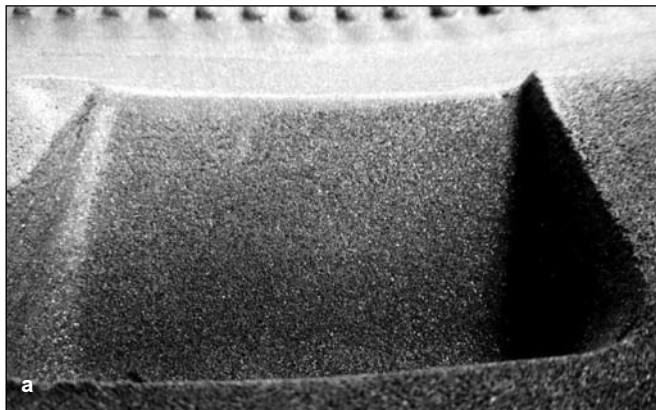


■ 2. ábra. A beömlőrendszer kialakítása és a formatöltés szimulációja 3 szekciós beömlőrendszerrel, a képen a folyékony fázis aránya 70% feltöltési hányadnál

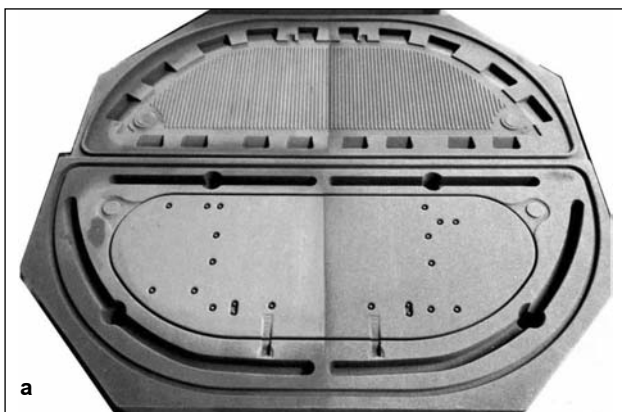
Az olvadék számított áramlási sebessége a rávágásban a formaüregbe belépő helyeken átlagosan 4 m/s volt. Az álló – elosztócsatorna – rávágás méretezése alapján a NovaFlow@Solid programmal formatöltési szimulációkat végeztünk. Az optimális kialakítású technológiához elkészítettük a homokforma nyomtatáshoz szükséges 3D alsó és felső rész geometria modelleket.

Az alsó és felső formarészek 3D nyomtatási technológiával történő legyártását a Voxeljet AG végezte. A cég az alábbi paraméterek szerint nyomtatta ki a formákat:

*Hajas Gergely szakmai életrajzát 2016/1. számunkban közzöltük.*



■ **3. ábra.** A homokforma felületi minősége a rávágás környezetében. a) 0,2 mm átlagos szemcseméretű furángyantás keverék alkalmazása és b) VOXELJET 3D homoknyomatási technológia esetén



■ **4a ábra.** VOXELJET 3D nyomtatási technológiával készített homokforma. Bal oldalon a tagolt geometria felének grafitos fekecslése után, jobb oldalon fekecslés nélkül

■ **4b ábra.** VOXELJET 3D nyomtatási technológiával készített homokforma felületi minősége grafitos fekecslése (balra) és fekecslés nélkül

- a homokszemcse mérete: 130  $\mu\text{m}$  – GS14,
- a nyomtatási rétegvastagság: 300  $\mu\text{m}$ ,
- a nyomtatási sebesség (VX1000 S ODB): 17 s/réteg, függőleges nyomtatási sebesség 62,3 mm/h,
- a teljes nyomtatási idő az 1000  $\times$  600  $\times$  500 mm geometria esetén  $\sim$  8 h

A megkapott printelt formák tartalmazták a komplett beömlőrendszert, illetve az állomagasítás csatlakoztatásához a súllyesztéseket (elosztócsatorna belépő furathoz). Az állomagasítók mérete 170 mm, csatlakozási átmérő 23 mm.

A nyomtatott formák alakjukban és funkcionálisan mindenben megegyeztek az általunk kiborítós magszekrény típusú gyártóeszközzel, hidegen kötő keverékből készített homokformákkal. Amiben különbséget érzeltünk, az elsődlegesen a nyomtatott szemcseméretből adódóan a forma felületi érdesség mértékének a különbsége (3a és 3b ábra).

A felületi érdességet a nyomtatott formák esetében szürke grafit-alkohol keverékből készült fekecs ecsetelésével tudtuk javítani (4a, b ábra). A formafelület fekecslését csak a kontúr-felület egyik oldalán készítettük el, hogy öntés után értékelni tudjuk a felületi minőséget, mely egyértelmű javulást mutatott (5. ábra). A fekecslés nélküli nyomtatott formarészen az ötvény érdes felületű, ráégésekkel a megnövelt olvadáknymás és megnövelt olvadáráramlási sebesség hatására.

A rétegről rétegre nyomtatott formák hőterhelése (forma-felület előmelegítése) mindenben megfelelt a hagyományos hidegen kötő furángyantás eljárással készült formákéval.

A formakontúrt adó felületeit öntés előtt 100  $^{\circ}\text{C}$  körüli hőmérsékletre hevítettük, majd összezárás és leszorítás után 740  $^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletű olvadékkal leöntöttük a darabokat (6. ábra).

A kapott öntvénygeometria mindenben azonos volt a hagyományos gyártóeszközzel formázott homokformák esetében készült öntvényekkel. A forma gyártásához alkal-



■ **5. ábra.** VOXELJET 3D nyomtatási technológiával készített homokformába öntött öntvény felületi minősége a forma grafitos fekecslése nélkül (balra) és fekecslése



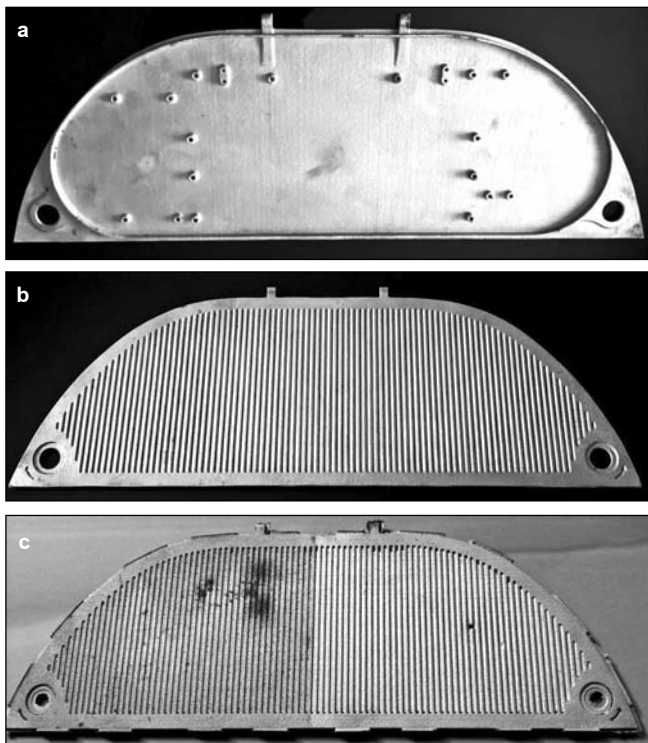
■ 6. ábra. VOXELJET 3D homoknyomatási technológiával és 4 szekciós beömlőrendszerrel gyártott homokforma öntésre előkészítve

mazott zsugorodás mindkét esetben azonos volt. A különböző homokformával öntött darabok méretpontossága egyező volt.

Összefoglalva a nyomtatott formák megfeleltek a vékonyfalú (1-3 mm), nagy geometriájú öntési technológiánk alkalmazásához. A nyomtatott homokformába öntés egy idő- és költséghatékony megoldás olyan esetekben, amikor gyorsan kell első prototípus darabokat a megrendelői igény szerint előállítani (7 a, b, c ábra).

A nyomtatott formák alkalmazásával elvégzett kísérleteket az Alu-öntő Kft. nemzetközi szabadalmának felhasználásával végeztük. A szabadalom jogvédeltségében a BKL Kohászat 2017/6. számában közöltekhez képest beállt változások és a legfrissebb EPO és SZTNH paraméterek:

A szabadalom tárgya: **Öntészeti eljárás tagolt, vékonyfalú alumíniumöntvények homokformázásos technológiával, gravitációs öntéssel való előállítására**



■ 7. ábra. A 4 szekciós beömlőrendszer és 0,2 mm átlagos szemcseméretű furángyantás keverék alkalmazásával készített homokformába öntött öntvény a) felső és b) alsó része, c) VOXELJET 3D homoknyomatási technológia alkalmazásával készített, bal oldalon fekecselés nélküli és jobb oldalon fekecselt homokformába öntött öntvény

Tulajdonos: Alu-öntő Kft., **Hajas Gergely ügyvezető**  
Európai védettség területi hatálya: **Németország, Anglia, Franciaország**

Kiállításának dátuma: 2019. 07. 03.

Lajstromszám: EP3294476,

Magyarországi védettség kiállításának dátuma: 2017. 05. 17.

Lajstromszám: P1500230

### Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki *dr. Dúl Jenőnek* (Miskolci Egyetem) és *dr. Hatala Pálnak* (Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület), akik szakismeretükkel, segítő közreműködésükkel hozzájárultak ahhoz, hogy a bemutatott eljárás, mint a gravitációs homoköntés jelentős fejlesztése megvalósuljon, nemzetközileg ismertté váljon.

### Irodalom

- [1] ep3294476 – Casting process and sand mould provided with an inlet system for producing at least partly thin walled aluminium casts with sand moulding technology by means of gravity casting  
<https://register.epo.org/application?number=EP16774976&lng=en&tab=main>
- [2] *G. Hajas*: Examination of influencing factors of mechanical properties and mold filling behavior in case of sand casting prototypes of thin-walled high-pressure die casting parts, BKL Kohászat 150, 2017/6 13–17. p  
[http://ombkenet.hu/images/2017/netre\\_2017\\_6\\_szam\\_kohaszat.pdf](http://ombkenet.hu/images/2017/netre_2017_6_szam_kohaszat.pdf)
- [3] *G. Hajas*: Mould filling and mechanical properties of gravity sand castings having large geometry and thin wall /1-3 mm/-by a new casting process  
<https://www.drustvo-livarjev.si/index.php?module=vestnik&op=show&vestnikId=74>
- [4] *G. Hajas*: Prototypes Made of Sand Moulds for Thin-Walled and Detailed Die Cast Parts, SPOTLIGHTMETAL the network for light metal casting, Jun 25, 2018.  
<https://www.spotlightmetal.com/prototypes-made-of-sand-moulds-for-thin-walled-and-detailed-die-cast-parts-a-727553/>
- [5] *G. Hajas*: Prototypen aus Sandformen für Dünnwandige und detailreiche Druckgussteile, Giesserei-Praxis, 4/2017, S144-146  
<https://www.next-foundry.com/news-artikel/artikel/gp-04-2017-gesamtausgabe-04-2017>
- [6] *G. Hajas*: Producción de prototipos/primeras muestras o series de fabricación de piezas ricas en detalle, de fundición de aluminio a alta presión de paredes delgadas (1-3 mm), por fundición por gravedad a presión en moldes de arena, FUNDI Press Abril 2016.  
[http://www.aluonto.hu/sites/default/files/produccion\\_de\\_prototipos\\_4.pdf](http://www.aluonto.hu/sites/default/files/produccion_de_prototipos_4.pdf)
- [7] *R. Dúl*: Casting simulation provide the ability to get it right at the first time, <http://www.cfdengineering.co.uk/casting-simulation-prototype-casting/>
- [8] Foundry Planet – Foundry of the week – thin wall gravity sand cast process  
<https://www.foundry-planet.com/d/foundry-of-the-week-alu-onto-ltd-a-family-run-aluminium-foundry-from-hungary/>

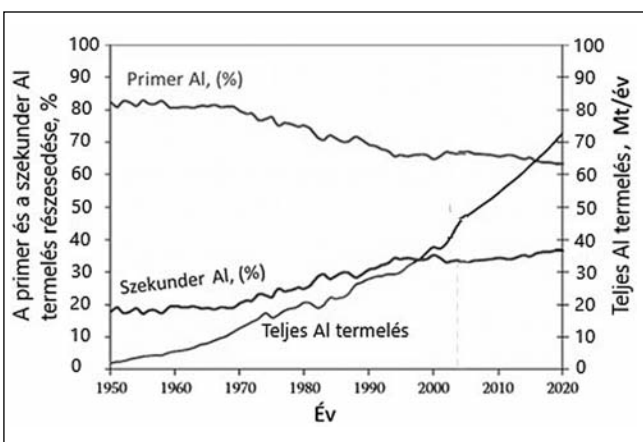
ILLÉS ISTVÁN BALÁZS – KÉKESI TAMÁS

## Alumínium és alumíniumtartalmú hulladékok forgó dobkemencés olvasztásának optimalizálási lehetőségei

*A nagy fajlagos felületű Al-hulladékok és az Al-salakok forgó dobkemencében történő olvasztása során a só minősége, mennyisége, a kemence forgási sebessége és a hevítési intenzitása, valamint az oxigéntényező, továbbá a betét fémes fázisának Mg-tartalma nagymértékben befolyásolja a fémkihozatalt. Megvizsgáltuk közel azonos fémtartalmú – szintetikusán képzett – olvasztási salakok kísérleti forgó dobkemencés feldolgozását jellemző csapolt fémkihozatalokat, valamint az oxidos maradványban diszpergálva maradt fémtartalmakat is. Hasonló kísérletekkel vizsgáltuk a 2,5–5 mm szemcsés alumíniumhulladék olvasztási hatékonyságát. Az eredmények alapján kimutattuk a lehetséges optimalizálási irányokat. A betét kismértékű oxidációjából eredő hőhatás – az ennek megfelelően optimalizált üzemeléssel – a fémkihozatalra akár kedvező is lehet.*

### 1. Bevezetés

Az acél után a legnagyobb mennyiségben termelt és felhasznált fém az alumínium [1]. Azonban az alumínium-előállítás energiaigénye jelentős, 1 tonna alumínium előállítása ~ 180 GJ energiát igényel. Ezzel szemben a szekunder előállítás csupán ~ 20 GJ energiát igényel [2]. Ez az egyik fő szempont, ami miatt a hulladék alapú Al-előállítás egyre fontosabbá válik. Napjainkban az éves szinten előállított Al-nak körülbelül 35-40%-a származik hulladék alapú termelésből [3]. Az 1. ábrán látható, hogy a növekvő alumínium-termelésen belül a szekunder alapú termelés aránya emelkedik.



■ 1. ábra. A primer és szekunder fém megoszlása a teljes termelésben [4]

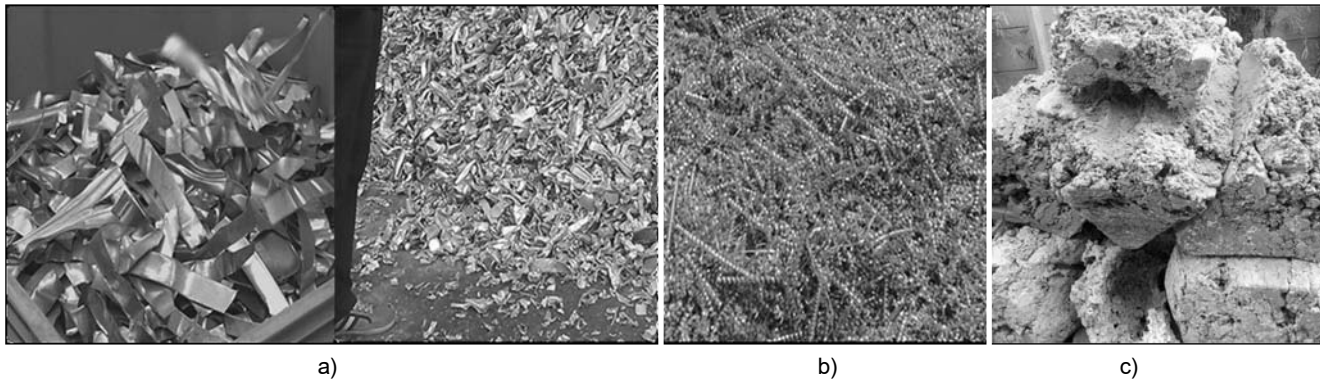
Illés István Balázs szakmai életrajzát 2020/1. számunkban közöltük.

Dr. Kékési Tamás szakmai életrajzát 2018/1. számunkban közöltük.

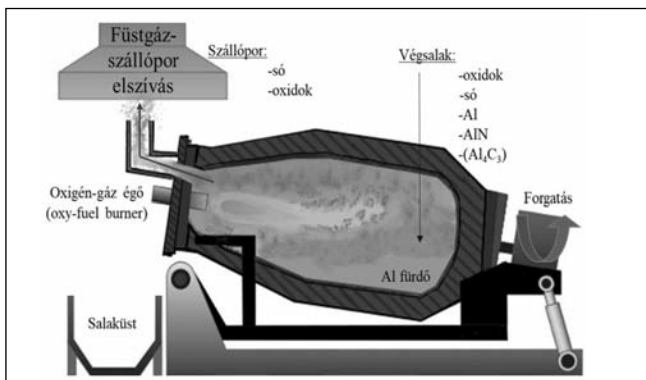
Ez nem csupán lényegesen kisebb energiaigényt és CO<sub>2</sub>-kibocsátást jelent, de a hulladék alapú gyártás további előnye az ötvözőanyagok egy részének a visszajáratása is. A szekunder alumíniummetallurgiai folyamatok beolvasztáson alapuló technológiák, amely során a fémhulladékok olvasztása általában lángkemencékben történik. Ez történhet sós és gyakorlatilag sómentes eljárással is egyaránt [5]. Az utóbbi az elterjedtebb, noha ebben az esetben nagy fémtartalmú salak keletkezik. Ezeket a szakirodalom fehér vagy nedves salakként tartja számon. Feldolgozásuk leggyakrabban konverterhez hasonló, felső oxigénégős forgó dobkemencében történik. A salakképződés primer üzemekben a termelt fémre vonatkozóan alig érheti el az 1% mértéket, de szekunder alumíniumötvözet-gyártó üzemek esetében akár 5% feletti is lehet. Ez világviszonylatban évente 1,5-2 Mt salak képződését jelenti. Továbbá, számos olyan hulladéktípus létezik, amelynek egyszerű lángkemencés olvasztása a nagy fajlagos felület miatt nem gazdaságos vagy egyenesen kivitelezhetetlen. Ezeket a nyersanyagokat forgódobos kemencékben olvasztják be, sóadalék jelenlétében. Ilyen nyersanyag típusokat szemléltet a 2. ábra.

A forgódobos kemencéknek alapvetően két típusa terjedt el az iparban. Az egyik a buktatható forgódobos kemence, amely alkalmas salak és fémhulladékok feldolgozására is. Ezeknek a kemencéknek a szokásos befogadóképessége 1–25 tonna. A fűtésük történhet levegő-földgáz vagy oxigén-földgáz tüzeléssel [6, 4]. A csapolás és a maradványsalak eltávolítása a kemencéből döntéssel történik. Általában ezek a kemencék fel vannak szerelve egy mozgatható eszközzel, ami csapolás során a salakmaradvány kemencében tartását szolgálja. Ilyen kemence-típust szemléltet a 3. ábra.

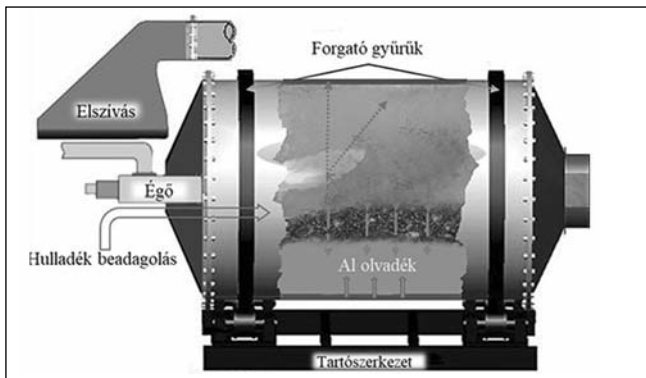
A másik típus a fekvő forgódobos kemence, amelyben



■ 2. ábra. Néhány nagy fajlagos felületű alumíniumhulladék-típus (a – apró vágási hulladék, b – forgács, c – olvasztási primer salak)



■ 3. ábra. A salak és fémhulladék feldolgozásra is alkalmas alumíniumipari buktatható forgó dobkemence („salakkonverter”)



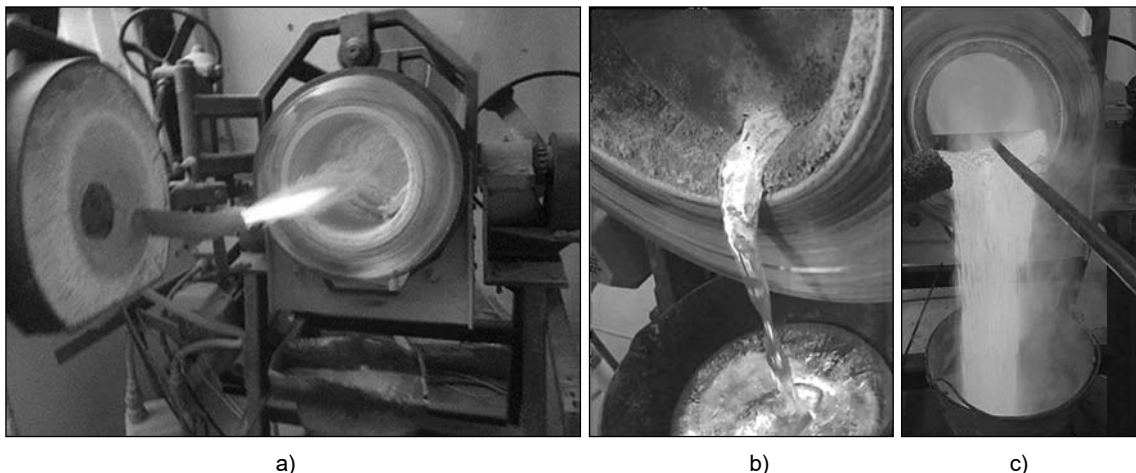
■ 4. ábra. Fekvő forgódobos kemence

inkább jellemző a fémhulladékok feldolgozása, ezeket általában alsó tolózárás csapolással szerelik fel. A betét beadagolása szintén az ajtón keresztül történik, azonban a végsalakmaradvány eltávolítása ebben az esetben nehezebb, többek között ezért is ezek a kemencék kevésbé alkalmasak nagy mennyiségű salakot tartalmazó betét kezelésére. A füstgázokat és a keletkező szállóport szintén elvezetik. Ezt a típust szemlélteti a 4. ábra.

A forgó dobkemencék előnye a jó hőátadás, valamint a betét állandó mozgásával a metallurgiai reakciók lehetősége is kedvezőbb. A láng sugárzással közvetlenül hőt ad át a betétnek és a falzatnak. A felső falzat szintén sugárzással melegíti a betétet, míg a forró falzat be is fordul az olvadék alá, ahol a hőátadás vezetéssel valósul meg. Fontos megjegyezni, hogy a só rossz hővezető, így a betét felszínén ronthatja a hevítés hatásfokát. Ezért is hasznos a forgásból eredő keverés és az alsó falzatról így biztosított vezetési hőátadás.

## 2. A kísérleti eljárás és nyersanyagok

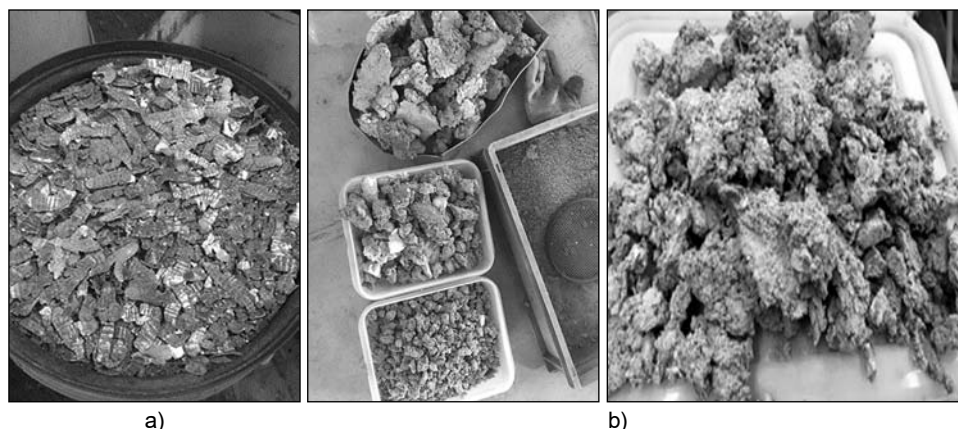
Az olvasztási kísérleteket a Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézetében működő levegő–földgáztüzelésű forgódobos kemencében végeztük, amit minden olvasztás előtt 800 °C-ra fűtöttünk fel. Az ezt követő adagidő 30 perc volt. Ezután a kemencéből a salakot visszatartva történt meg a fém kicsapolása, majd a végsalak kikaparása. A betétet 2,5-5 mm szemcseméretű fém, illetve a kísérletek céljára előállított állandó fémtartalmú szintetikus salak jelentette.



■ 5. ábra. A forgódobos konverter kemence működés közben (a – adagolás, hevítés, b – csapolás, c – salakolás)

Ez modellezte az alumíniumhulladék olvasztásból származó primer salakokat, azonban a fázisösszetétel így állandósítható volt. A Mg-ötvezést 99,9%-os Mg-rudakkal végeztük. Az alkalmazott összetett sókat – a re-

ferenciaként használt üzemi só kivételével – a reagens tisztaságú alkotók hideg állapotban történt összekeverésével képeztük, és a fém, illetve szintetikus salak betéttel együtt adagoltuk a 800 °C-ra előmelegített kemencébe.



6. ábra. A szemcsés Al-fém minta (a), szintetikus olvasztási salak (b)

Az olvasztásokhoz használt fémhulladékot a primer salakok kezelésével kapott végsalakok pofás törőgépben történő aprítása és azt követő szitálás után kapott 2,5–5 mm szemcseméretű fémes frakció jelentette. A szintetikus salakok adagjait három szemcseméretcsoport képezte, és minden adagba azonos mennyiségű került az egyes frakciókból. A nyersanyagokat szemlélteti a 6. ábra.

### 2.1. A fémhulladékok olvasztása során alkalmazott kezelősók hatékonysága

A hatékonyság legfontosabb indikátoraként a csapolt fémkihozatalt tekintettük. Különböző kloridos sókeverékek alkalmazását vizsgáltuk meg. Referenciaként, a szokásos (közelítően 67% NaCl – 6% KCl – 5% CaF<sub>2</sub>) összetételű üzemi kezelősó is szerepelt a kísérleti anyagok között. A vizsgált sók termodinamikai stabilitását és gőznyomását mutatja a 7. ábra. A termodinamikai számításokhoz a HSC Chemistry 7.19 szoftvert használtuk [7].

A három vizsgált kloridos só képződési normál szabadentalpia-változása közel azonos, és a termodinamikai sta-

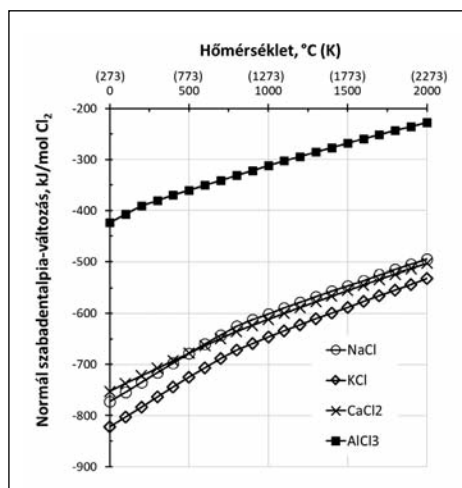
bilitásuk igen erős. Mindegyik só lényegesen stabilabb az AlCl<sub>3</sub>-nál, tehát az Al nem lesz képes nagymértékben redukálni ezeket a komponenseket. Meg kell említeni azonban, hogy a kemencében lokálisan az igen kis Al-szemcsék felületén képesek olyan koncentrációs viszonyok kialakulni, amely során fémes Na nyomokban redukálódhat az Al-olvadékba. Azonban ennek mértéke meglehetősen kicsi, a beoldódott Na-ot a modern klórgázos olvadéktisztító eljárások képesek eltávolítani. Továbbá, a NaCl és KCl gőznyomása közel azonos. Azonban a CaCl<sub>2</sub> gőznyomása az Al-olvasztás hőmérsékletén nagyon kicsi, így ilyen szempontból mindenképpen előnyös kezelősónak minősíthető, mivel a párolgása elhanyagolható.

Fontos a kezelősó-komponensek ára is, amit az 1. táblázat mutat.

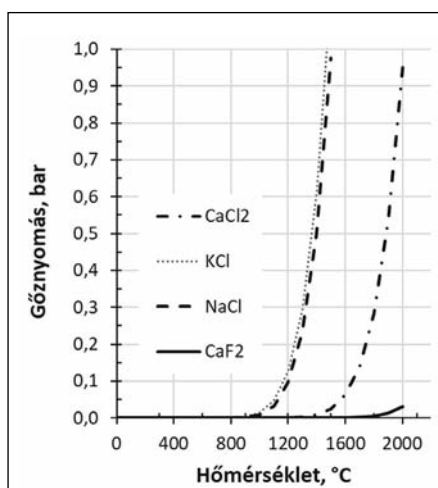
1. táblázat. A vizsgált sókeverékekhez használt kloridos sók ára és olvadáspontja a „www.statista.com” honlap adatai szerint

Komponens	NaCl	KCl	CaCl <sub>2</sub> (90-95%)	CaF <sub>2</sub>
Ár, Ft/tonna	19840	75000	32000	90000
Olvadáspont, °C	801	770	772	1418

A kloridok közül a KCl meglehetősen drága. A CaF<sub>2</sub> a legdrágább, azonban ebből általában ~ 5%-nál nem tartalmaz többet a kereskedelmi sókeverék. Ez a fémolvadék és az oxidos fázis jobb elkülönítését segíti, és az optimális mennyisége 5% alatt van a sókeverékben [5]. A 8a ábrán látható a NaCl–KCl egyensúlyi fázisdiagram. Ebben az eutektikus hőmérséklet 657 °C, azonban ez 60% NaCl + 40% KCl esetén érhető el, ami a viszonylag sok KCl miatt meglehetősen drága lenne. A KCl-nak olcsóbb, sőt hatékonyabb alternatívája lehet azonban a CaCl<sub>2</sub>. A 8b ábra szerint 32% NaCl + 68% CaCl<sub>2</sub> összetételű elegyben 504 °C az eutektikus hőmérséklet. Azonban a 70% NaCl + 30% CaCl<sub>2</sub> összetételű elegy likvidusz hőmérséklete 730 °C, ami csupán 5 °C-kal nagyobb, mintha KCl-ot alkalmaznánk a NaCl mellett. Mivel a téli útkezelésben is használt CaCl<sub>2</sub> olcsóbb só, mint a KCl, használata előnyös lehet, amennyiben jó fémkihozatal érhető el vele.

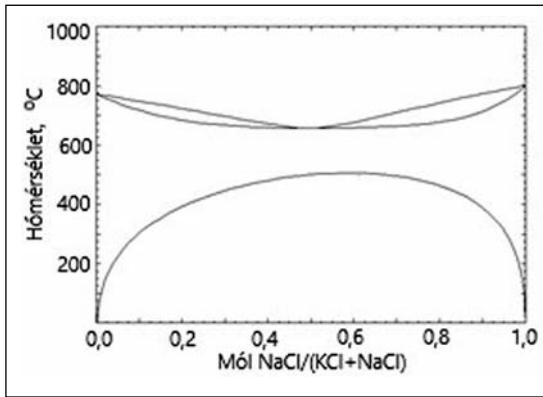


a)

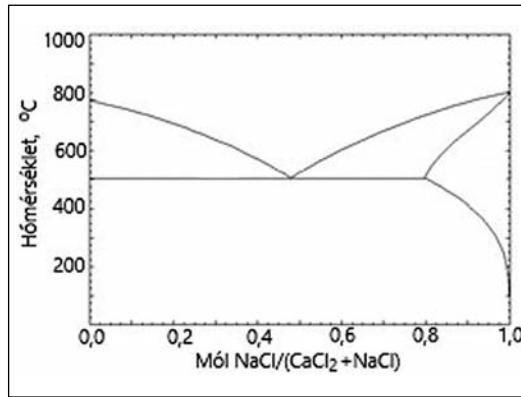


b)

7. ábra. A NaCl, KCl és a CaCl<sub>2</sub> sók képződési normál szabadentalpia-változása (a) és a gőznyomásuk hőmérsékletfüggése (b)

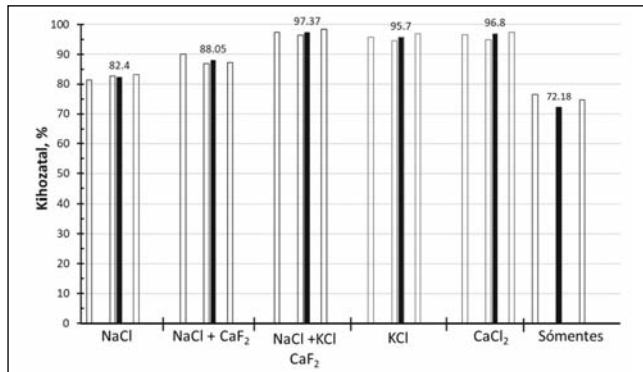


a)



b)

8. ábra. A KCl–NaCl (a) és NaCl–CaCl<sub>2</sub> (b) rendszerek binár fázisdiagramjai



9. ábra. Szemcsés fémhulladék olvasztásának a kihozatala különböző sókeverékek jelenlétében (só/fémhulladék tömegarány 20%)

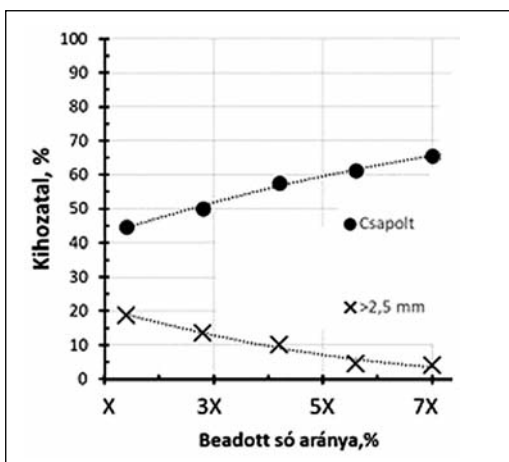
csökkenti a sóolvadék viszkozitását. A különféle sókkal végzett fémhulladékolvasztások csapoltfém-kihozatalát mutatja a 9. ábra.

Látható, hogy a sómentes olvasztással a legrosszabb a kihozatal, hiszen ebben az esetben az alumíniumrészecskék felületét elzárja az erősen kötődő és a fémcsepp kialakulása után is még záró burkot képező oxidréteg. Az alumínium és a sóolvadék közötti nedvesítési reakció a felületi oxidréteg repedéseit kihasználva segít az oxidburokból kiszabadulásban és a cseppek egyesülésében. Ez a koaleszcenciát segítő hatás alapvetően segíti a salaktól elválasztható fémolvadék hatékony kialakulását, azonban az oxidáló atmoszféra

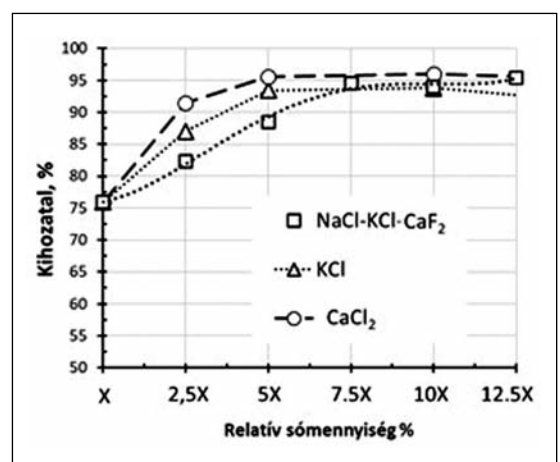
jelenlétében a finom fémcseppek felületének a megtisztulása ellentétes eredményre, vagyis a cseppek gyors oxidációjára is vezethet [8–10]. Ezt mutatja az erősen fluoridos „tisztító-sókkal” az olvasztókemencékből eltávolított salakok üstben történő tárolása során fellépő öngyulladás és fokozott leégés jelensége is. Már az egyszerű és olcsó NaCl is ~ 10%-os kihozatali növekedést képes okozni. Azonban a NaCl olvadáspontja 801 °C, így a hatását csupán az adagidő vége felé képes kifejteni, amikor már elég nagy a hőmérséklet az olvadáshoz. Így a fémes felületek oxidációval szembeni fizikai védelmét nem képes számottevően ellátni. A sós végsalag ebben az esetben sűrű masszáz-szerű. Szintén hasonló a helyzet a NaCl–CaF<sub>2</sub> sókeverékkel végzett olvasztás során is, azonban ebben az esetben 6%-kal jobb fémkhozatal volt tapasztalható. A vizsgált összetételű NaCl–CaF<sub>2</sub> só likvidusz hőmérséklete 763 °C volt. Ez a keverék alig tekinthető költségesebbnek az egyszerű NaCl-nál, így előnyös lehet a használata. A KCl önmagában túl drága, azonban a CaCl<sub>2</sub> is hasonlóan jó kihozatalt eredményez. Amennyiben a vízmentes változat helyett a dihidrát is alkalmazható, érdemes lehet üzemi szinten kipróbálni. Ez a fluoridmentes kezelő jó alternatívája lehet a hagyományos NaCl–KCl–CaF<sub>2</sub> keveréknek.

A kihozatal maximalizálása érdekében a szükséges mennyiségű kezelő meghatározása nem egyszerű – főleg salakok feldolgozása esetében –, ugyanis ez nagymértékben függ az oxidos fázis arányától is. A 7. ábra mutatja a salakok és fémhulladékok olvasztásánál a fémkhozatal változását az adagolt só és a salak, illetve fémhulladék mennyiségi aránya függvényében. A primer salakból történő fémkkiolvasztásra vonatkozó 10a ábrán a szokásos üzemi só, a szemcsés fémhulladék olvasztását mutató 10b ábrán pedig emellett a tiszta KCl és a CaCl<sub>2</sub> adagolása is szerepel. A primer salak kiolvasztásánál jelentős mennyiségű oxidos maradvány is keletkezett, amely melléktermékben a fizikailag bezárt fémtartalmat az aprítás után

A kihozatal maximalizálása érdekében a szükséges mennyiségű kezelő meghatározása nem egyszerű – főleg salakok feldolgozása esetében –, ugyanis ez nagymértékben függ az oxidos fázis arányától is. A 7. ábra mutatja a salakok és fémhulladékok olvasztásánál a fémkhozatal változását az adagolt só és a salak, illetve fémhulladék mennyiségi aránya függvényében. A primer salakból történő fémkkiolvasztásra vonatkozó 10a ábrán a szokásos üzemi só, a szemcsés fémhulladék olvasztását mutató 10b ábrán pedig emellett a tiszta KCl és a CaCl<sub>2</sub> adagolása is szerepel. A primer salak kiolvasztásánál jelentős mennyiségű oxidos maradvány is keletkezett, amely melléktermékben a fizikailag bezárt fémtartalmat az aprítás után



a)



b)

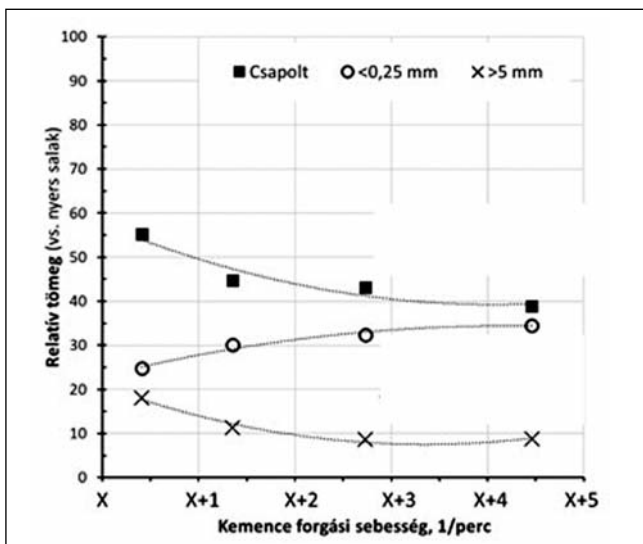
10. ábra. Különböző mennyiségű só adagolásának hatása a fémkhozatalra a salak NaCl–KCl–CaF<sub>2</sub> sóadalékos (a), illetve szemcsés fémhulladék többféle sóadalékos (b) olvasztásánál

kapott ellapult durva szemcsés (> 2,5 mm) frakció tömege jelzi.

Látható, hogy primer salakból történő alumíniumkiolvastás esetében a fémkihozatal fokozatosan növekszik a beadagolt sómennyiséggel együtt, míg a végsalokban található 2,5 mm-nél nagyobb fémdarabok mennyisége csökken, tehát a fémcseppek egyesülése is javul. Az eredmények alapján, a só adagolási arányát addig érdemes növelni, ameddig a fémkihozatal növekedése kompenzálja az adalékanyag költségét. Hasonló a helyzet a fémhulladékok esetében, azonban itt az ötszörös mennyiségnél több só adagolása már csak a NaCl-KCl-CaF<sub>2</sub> keverék esetében eredményezett kihozatali növekedést. Megfigyelhető továbbá, hogy a legjobb kihozatal a CaCl<sub>2</sub>-dal volt tapasztalható bármely mennyiség esetében is. Ezt követte a KCl. E két só olvadéka kis viszkozitású, jól nedvesíti a fémeket is, így nemcsak az oxidokat különíti el hatékonyan, de az oxidációval szemben is jól véd [11]. Mivel fémhulladék esetén lényegesen kevesebb az oxid a kemencében, így a fluorid felületi feszültség módosító hatása kevésbé fontos. Ilyenkor a NaCl-KCl keverékhez az adagolt CaF<sub>2</sub> kedvezőtlen hatása érvényesülhet, hiszen nemcsak a likvidusz hőmérsékletet emeli, de a viszkozitást is növeli.

## 2.2. A kemence forgási sebességének a hatása

A kemence forgatásának hatása alapvető fontosságú lehet, hiszen az anyag mozgása segítheti elő a diszpergált fémcseppek egyesülését és a salakmátrixtól való elkülönülését. A kemence forgatásának hatását salakok olvasztásánál vizsgáltuk. A kemencébe adagolt só mennyisége a beadott primer salak tömegére vonatkoztatva 20% volt. A kihozatal változása különböző sebességgel forgatott kemencében a 11. ábrán látható.



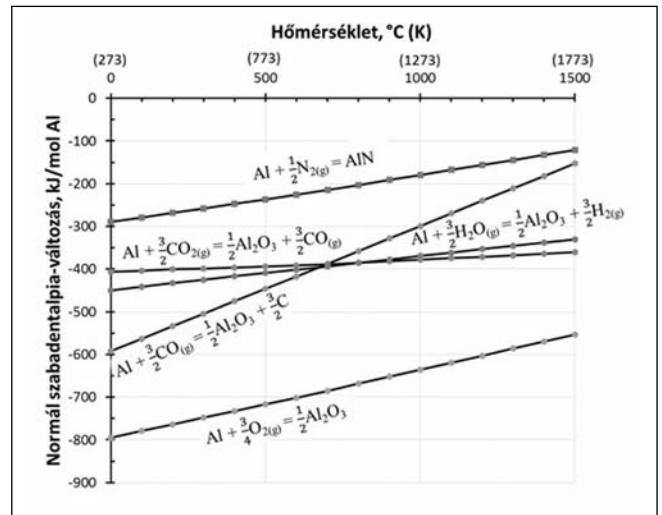
11. ábra. A forgatási sebesség kihozatalra gyakorolt hatása (üzemi só, 20% adagolási arány)

Megállapítható, hogy a forgatási sebességet az alapértékről növelve a csapolható kihozatal egyre csökken. Ezt támasztja alá az oxidos maradvány („végsalak”) örleményében a 0,25 mm alatti teljesen oxidként tekinthető frakció

tömegének növekedése és az 5 mm feletti fizikailag megragadt, de teljesen fémesnek tekinthető szemcsék csökkenése is. Ennek oka, hogy a gyorsabb mozgás során az egyes fémcseppek felületén az oxidhártya időegység alatt többet sérül, így az oxidáció mértéke is nagyobb lehet. Továbbá, a gyors hőpölygéssel az oxidos felületű fémcseppek egyre inkább hajlamosak a diszpergálódásra.

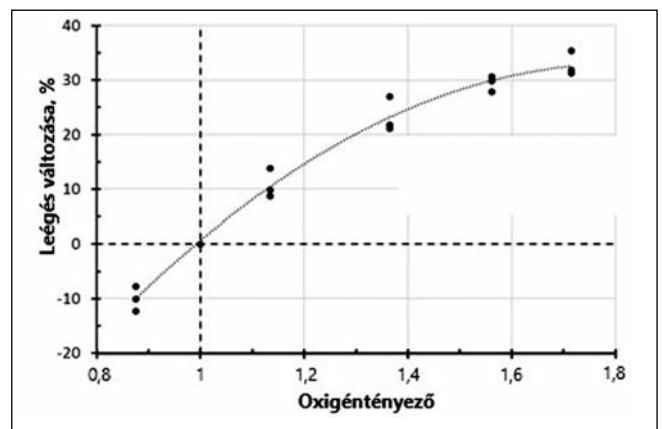
## 2.3. A tüzelés beállítási paraméterek hatásai

Az alumíniumot – nagy reakcióképessége miatt – az O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O és a N<sub>2</sub> is egyaránt képes oxidálni. Erre utalnak az oxidációs reakciók erősen negatív normál szabadentalpia-változásai. Ezek különböző hőmérsékletekre számított értékeit mutatja a 12. ábra.

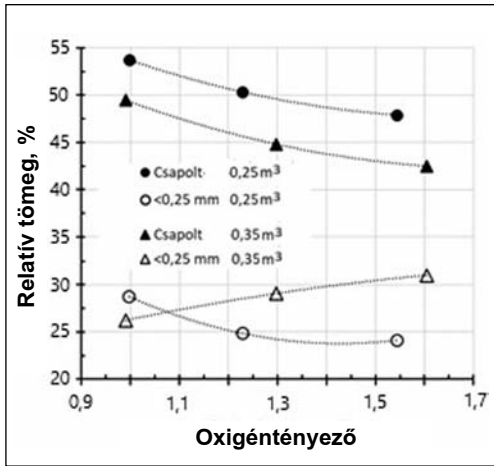


12. ábra. Az Al különböző reagensekkel történő reakcióját kísérő normál szabadentalpia-változás hőmérsékletfüggése

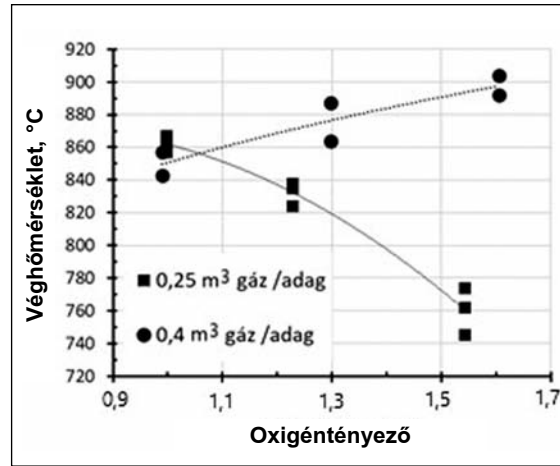
Az olvasztás hőmérsékletén az O<sub>2</sub> okozta reakció jár a legnagyobb ΔG° változással, ezt követi a N<sub>2</sub>, majd a H<sub>2</sub>O, végül a CO<sub>2</sub> és CO. Csupán az oxidáció szempontjából ezért a nagy oxigénfelesleg alkalmazása káros. Látható, hogy a földgáz égéstermékei is képesek az alumíniumot oxidálni. Az égési levegő dúsítása oxigénnel a lánghőmérsékletet és a láng terjedési sebességét képes hatékonyan növelni [4]. Ugyanakkor a túlzott mennyiségben befúvatott,



13. ábra. Az alumíniumfördő viszonylagos leégése az oxigéntényező függvényében (800 °C, 15 perc)

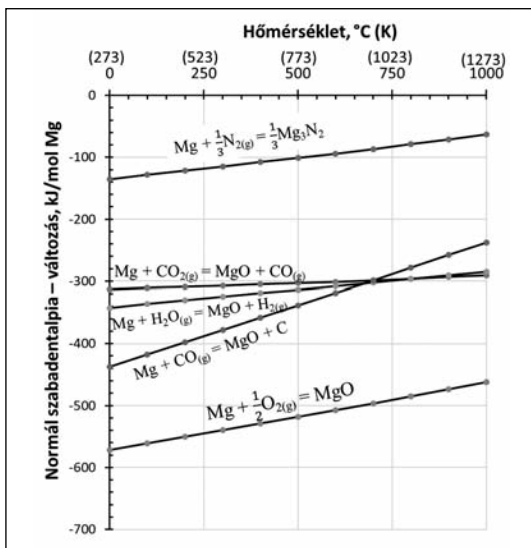


a)

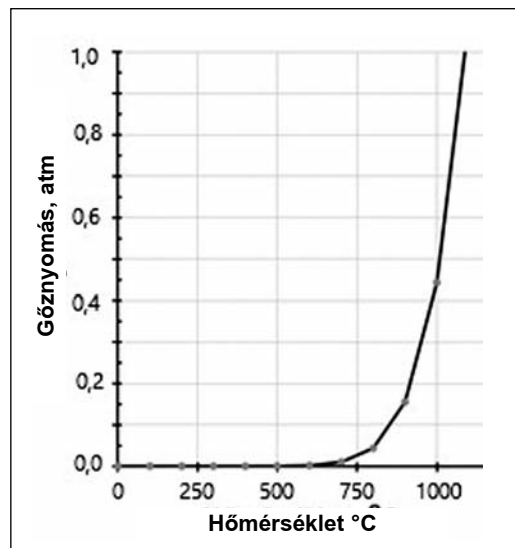


b)

■ 14. ábra. Az oxidáns/anyag hatása a fémkivételre különböző hevítési intenzitás (0,25 m³, illetve 0,35 m³ gáz/30 perc) mellett (a), és a csapolási salakhőmérsékletek (b)



a)



b)

■ 15. ábra. A különböző reagensekkel történő Mg-oxidáció normál szabadentalpia-változása (a) és a Mg gőznyomásának (b) hőmérsékletfüggése

kihasználatlanul maradó oxigén a lánghőmérsékletet csökkenti. Így nemcsak közvetlenül fokozhatja az alumínium leégését, de a csökkent lánghőmérséklet miatt megnövekedő adagidő mellett a leégési reakció hatása hosszabban is érvényesül. Ennek a tisztázására első lépésben megvizsgáltuk a forgó dobkemencében tartott tiszta Al-fürdő oxidációs veszteségének és az oxidáns/anyag arány hatására az oxidáns/anyag arány hatása látható a 13. ábrán. A leégési fémvesztést az adott tömegű fémfürdő felületéről leszedett salakból örölve és szitálva kapott 0,25 mm alatti szemcseméretű frakció tömegével közelítettük. Ennek a sztöchiometrikus beállításhoz kapott értéke (800 °C-on, 15 perces hőntartással) 0,27% volt.

A sztöchiometrikusnál kevesebb oxigénnel táplált égés tökéletlen, de a kemenceatmoszférában így is jelen lévő CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O a 12. ábra szerint képes az alumíniumot oxidálni. Az oxidáció mértéke jelentősen növekszik az oxidáns/anyag arányával. Ez alapvetően a megnövekedett O<sub>2</sub>-kínálatnak

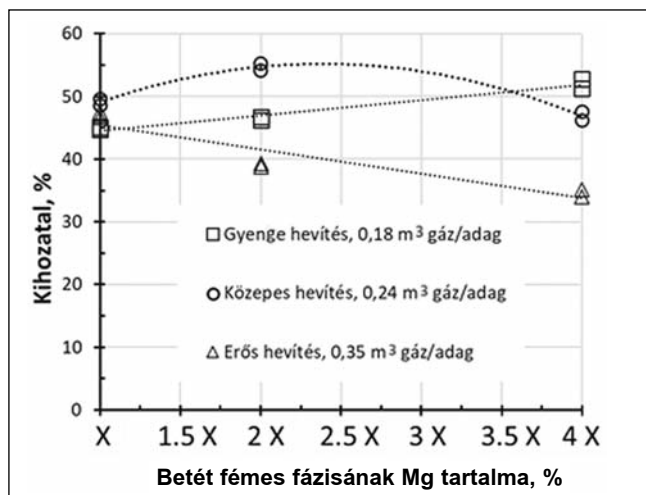
az eredménye. Mindegyik reakció jelentősen exoterm, tehát a felszabaduló hő is növeli az oxidáció sebességét. A 14a ábra mutatja primer salakból kioldott fém relatív mennyiségét (a beadott salaktömegre vonatkozóan), illetve az oxidos maradvány őrlése és szitálása után kapott 0,25 mm alatti szemcseméretű frakció relatív tömegét.

A kivétel csökken az oxidáns/anyag növekedésével mind a 0,25 m³ gázt, mind pedig a 0,35 m³ gázt az égőn keresztül a 30 perces olvasztás alatt felhasználó „gyenge” és „erős” hevítések során. Azonban látható, hogy az oxidos maradvány őrlésének a < 0,25 mm-es frakciója – azaz gyakorlatilag a leégés – mértéke gyenge hevítés mellett egy ideig csökken, majd beáll egy értékre, míg

erős hevítésnél folyamatosan növekszik. A 14b ábra mutatja, hogy a gyenge hevítés esetén a betét hőmérséklete erősen csökken az oxidáns/anyag arányával. Ez az oxidáció mértékét is csökkentheti, de a só olvadását is lassítja. Végül a kivétel ennek hatására csökken. Erősebb hevítés esetében a betét képes továbbra is intenzíven melegedni, de az oxidáció mértéke is fokozódik. Így ebben az esetben is csökkent a fémkivétel.

#### 2.4. A Mg-koncentráció hatása

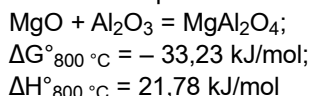
A 15. ábra mutatja a magnézium oxidációs reakcióira számított normál szabadentalpia-változások, valamint a tiszta magnézium gőznyomásának hőmérsékletfüggését. A Mg-oxidáció termodinamikai hajtóereje – a 12. és a 15. ábrák megfelelő görbéi szerint – felülmúlja még az alumíniumét is [12]. Az O<sub>2</sub> mellett természetesen a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O gázok is képesek oxidálni. Sőt, az olvasztási hőmérséklet közelében már érzékelhető a Mg gőznyomása, így a párolgása



■ 16. ábra. A fémkihozatal változása a betét Mg-tartalmával (adagidő 30 perc, 20% üzemi sóadagolás)

is felléphet, majd gőz állapotban még intenzívebben oxidálódik.

A keletkező MgO képes tovább reagálni az  $Al_2O_3$ -dal az alábbi exoterm reakció szerint még erősebben kötött spinell oxidot képezve:



Tehát az olvasztás során a betét eredeti Mg-tartalma jelentősen csökkenhet, miközben az intenzívebb hőfejlődés az oxidációs reakciók sebességét fokozza. A fémkihozatal változása a betét Mg-tartalmával különböző hevítési intenzitás mellett látható a 16. ábrán.

Látható, hogy erős hevítés esetén a Mg-tartalom folyamatos oxidációja és az ebből felszabaduló többlet hő okozta Al-leégés miatt a kihozatal folyamatosan csökken. Ellentétben, gyenge hevítés esetén a Mg-tartalommal növekszik a kihozatal is, hiszen ebben az esetben az oxidáció okozta hő még kedvező is lehet a só olvadása és a betét fizikai állapotának a javítása folytán. Közepes hevítési intenzitás esetében már csak egy bizonyos mennyiségig növekszik a kihozatal, majd csökkenést mutat. Tehát a Mg-tartalom és hevítés együttes optimalizálása révén is növelhető a fémkihozatal.

### 3. Összefoglalás

Az olvasztás során alkalmazott hagyományos NaCl-KCl-CaF<sub>2</sub> típusú só helyett olcsóbb és ugyancsak jó kihozattal adó NaCl-CaF<sub>2</sub> vagy NaCl-CaCl<sub>2</sub> keverékek, vagy akár a tiszta CaCl<sub>2</sub> só alkalmazása előnyös lehet a technológiai költségek csökkentése és a fémkihozatal javítása szempontjából is. A kezelős adagolását a primer salakokból történő Al kiolvasztásnál érdemes a gazdaságosság határáig növelni, míg apró szemcsés hulladékfém olvasztásánál csupán egy bizonyos mértékig képes kihozatali növekedést

eredményezni. A CaCl<sub>2</sub> ebben az esetben is előnyös lehet. A kemence tüzeléstechnikája jelentősen képes a fémkihozattal befolyásolni, a fölösleges levegő, illetve az oxigén bevétele az olvasztási kihozattal nagymértékben csökkenti. A kemence forgatási sebessége szintén képes az olvasztási hatékonyságot befolyásolni. A túl nagy fordulatszám nem előnyös. A betét Mg-tartalmának az oxidációja akár hasznosítható is az olvasztás során, amennyiben az adott kemence üzemeltetése a gyorsabb folyamatokhoz igazítva kerül optimalizálásra.

### Irodalom

- [1] T. Kékesi: Primer és szekunder alumínium-metallurgia, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2019.
- [2] I. B. Illés, T. Kékesi: The Effect of Mg-Content on the Efficiency of Metal Recovery by the Thermo-Mechanical Treatment of Aluminium Melting Dross, Miskolc: In: MultiScience – XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. University of Miskolc, Miskolc-Egyetemváros. ISBN 9789633581773, 2019.
- [3] G. Galevsky, V. Rudneva, V. Aleksandrov: „Current state of the world and domestic aluminium production and,” in IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2018.
- [4] E. Schlesinger: Aluminum recycling, CRC Press, 2017.
- [5] K. Krone, Aluminium Recycling, Düsseldorf: VDS, 2000.
- [6] H. Gripenberg, M. Mullerthann, N. Jager: „Salt-free dross processing with Alurec – two years experience”, in Light Metals, 1997.
- [7] „HSC Chemistry” [Online]. Available: www.hsc-chemistry.net.
- [8] L. Martin-Garin, A. Dinet, J. M. Hicter: „Liquid-liquid interfacial tension measurements applied to molten Al-halide systems”, Journal of materials science, 1. kötet 14, pp. 2366-2372, 1979.
- [9] I. Illés, M. Sassi, H. Zakiyya, T. Kékesi: „The fundamental kinetic characteristics of aqueous dissolution of chloride and fluoride salts from secondary aluminium dross”, in Miskolci Egyetem, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, 2019.
- [10] R. Roy, Y. Sahai: „Wetting behaviour in Aluminium-Alumina-Salt systems,” Materials Transactions JIM, 1. kötet 38., 1. szám 6., pp. 571-574, 1997.
- [11] R. Bolivar, B. Friedrich: „The influence of increased NaCl: KCl ratios on metal yield in salt bath smelting processes for aluminium recycling,” World of Metallurgy, 1. kötet 66., 1. szám 6., pp. 366-371, 2009.
- [12] T. Kékesi, I. B. Illés: A magnézium és a titán előállítása, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2019.

# Hőálló alumíniumötvözet távvezeték-alapanyagok gyártása az INOTAL Zrt.-nél

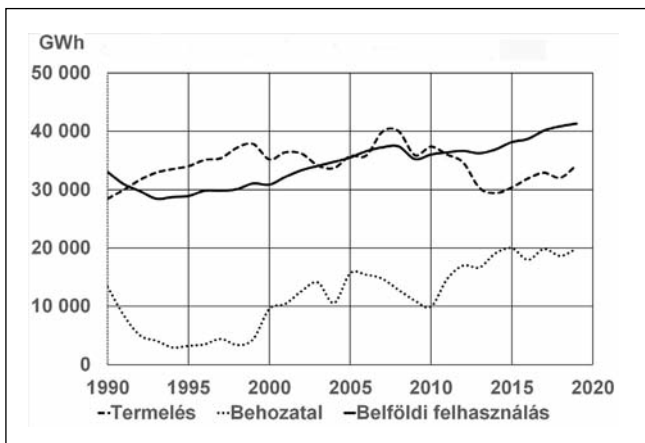
**A villamos energia iránti igény világszerte növekszik. Az elektromobilitás megjelenésével megjelentek a nagy tárolókapacitású akkumulátorok, és az ezek gyors feltöltése iránti igény. A gyors töltés nagy villamosteljesítmény-igényt jelent, amivel emelkedni fog a villamos hálózaton hő formájában leadott veszteség is. Olyan hőmérsékletekről van szó, amit az észszerű méretű, tömegű hagyományos vezetékanyagok nem viselnek el. Ezek alapján az INOTAL Zrt. a különleges minőségű hőálló alumíniumötvözet távvezeték-alapanyagok iránti igény növekedését valószínűsíti, felkészült ezek gyártására. A nemzetközi IEC 62004:2009 szabvány szerinti alumínium-cirkónium ötvözet AT3 típus gyártási technológiájának kidolgozása befejeződött, a nagysorozatú gyártás előkészítése folyamatban van.**

**Az AIZr AT1 termék már sorozatgyártásban van, 1847 tonna a 2021 április végéig értékesített mennyiség.**

## Az energiaigény

A minket körülvevő kényelem, és az annak fokozása iránti töretlen igény emberi természetünkből fakad. Tárgyaink, eszközeink egyre tökéletesednek, a járművek és hűtőszekrények energiafogyasztása egyre alacsonyabb, a fejlesztés folyamatos.

Az energia iránti igény azonban összességében inkább nő, mint csökken. Hazai viszonylatban jól szemlélteti ezt a Központi Statisztikai Hivatal villamosenergia-mérleg kimutatása (1. ábra). Az adatok alapján a villamosenergia-felhasználás 33010 GWh volt 1990-ben, ami 41305 GWh értékre nőtt 2019-re. A megjelenített termelés- és behozatalgörcbék trendje is elgondolkodtató, azonban ezek elemzése túlmutat a cikk keretein.



■ 1. ábra. Villamosenergia-mérleg Magyarországon [1]

Szintén egy másik dolgozat témája lehet a teljes felhasználáson belül az ipari és lakossági felhasználás aránya, az ipar energiaigényének növekedése, vagy csökkenése (alumíniumkohók, cukorgyárak, vas- és acélkohászat stb. a mérleg egyik serpenyőjében). Nem mehetünk el szótlánul a demográfiai változások mellett sem, ugyanis az ország lélekszáma az 1990-ben számlált 10,375 millió fő szintről 2019-re lecsökkent 9,773 millió főre.

*Németh Tamás szakmai életrajzát 2018/5-6. számunkban közzöltük.*

A harminc év alatt az egy főre eső villamosenergia-felhasználás az 1990-es 3,182 MWh/fő értékről 4,226 MWh/fő szintre emelkedett. Nincs okunk azt gondolni, hogy a tendencia világviszonylatban ezzel ellentétes lenne. A témát valamilyen módon lépten-nyomon érezkelhetjük magunk körül, ha máshol nem, a médiában (megújuló energia programok, németországi bányanyitások, gázvezetékek, atomerőmű építések stb.).

## Az elektromos autók elterjedése

A villamosenergia-felhasználás új területe az elektromobilitás, ami az autók tekintetében valóban nulla elsődleges kibocsátással jár. Az akkumulátor töltéshez szükséges villamos energia előállítása az adott ország erőmű választékának megfelelően lehet zöldebb, vagy kevésbé zöld, mindenesetre az elektromos autók nem füstölnek, jobb a levegő az utcán, a településen. Az elektromobilitás terjedését egyesek lassúnak találják, és azt mondják a fogyasztói tudatosság szintje alacsony. Mások a villanyautók magas ára és a töltőhálózat miatt panaszkodnak. A növekedés viszont tény, és ez villamosteljesítmény-igény növekedéssel jár. A lehető leggyorsabban szeretnénk tölteni az akkumulátorokat.

A villamosteljesítmény-igény növekedése az erőműveken túl jelentős hatással lesz a vezetékhálózatra is. Képzelnék el, hogy a teljes hazai személygépkocsi-állomány ami a tavalyi év utolsó napján 3 920 799 darabot számlált [3], elektromos autókból állna, és ezeket az autókat éjszaka töltenék fel.

Ebben a gondolat kísérletben a töltés eszközéül vegyünk példának egy kicsi, 7,4 kW teljesítményű fali töltőt. Az autók éjszakai egyidejű töltése e módon 29014 GW teljesítményt igényelne, ami a hazai erőművi beépített teljesítmény (1. táblázat) közel háromszorosa. A beépített teljesítményben egyébként 14% arányt képvisel a fotovoltaiikus (naperőmű) csoport, ami éjszaka nem termel.

Hosszasan lehetne latolgatni a töltés egyidejűségét, vagy a járműpark fokozatos cseréjének lehetőségét, de a számok nagyságát nézve az a benyomás alakul ki, hogy a teljes elektromobilitás így megvalósíthatatlan.

Az autók üzemanyagát illetően egy másik megoldás lehet a hidrogén, de ez a változat is óriási villamos-

**1. táblázat.** Erőművi beépített teljesítőképesség-adatok változása primer források szerint, GW [4]

Primer forrás	2016	2018	2020
Nukleáris	2 000	2 013	2 013
Szén, lignit, együtt-tüzelés	1 166	1 166	1 166
Szénhidrogén gáz	4 194	4 156	4 114
Szénhidrogén olaj, dízel	410	412	421
Fotovoltaikus	29	336	1 407
Szél	329	325	323
Víz	56	56	58
Biomassza + egyéb	365	379	345
Hulladék	28	36	59
Geotermikus	0	0	3
<b>VER BT Summa</b>	<b>8 577</b>	<b>8 878</b>	<b>9 909</b>

**2. táblázat.** Az AlZr vezeték fajlagos ellenállása és hőállósága az MSZ EN 62004:2010 szabvány szerint

Típus	AT1	AT2	AT3	AT4
Max. fajlagos ellenállás, nΩm	28,735	31,347	28,735	29,726
40 év folyamatos üzemi hőmérséklet, °C	150	150	210	230
400 óra folyamatos üzemi hőmérséklet, °C	180	180	240	310
1 óra teszhőmérséklet, °C	230	230	280	400

**3. táblázat.** Az AlZr vezeték mechanikai tulajdonságai az MSZ EN 62004:2010 szabvány szerint

Típus	Névleges átmérő, mm	Min. szakítószilárdság, MPa	Min. nyúlás 250 mm jeltávon, %
AT1	- 2,00	171	1,3
	2,00 2,30		1,4
	2,30 2,60		1,5
	2,60 2,90	166	1,6
	2,90 3,50	162	1,7
	3,50 3,80		1,8
	3,80 4,00	159	1,9
	4,00 4,50		2
AT2	- 2,60	248	1,5
	2,60 2,90	245	1,6
	2,90 3,50	241	1,7
	3,50 3,80		1,8
	3,80 4,00	238	1,9
	4,00 4,50	225	2
AT3	- 2,30	176	1,5
	2,30 2,60	169	
	2,60 2,90	166	1,6
	2,90 3,50	162	1,7
	3,50 3,80		1,8
	3,80 4,00	159	1,9
	4,00 4,50		2
AT4	- 2,60	169	1,5
	2,60 2,90	165	1,6
	2,90 3,50	162	1,7
	3,50 3,80		1,8
	3,80 4,00	159	1,9
	4,00 4,50		2

energia-igényt gerjeszt. Az amerikai Nikola Motors cég tervezett hidrogén töltőállomásain 1 kg hidrogén helyszínen történő előállításához 55 kWh elektromos energia felhasználásával számolnak [5].

Mindzekekkel és mindennel összefüggően a világ halad, a megfigyelhető tendencia az, hogy a villamosenergia-igény és vele a hálózati terhelések és csúcsterhelések mértéke nő.

### A villamos energia szállítása, vezetékek

Az erőművekben előállított villamos energiát nagyfeszültségű távvezetékrendszereken juttatják el a felhasználási helyek közelében elhelyezett transzformátorállomásokhoz, állomásokhoz, majd szintén egy vezetékekből álló elosztórendszeren keresztül valósul meg a fogyasztók ellátása. A fogyasztók igénye évszaktól és napszaktól függően változó, és alapvető elvárás a folyamatos szolgáltatás, aminek egyik feltétele, hogy a legnagyobb áramterhelés hőhatása se károsítsa a vezeték.

Ez alapesetben megvalósítható nagyobb vezeték-keresztmetszettel, de ezen az úton a távvezeték tömegének növekedésével és a vele járó többlet nehézségekkel, költségekkel kell számolni. Egy másik megoldás, ha a vezeték – alapvetően alumínium – anyaga válik alkalmassá a nagyobb áramterheléssel járó magasabb hőmérséklet elviselésére.

### Az INOTAL Zrt. víziója

A különleges vezetékanyagok alkalmazásának tendenciája erősödni látszik, a hálózati terhelések és csúcsterhelések növekedése az azoknak ellenálló, arra a célra kitárolt, arra méretezett hőálló alumíniumötvözet huzal szabadvezeték termékek iránti piaci igényeket növelni fogja. Ezek az anyagok egyébként évtizedek óta léteznek (2. táblázat), kémiai összetételük nem bonyolult, egy, cirkóniummal legfeljebb 0,4% mértékig ötvözött alumíniumra kell gondolni. Ami komplikáltabb, az a durvahuzal-alapanyag gyártása során a megfelelő olvadákképzés, az öntve-hengerlés és a hőkezelés. A technológia költségeit fokozza a magas nemmegfelelőségi arány, ezért az AlZr szabadvezetékek alkalmazása az eddigiekben viszonylag drága volt, a társadalom energiaigényének intenzív növekedése azonban más összefüggésbe helyezi a költségeket.

A várható piaci változásokra tekintettel az INOTAL Zrt. úgy döntött, hogy felkészül az MSZ EN 62004:2010 szabványban honosított nemzetközi IEC 62004:2009 szabvány szerinti alumínium-cirkónium ötvözet AT1 és AT3 huzaltípusok durva huzal alapanyagának előállítására.

Az AlZr AT3 durvahuzal-kategória gyártásfejlesztése egy, a témában jártas, számos publikációt megjelentető tudományos műhellyel való szerződéses együttműködésben valósult meg.

Az AlZr AT1 durva huzal esetében a gyártási technológia kidolgozása az INOTAL Zrt. saját szakembereinek önálló munkája, ezért erről esik szó bővebben az alábbiakban.

## A minőségi követelmények

A fejlesztési munka során a 2. táblázat szerinti hőállóság és fajlagos villamos ellenállás követelményein kívül a mechanikai tulajdonság előírások (3. táblázat) játszottak központi szerepet.

A feladat jobb megértése érdekében szükséges a szabványban megfogalmazott követelmények, úgymint

- megjelenés,
- átmérő,
- szakítószilárdság,
- nyúlás,
- villamos ellenállás,
- hőállóság 1 óra,
- tekerceselhetőség (sodorhatóság)

közül a hőállóság, valamint a mechanikai, technológiai tulajdonságoknak egymással, illetve a fajlagos villamos ellenállással való összefüggéseinek részletes magyarázata.

## A hőállóság

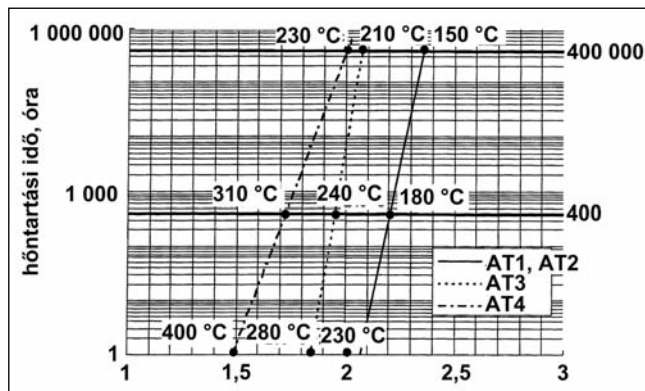
Hőállóság alatt tulajdonképpen szakítószilárdságot kell érteni, egészen pontosan annak hőterhelés hatására bekövetkező csökkenését. A vezetékhez a húzás (hidegalakítás) során keményedik, szakítószilárdsága nő. Ezt a szilárdságot a sodrat és a távvezeték tervezésénél figyelembe veszik. Ha a vezeték hőmérséklete eléri a lágyulás, újrakristályosodás hőmérsékletét, akkor a benne hidegalakítással kialakított szilárdság leépül, az anyag kilágyul. Mindegy, hogy milyen okból melegedett a vezeték, az említett hőmérsékleten a lágyulás bekövetkezik. A távvezeték hőmérséklete végeredményben a benne folyó árammal négyzetesen arányos, a veszteséget a vezeték hő formájában adja át a környezetnek. Ezért a hőállóság-vizsgálat tulajdonképpen az oszlopok által tartott hőálló AlZr távvezeték folyamatosan nagy és erre szuperponált csúcsfogyasztási áramterhelésének a modellezése.

A követelmény pedig annyi, hogy a szabadvezeték-sodratot alkotó AlZr huzal a szabványban előírt eredeti szilárdságából nem veszíthet 10%-nál többet akkor sem, ha 40 év időtartamban folyamatosan a 2. táblázat szerinti viszonylag nagy – az AlZr AT3 esetén például 210 °C – hőmérsékleten üzemel a vezeték. (A hagyományos vezeték legfeljebb 80 °C hőmérsékleten üzemelhetnek.)

A huzalnak a tartós hőterhelésen kívül, szilárdságának a fentiek szerinti megőrzésével 400 óra időtartamban el kell viselnie kiugróan nagy – az AlZr AT3 esetén például 240 °C – hőmérsékletet is.

A hőállóság minőségellenőrzés során a szakítóvizsgálat-minták hőkezelése egy mintaelőkészítés művelet, ahol maga a hőmérséklet nem jelent nehézséget. Az extrém hőterhelésre előírt 400 óra kivárása sem tűnik lehetetlen feladatnak, azonban a 40 év tartós hőállóság túlmutat az átlag laborasszisztens karrierívén. Rövid, például 1 óra behatási időt kellett választani, és keresni hozzá egy olyan hőmérsékletet, ami a szakítószilárdságra gyakorolt hatásában egyenértékű. A szabványban ezt úgy oldották meg, hogy – hasonlóan más természeti jelenségekhez, ahol egy folyamat eredményének időszükséglete és a folyamat hőmérséklete között exponenciális összefüggés

van (lásd Arrhenius, reakciókinetika) – egy logaritmusos diagramra (2. ábra) felvezették az adott minőségi kategória 40 év és 400 óra követelményének pontjait, majd vették az azokat összekötő egyenesnek az 1 óra értékhez tartozó hőmérsékletét (és azt még felfelé kerekítették).



■ 2. ábra. Vizsgálati, előkészítési hőmérsékletek

Matematikai megfogalmazásban, ha

$$t \approx A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right)$$

$$\ln(t) \approx \ln(A) + \frac{B}{T}$$

$$\ln(t) \approx \ln(A) + \frac{B}{1000} \cdot \frac{1000}{T}$$

ahol:

$t$  az időszükséglet

$A$  és  $B$  az anyagra jellemző tényezők

$T$  a hőmérséklet,

akkor a 400 óra és a 40 év, valamint a hozzájuk előírt hőmérsékletek behelyettesítésével az  $A$  és  $B$  értékek számíthatók. Ezeket és az 1 óra időt kell a képletbe helyettesíteni és meg is van a keresett hőmérséklet.

## Egyéb követelmények

A többi tulajdonság közül az átmérő, a villamos ellenállás, vagy a szakítószilárdság és a nyúlás nem igényel különösebb magyarázatot, utóbbi kettőt egy normál szakítóvizsgálat keretében kell megállapítani. A húzott huzal sodorhatósága egy technológiai tulajdonság. Arra utal, hogy az elemi szál a gyártása során elszennvedett hidegalakítást, hőkezelést követően, a sodrást közvetlenül megelőző állapotában képes lesz elviselni ennek a műveletnek a többlet hajlítót, csavaró igénybevételét. A vizsgálat alapja az ISO 7802:2013 szabvány, de a közvetlenül vonatkozó MSZ EN 62004:2010 is részletesen leírja, hogy a huzalt a saját átmérőjével egyező tengelyre kell csévélni 8 szoros menetben 60 fordulat/perc sebességnél lassabban. A felcsavart huzalmenetek felületén semminemű sérülés (repedés, felszakadás stb.) nem keletkezhet, ilyen nem megengedett.

## A gyártási technológia

A feladat megoldása során a kiindulópont az, hogy a 9,5 mm átmérőjű, vagy előzetesen ilyen méretűnek feltételezett durva huzalt egy 2,0...4,5 mm mérettartományba eső

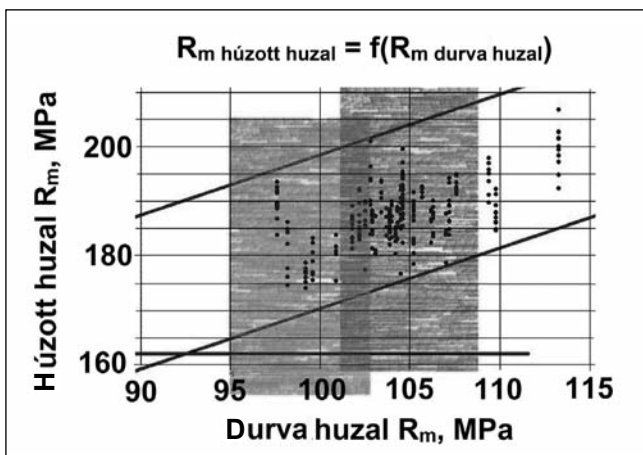
huzallá kell majd húzni. A durva huzalt olyan tulajdonságokkal kell felruházni, hogy a húzott huzallal szemben támasztott összes követelmény teljesüljön. A nehézséget az jelenti, hogy ezek a minőségi tulajdonságok egymással kapcsolatban vannak, és a gyártási paraméterek módosításával az egyik tulajdonság célzott változtatása egy, vagy több másik tulajdonság változását fogja eredményezni. A munka során két tulajdonságcsoporthoz és ezek kölcsönhatásainak vizsgálatára került sor.

### A szakítószilárdság, nyúlás és sodorhatóság összefüggései

A távvezeték-sodrothoz szükséges huzal előállítása egy hidegalakítási művelet, az eredeti durva huzal szakítószilárdság-érték az elszennvedett alakváltozás mértékétől függően növekedni fog, és el kell érnie a szabványban rögzített minimális értéket. Ebben még semmi különleges nincs, más huzaltermékeknél is ez az elv érvényesül.

Ami eltér más huzalok eseteitől az az, hogy a cirkónium-ötvöztetés hatására a durva huzal szakítóvizsgálatban mért nyúlása eleve kisebb, és a húzás közbeni keményedés a nyúlás csökkenésében a szokásosnál intenzívebb hatású. A nyúlás és a tekerceselhetőség eredmények eleinte kéz a kézben jártak, nevezetesen egyik sem felelt meg. A durva huzal hengerlési sebességének változtatásával sikerült a húzott huzal nyúlásán javítani, de a nemmegfelelőségek aránya elfogadhatatlanul magas volt. A húzott huzal szakítószilárdság-adatok statisztikai elemzése és ábrázolása (3. ábra) során derült fény arra, hogy az ábrán jobbra eső téglalappal fedett, nagyobb szilárdságú pontok nyúlás nemmegfelelőség gyakoriságaihoz képest a bal oldali téglalappal fedett pontok nyúlásértékei elfogadható nemmegfelelőség arányt mutatnak. A durvahuzal-alapanyag szakítószilárdság előírás tekintetében a korábban megengedett 98...113 MPa tartományt szűkíteni kellett a 95...103 MPa határokra, és ezzel biztosítható lett a szabványban előírt nyúlás.

A durva huzal szakítószilárdság előírásának módosításával a húzott huzal tekerceselhetősége is sokat javult, azonban ennek a hibának még nem volt elfogadható a gyakorisága. Ezen a nehézségen az összetétel módosításával sikerült úrrá lenni a későbbiekben részletezett módon.



■ 3. ábra. A húzott huzal és a durva huzal szakítószilárdság-kapcsolata

### A hőállóság megvalósítása

A huzal hőállósága alatt – a korábbiakban részletesen leírtak szerint – a huzal szakítószilárdságának hőmérséklet-hatások ellenében történő megőrzését kell érteni. A szilárdság csökkenése a lágyulás, újrakristályosodás folyamat keretében megy végbe, és szerencsére vannak olyan ismert ötvözők az alumínium esetében, amelyek lényegesen késleltetik, akadályozzák a lágyulást. Jó példa az INOTAL Zrt. egy másik terméke, a mangánnal ötvözött hidegfolyatási tárcsa (aeroszol palack előtermék), aminek lágyítási hőmérséklete és ideje lényegesen meghaladja a 99,7%-os alumíniumból készült termékét. Természetesen a mangán csak – mint egy, az alumíniumban a lágyulást, újrakristályosodást gátló elem – példaként kerülhet szóba, de a villamos vezetőképességre nézve romboló hatása miatt az ötvözőként való alkalmazása itt kizárt.

A lágyulás tekintetében a mangánhoz hasonló hatással rendelkezik a cirkónium, de ez az elem az alumínium villamos vezetőképességét – beavatkozással – csak kis mértékben rontja. De rontja, ezért a durvahuzal-öntvehengerlés olvadék-alapanyagának a lehető legtisztábbnak kell lenni, a lehető legjobb vezetőképesség érdekében. Különösen vonatkozik ez a Cr, Mn, Ti és V szennyezőkre, mint a vezetőképességet erősen csökkentő elemekre. A vanádium esetében bór adagolásával van lehetőség annak az olvadékból való eltávolítására, de a még nem leülepedett VB<sub>2</sub> iszap az öntésnél melegrepedés hibákat, a húzott huzalban pedig a tekerceselés (sodorhatóság) vizsgálaton nemmegfelelőséget okoz. Amennyiben ilyen kezelés szükséges, nem kerülhető el a fűrdő öntés előtti pihentetése.

Az olvadék tisztasága tehát alapvető jelentőséggel bír, de ugyanilyen fontos a használt előötvöztetés összetétele is. A használt AlZr10 előötvöztetés eseténként meghökkentően sok mangánt és krómot tartalmaz.

A lágyuláshoz visszakanyarodva fontos körülmény, hogy a dermedés során csak egy gyors hűtés révén a szilárd oldatba dermrdt cirkónium fékezi a lágyulást, az önálló szövetelemként megjelent Al<sub>3</sub>Zr vegyület már nem. Ezért a durva huzal öntvehengerlés olvadék alapanyagában meg kell előzni a vegyület keletkezését, az öntésnél alkalmazott lehűlési sebességet pedig kellően gyorsnak kell választani. Az így kristályosodott szilárd oldat szemcsékből álló durva huzal fajlagos villamos ellenállása meghaladja a szabványban rögzített követelményt, de ez korrigálható. Célszerűen választott hőmérsékleten és idő alatt a rácsban rekedt cirkóniumatomok diffúzióval megkezdik a vegyületképződés folyamatát, de az nem fejeződik be, a szövetben önálló vegyületfázis nem figyelhető meg. A rács feszültségének csökkenésével a vezetőképesség javul, ugyanakkor a lágyulást megakadályozó hatás fennmarad.

### Az eredmények

Az INOTAL Zrt. nem rendelkezik saját alumíniumkohóval, de alumínium durvahuzal-termelésének zömét korábban a kis hozzáadott értékkel rendelkező ötvöztetlen gyártmányok tették ki. Ebből a pozícióból magas alumíniumár mellett a saját kohóval rendelkező gyártók versenyelőnye

behozhatatlan. Ezen versenytársak nagyvolumenű gyártásába viszont az ötvözött termékek nem illeszkednek, mert az elektrolizáló kádakból folyamatosan érkezik a tiszta fém, nincs idő az öntvehengerlő sor hőntartó kemencéit öblíteni az összetételváltásoknál. Ezek az igényes ötvözetek, köztük a hőálló alumíniumötvözet távvezeték-alapanyagok kell, hogy a jövőbeni termékkör gerincét alkossák.

Az AlZr AT3 termék gyártási technológiájának kidolgozása befejeződött, a nagysorozatú gyártás előkészítése folyamatban van. Egy lágyítókemence blokk kiépítésére van szükség, mert a gyártási folyamat részét képező nagy hőmérsékletű, hosszú idejű hőkezelés a feladatra egyébként alkalmas meglévő két kemencét kivonná a korábbi termékek gyártásából.

A piac által árban szintén elismerten magas hozzáadott értékű AlZr AT1 termék már sorozatgyártásban van, 1847

tonna a 2021 április végéig értékesített mennyiség és reményeink szerint a piaci érdeklődés további jelentős mennyiségek eladását teszi majd lehetővé.

#### Források

- [1] Központi Statisztikai Hivatal [http://www.ksh.hu/stadat\\_files/ene/hu/ene0008.html](http://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0008.html)
- [2] Központi Statisztikai Hivatal [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/nep/hu/nep0002.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/nep/hu/nep0002.html)
- [3] Központi Statisztikai Hivatal [http://www.ksh.hu/stadat\\_files/ene/hu/ene0001.html](http://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0001.html)
- [4] Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. <https://www.mavir.hu/web/mavir/eromuvi-beepitett-teljesitokepesseg-adatok>
- [5] Szűcs Gábor: <https://villanyautosok.hu/2020/06/08/otkuton-akar-vizbontással-hidrogen-termelni-a-nikola/>

## 80 év titka az alumíniumiparban – emlékkiállítás nyílt a Köfém Művelődési Központban

A Köfém Hengermű-Öntöde első üzemét 1941-ben alapították, és idén ünnepli ennek 80 éves évfordulóját. Ebből az alkalomból áprilisban egy egész éves, Székesfehérvár polgárait is bevonó programsorozat kezdődött, aminek részeként 2021. június 9-én kiállítás nyílt a vállalat volt és jelenlegi dolgozói által felajánlott emléktárgyakból és az Arany János Iskola diákjainak az évfordulóra készült alkotásaiból. A megnyitón részt vett *dr. Dienesné Fluck Györgyi* önkormányzati képviselő, *Lehmer Zsolt* alpolgármester, valamint *Török Szabolcs*, a Székesfehérvári Tankerületi Központ igazgatója is. Szép számban megjelentek az Arconic volt és jelenlegi dolgozói, jelen voltak az Arany János Iskola képviselői is.

Megnyitó beszédben *Gábor Balázs* ügyvezető, gyárvezető felidézte, hogy az Arconic Európa egyik vezető alumíniumipari hengerművét és öntödéjét üzemelteti Székesfehérváron. A világszerte 10 országban, megközelítőleg 13 400 dolgozót foglalkoztató vállalat magyarországi tevékenységét két évtizeddel ezelőtt kezdte meg, de a székesfehérvári hengermű-öntöde üzemnek 80 éves múltja van.

Ha körülnézek, büszkeség tölt el, fantasztikus érezni a 80 év történelmére büszkén visszaemlékező és abból energiát és erőt merítő csapatösszefogást, őszinte tiszteletet, amely a tárgyakból sugárzik a vállaltunk és korábbi jogelődjei, munkatársaink és a városunk iránt – foglalta össze köszöntőjében *Varga Zsuzsanna* az Arconic-Köfém Mill Products Kft. ügyvezetője, HR-vezetője.

A kiállítás kapcsán szervezett beszélgetésen *dr. Kóródi István*, az Öntöde Termelés- és Minőségirányítás vezetője, *dr. Bereczki Péter*, a Hengermű Minőségirányítási vezetője, *Csurgó Lajos*, az OMBKE Fémkohászati Szakosztály elnöke és a Nyugdíjas Klub részéről *Paál István* vett részt, akik az alumíniumipar múltját és jelenlegi helyzetét tekintették át. A beszélgetésen a vállalat sikerének titkát keresték, a megfejtést arra, hogyan sikerült a székesfehérvári nagyvállalatnak megküzdenie a kihívásokkal, miközben végig az iparág nemzetközi élvonalában tudott maradni.

Az alumíniumgyártás 80 éves történetét személyes emléktárgyakon keresztül bemutató kiállítás június 26-ig, a Múzeumok Éjszakájáig tekinthető meg a Köfém Oktatási és Közművelődési Központban.



A megnyitón Gábor Balázs ügyvezető, Simon József, a Művelődési Központ igazgatója és Varga Zsuzsanna ügyvezető



Részlet a kiállításból

ACÉL ARTÚR – BUZA GÁBOR – JUHÁSZ GERGELY – MALOVECZKY ANNA – SZABÓ DÁVID – WINDISCH MÁRK

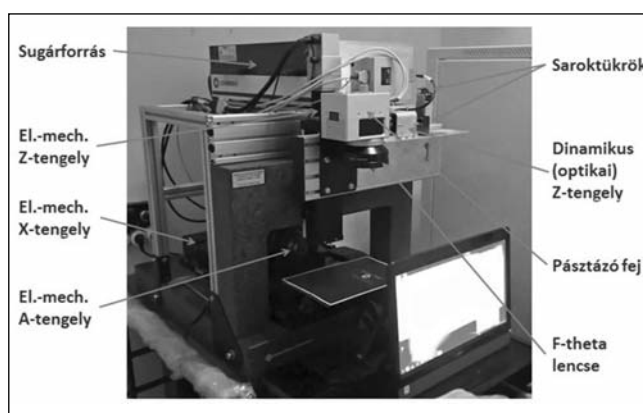
## Az ultrarövid lézersugár-impulzusok hatása egyes anyagokra

**A Bay Zoltán Nonprofit Kft. és a Neumann János Egyetem sikeres közös pályázata keretében helyeztek üzembe egy ultrarövid impulzusú lézerberendezést. A kutatási és oktatási célokat szolgáló eszközzel szerzett tapasztalatok és vizsgálati eredmények a lézersugaras anyagmegmunkálások területén új alkalmazásorientált kutatási területeket nyitottak meg. Ezek közül mutat be néhányat a cikk.**

A lézersugaras anyagmegmunkálások kutatásának egyik új iránya az ultrarövid impulzusok alkalmazásán alapul [1–4]. Az elfogadott megállapodás szerint azokat a lézersugárforrásokat nevezzük ultrarövid impulzusú lézereknek, melyekből a sugárzás időben behatárolt adagokban, impulzusokban lép ki és az egyes adagok, impulzusok időtartama a piko- és a femtoszekundumos tartományba esik. Kutatások folynak az ennél rövidebb (attoszekundumos) impulzushosszúságú lézerekkel is, melyeket a közbeszédben – egyelőre – szintén az ultrarövid jelzővel illetünk.

A „Dióda lézerközpont kialakítása a Neumann János Egyetemen” elnevezésű pályázat keretében, 2018 novemberében szerezte be és helyezte üzembe a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. (BZN) az első ultrarövid impulzusú lézerberendezését, a kecskeméti Neumann János Egyetem, most Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékén, az azonos pályázatból többek között erre a célra létrehozott dióda lézerközpont épületében.

A femtoszekundumos lézerberendezés (1. ábra) központi eleme a Coherent gyártmányú, Monaco típusú sugárforrás. Átlagteljesítménye 750 kHz impulzusisméltési frekvencia esetén 62,1 W, hullámhosszúsága 1 035 nm. Sugárminőséget jellemző adatai: nyalábátmérő: 2,67 mm, divergenciája: 0,61 mrad,  $M^2$ : 1,05. A sugárforrás további



1. ábra. A Bay Zoltán Nonprofit Kft. femtoszekundumos lézerberendezése

jellemző adatai: impulzushosszúság: 277 fs – 10 ps, impulzusisméltési frekvencia: 188 kHz – 50 MHz.

A sugárvezetés és -formálás Scanlab gyártmányú egységekből áll: egy Varioscan típusú dinamikus fókuszáló egységből, a Scancube III 14 típusú sugáreltérítő egységből (pásztázó fej) és egy 254 mm fókusz távolságú f-theta lencséből. A sugárformáló rendszer pozicionálására és a munkadarab mozgatására Aerotech gyártmányú, számítógép-vezérlésű elektromechanikus tengelyek szolgálnak: két lineáris- és egy forgótengely.

**Acél Artúr Benjámín** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 2020-ban járműmérnöki oklevelet szerzett, gyártástechnológia szakirányon. 2020-tól kutató a Bay Zoltán Nonprofit Kft.-nél.

**Dr. Buza Gábor** kohómérnök (miskolci NME, 1975). Egyetemi doktori cím: 1986. A műszaki tudomány kandidátusa 1990. PhD-fokozat 1998. 2008-tól a Miskolci Egyetem, 2016-tól a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem c. egyetemi tanára, 2013-tól főiskolai tanár (Edutus főiskola). Doctor honoris causa, Miskolc 2020. 1975-től 1988-ig a Vaskut, 1988-tól a BME dolgozója. Jelenleg a BME Gépjárművek és Járműgyártási Tanszék nyugalmazott docense és a Bay Zoltán Nonprofit Kft. vezető kutatója.

**Maloveczky Anna** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 2017-ben vegyész mérnöki oklevelet szerzett, anyag-tudományi szakirányon. 2017-től kutató a Bay Zoltán Nonprofit Kft.-nél.

**Szabó Dávid** az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán 2018-ban mechatronikai mérnöki BSc-fokozatot szerzett, komplex rendszerek szakirányon. 2018-tól kutató a Bay Zoltán Nonprofit Kft.-nél.

**Windisch Márk** az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán 2019-ben anyag-tudomány mesterszakon szerzett oklevelet. 2019-től kutató a Bay Zoltán Nonprofit Kft.-nél.

**Juhász Gergely** a Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Karán 2019-ben szerzett gépészmérnöki diplomát anyagtechnológia és minőségügy szakirányon. 2019-től kutató a Bay Zoltán Nonprofit Kft.-nél. Emellett kutatási és oktatási tevékenységet folytat a Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Karán.

## Az ultrarövid lézersugár-impulzusok néhány speciális hatása

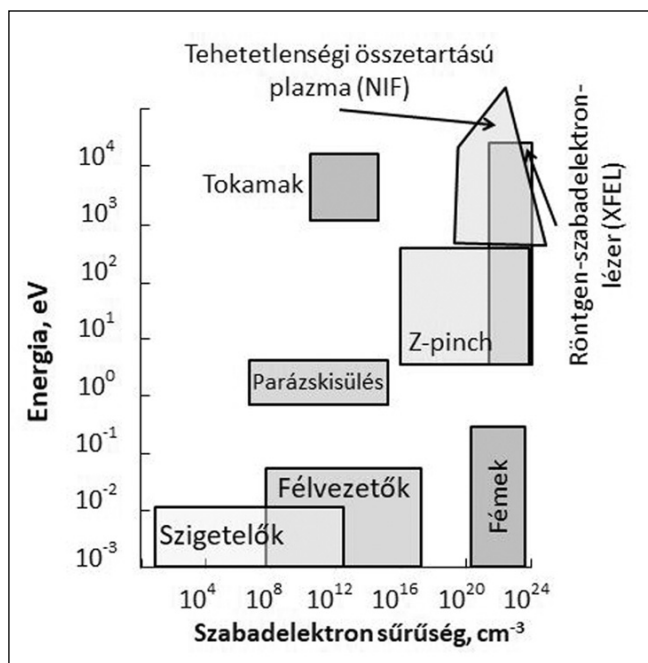
A közeli infravörös, ill. az annál rövidebb hullámhosszúságú lézersugár energiája az anyagban a fotonok és az elektronok kölcsönhatásán keresztül nyelődik el. Általában egy foton energiája egy elektronnak adódik át, ami a foton megsemmisülésével jár, vagyis az elektron energiája a foton energiájával megnövekedik. Ez a Planck-egyenlet szerint, 1 035 nm hullámhosszúságú foton esetén

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \approx 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8}{1,035 \cdot 10^{-6}} \approx 1,918 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (1)$$

energianövekményt jelent, ahol:  $E_f$  = egy foton energiája (J),  $h$  = Planck-állandó (Js),  $\nu$  = az elektromágneses sugárzás frekvenciája ( $s^{-1}$ ),  $c$  = a fény terjedési sebessége vákuumban (m/s),  $\lambda$  = az elektromágneses sugárzás hullámhosszúsága (m).

A fotonokkal kölcsönhatásba lépő elektronokat az atommagokhoz való viszonyuk alapján két csoportra oszthatjuk. Az egyikbe azok tartoznak, amelyek valamely atommaghoz tartozóan, akörül egyedi energiájuknak megfelelő energiaszinten (pályán) keringenek. Ezekre jellemző, hogy az egy atommaghoz tartozó elektronok között nem lehet két azonos energiájú (Pauli-féle kizárási elv), ill. a lehetséges energiaállapotaikat (energiaszintjüket) elsősorban az atom rendszáma határozza meg. A másik csoportba tartozókat nevezik delokalizált vagy szabadelektronoknak, melyek nem kötődnek egyik konkrét atommaghoz sem. Ezek teszik az anyagot elektromosan vezetővé, félvezetővé vagy szigetelővé, attól függően, hogy mekkora a térfogati sűrűségük (2. ábra).

Az elektron csak akkor veheti fel a foton energiáját, ha a kölcsönhatás előtti és utáni energiaállapota „engedélyezett”. A szabadelektronok minden energiaállapotukban ilyenek, de az atommaghoz kötöttek nem, mert azok ener-



■ 2. ábra. Egyes anyagcsoportok szabadelektron-sűrűsége és az elektronok jellemző energiája

giája a rendszám és az aktuális pályájuk alapján meghatározott. Kicsi a valószínűsége, hogy az ilyen elektron számára „engedélyezett” a fotonéval megnövelt, vagyis a kölcsönhatás utáni energiaállapota. Ekkor nem lép kölcsönhatásba a foton és az elektron.

Ez azt jelenti, hogy a lézersugár energiáját azok az anyagok képesek hatékonyan elnyelni, melyekben sok szabadelektron van. Ilyenek az elektromosan jól vezető fémek, ráadásul a vegyértékelektronok is szabadon gerjeszthetők, mert a vegyérték és a vezetési sáv átfedésben van, nincs közöttük energetikailag tiltott sáv. Jelenti azonban azt is, hogy a fény-anyag kölcsönhatás eredménye egyszerre függ az anyagtól (rendszámától és elektron-szerkezetétől), valamint a fény hullámhosszúságától (a fotonok energiájától). Ezért lehetséges az, hogy egy anyag lézersugaras megmunkálása az egyik hullámhosszúságú lézersugárral ideális, a másikkal nem.

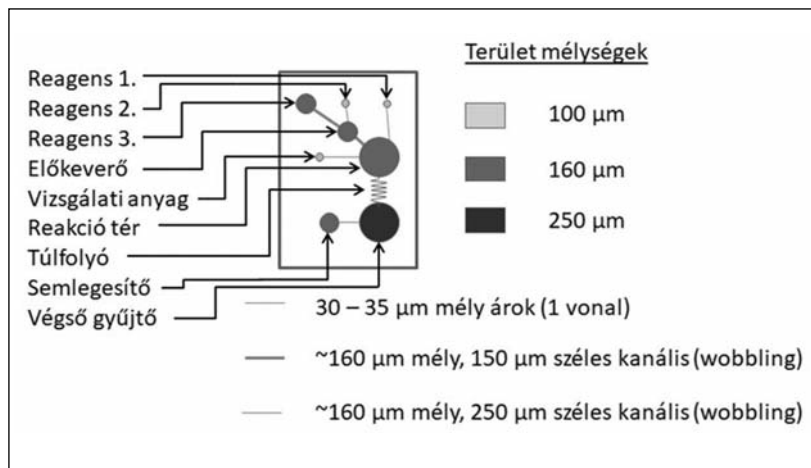
Az ultrarövid impulzusú lézersugár egyes impulzusában extrém nagy a fotonsűrűség (a fény haladási síkjára merőleges egységnyi felületen, időegység alatt áthaladó fotonok száma,  $db/m^2s$ ). Egy 4 kW cw fénytjeljesítményű ipari szilárdtestlézer-sugárforrást (pl.: korong-, vagy szállélzer, idegen szóhasználat: diskler és fiberlaser) e cikkben szereplővel összehasonlítva a különbség 5-7 nagyságrend, ami az ultrarövid impulzusú lézerek jobb sugárminősége, ebből fakadóan jobb fókuszálhatósága miatt akár több is lehet.

Az extrém nagy fotonsűrűség új fizikai jelenségek, pl.: a multifoton-elektron kölcsönhatás vagy a szabadelektron kaszkádjelenség bekövetkezési valószínűségét teremt meg [6–7]. A fotonsűrűség növekedésével az új jelenség bekövetkezésének valószínűsége, ill. gyakorisága is nő. Az ilyen kölcsönhatás során egy elektron – függetlenül attól, hogy atommaghoz kötött vagy sem – „egyszerre” több fotonnal lép kölcsönhatásba, így az elektron képes a szigetelőkre jellemző tiltott sávot átugrani és szabadelektronként már akár egyesével „elnyelni” a további, tetszőleges energiájú fotonokat. Ennek szemmel látható eredménye az, hogy a kis fotonsűrűségű (kis energia-, ill. teljesítménysűrűségű) lézersugár számára átlátszó anyagban (pl.: üveg) vagy annak felületén is elnyelődik az ultrarövid impulzusú lézersugár energiája, amit szabad szemmel is láthatunk, mert nyomot hagy benne vagy rajta.

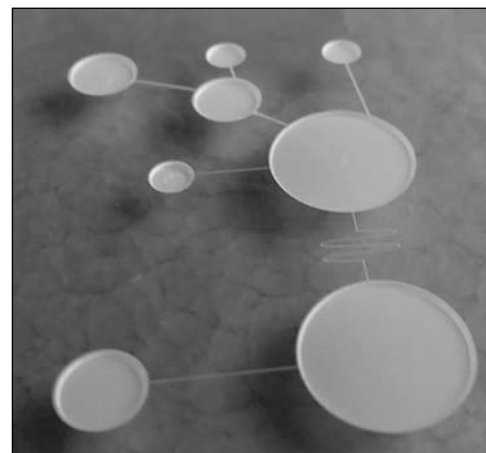
### Lézersugár és szigetelő anyag (üveg) kölcsönhatása

Az üveg a közeli infravörös sugárzás, pl.: a mi esetünkben az 1 035 nm hullámhosszúságon (is) jellemzően transzparens (pl.: a távoli infravörös esetén nem). Az „ablaküveg”, fajtájától függően kb. 1-4%-ot reflektál és nagyjából ugyanennyit abszorbeál. A több évtizede ismert és pl. ajándéktárgyak készítésére széles körben alkalmazott 3D üveggravírozási technika ezeket a kölcsönhatási arányokat használja ki. Ekkor a fókuszált lézersugár az üvegtest belsőjében fejt ki hatását, de csak a fókusz környezetében (0,1-0,25 mm átmérőjű gömbszerű térfogat), mert csak ott elegendően nagy a teljesítménysűrűség ( $W/cm^2$ ) ahhoz, hogy annak az elnyelt 1-4%-a optikai tulajdonságváltozást eredményezzen az üvegben.

Az ultrarövid impulzusú lézersugár esetében ilyen korlá-



■ 3. ábra. Egy lab-on-a-chip fantáziaterve



■ 4. ábra. 6 mm vastag plexilapon megvalósított lab-on-a-chip

tok nincsenek. Mindegy, hogy az üveg felszínén vagy annak belsejében akarunk változást előidézni, csak a foton-sűrűséget kell helyesen megválasztanunk. A többi a multifoton-elektron kölcsönhatás elintézi.

### Lézersugár és polimer

Általános esetben a lézersugár számára átlátszó üveggel szerzett tapasztalatok többsége jól hasznosítható az átlátszó műanyagok esetén is. A részletek elhagyásával egy lehetséges alkalmazási példát mutat a 3. és 4. ábra.

Az ultrarövid impulzusú lézersugarak alkalmazásának egyik iránya a lab-on-a-chip (mikrofluidikai eszközök, melyekben több laboratóriumi műveletet lehet egyidejűleg vagy egymást követően végrehajtani) technológia [5, 14]. A 3. ábrán ennek egy fantáziaterve látható. Megvalósítása 6 mm vastag plexi olvasztás nélküli elpárologatásával történt. Az elkészült darab fényképe a 4. ábrán látható.

### Lézersugár és félvezető

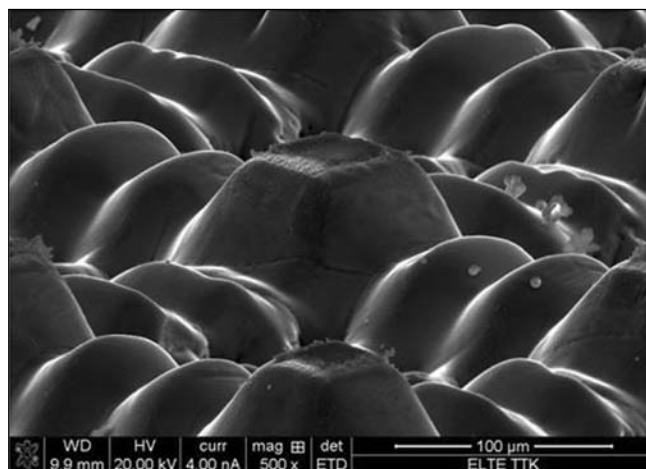
A szabadelektron-sűrűség szerint, az ultrarövid lézersugárral megmunkált anyagok következő csoportjába a félvezetők tartoznak (2. ábra). Mikroelektronikai célokra nagy mennyiségben használják a kristálytanilag orientált szilícium egykristály lapkákat (chip, wafer, ostya), melyeknek egyik síkja polírozott. Ezek számunkra ideális kísérleti anyagok, mert egzakt, reprodukálható kiindulási állapotot jelentenek.

A Si-lapkákon végzett kísérleteinknek két nagyobb területe volt. Az egyik esetben szublimációval távolítottunk el anyagot, hogy 10-1000 μm mélységű, irányított (általunk tervezett) felszíni mintázatot hozzunk létre. A másik esetben a max. 1-2 μm mély, feltehetően a Si-atomoknak a fotonok hatására bekövetkező újrendeződésével, domborzatok létrehozására törekedtünk.

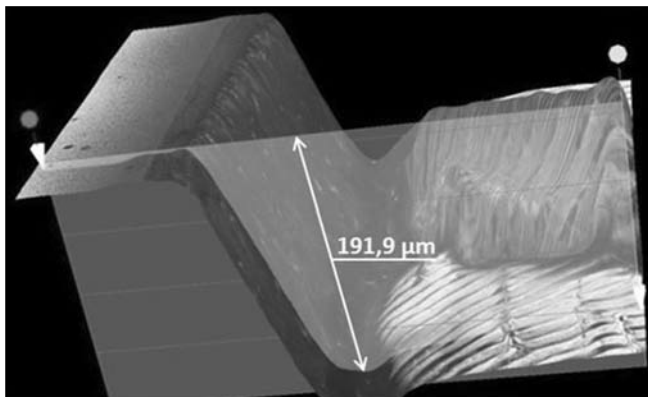
A szublimációs megmunkálások konkrét alkalmazási célja a mikrooszlopok, más néven mikropillárok létrehozása volt. A mikropillárokat a képlékeny alakváltozás folyamatának mikroszkópi vizsgálatára használják. Ekkor egy speciálisan felszerelt SEM (Scanning Electron Microscope = pásztázó elektronmikroszkóp) segítségével a mikrooszlopra gyakorolt egytengelyű nyomóerő hatására lejárt-

szódó folyamatokat vizsgálják. Ez többek között a diszlokációelmélet mélyebb megértését szolgálja. A mikrooszlopokat korábban a SEM-en belül, fókuszált ionsugaras megmunkáló eszközökkel (FIB: Focused Ion Beam) alakították ki, ami több órát, akár egy munkanapot is igényelt [8–11]. A lézersugaras „előásással”, szublimálással, a munka durva, nagyoló része elvégezhető. Mivel a HAZ (hőhatásövezet) mélysége nem számottevő, ezért az a finom, ionos (FIB) utómunkálatok során (miáltal a vizsgált oszlop valódi alakja testet ölt) gyorsan és teljesen eltüntethető. Az ultrarövid impulzusú lézersugár segítségével nagyságrendileg néhány perc alatt több száz mikrooszlopot tudunk „előásni”. Az „előásott” mikrooszlopokat egy korszerűen felszerelt SEM fókuszált ionnyalábjával (FIB) már rövid idő alatt (egy órán belül) készre lehet munkálni.

A mikrooszlopok „előásása” során négyzethalós elrendezésben „árkokat” munkáltunk a szilícium egykristály lapkába. Az így kialakított árkok közötti részek lettek az előgyártmányok. Az „árkokat” úgy alakítottuk ki, hogy három egymáshoz közeli egyenes vonal mentén szublimáltattuk a szilíciumot, így viszonylag széles sávok jöttek létre az előoszlopok között. Egy ilyen mikrooszlop-erdő látható az 5. ábrán. Az előoszlopok közötti szublimáltatást wobbling technikával is meg lehet oldani. Erre mutat példát a 6. ábra.



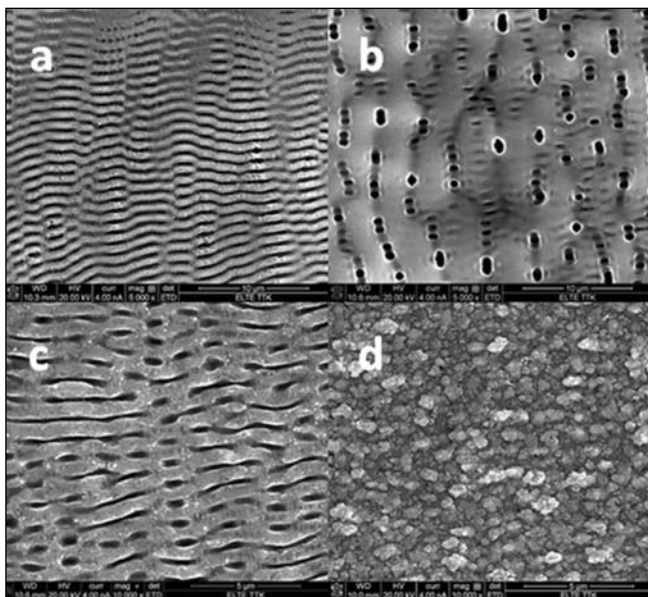
■ 5. ábra. Si egykristályból szublimációval előmunkált mikrooszlopok



■ 6. ábra. Si egykristályból szublimációval és wobbling technikával kimunkált sáv egyik fele

A félvezetők megmunkálásának másik iránya volt, amikor a lézersugárral létrehozott domborzat mélysége legfeljebb 1-2  $\mu\text{m}$ , ami a LIPSS (Laser-Induced Periodic Surface Structures) fogalomkörébe tartozik. Kialakulására számos magyarázat létezik, de eddig egyik sem vált teljeskörűen elfogadottá, bizonyítottá. Az elképzelések többsége a plazmon és a felületi plazmon polariton kifejezésekhez kötődik. Jó eredményeket síkpolarizált (lineárisan polarizált) koherens sugárzás eredményezhet. A téma kifejtése terjedelmi okok miatt nem lehet része ennek a cikknek.

A LIPSS-ek alakja erősen függ a lézersugár teljesítményétől, pontosabban az impulzusok energiájától és ismétlési frekvenciájától. Kis impulzusenergia esetén a felszín hullámossá válik. A hullámok frekvenciáját a mintázatokról készült képek kétdimenziós Fourier-transzformáltjából (2D FFT) számított egydimenziós spektrális teljesítménysűrűség-függvénnyel határoztuk meg. Eredményül  $948 \pm 30 \text{ nm}$ -t kaptunk, ami az alkalmazott lézersugár hullámhosszának  $92 \pm 3\%$ -a. Ez összhangban van az irodalmi adatokkal, miszerint a plazmon hullámhossza kisebb, mint az öt létrehozó lézersugáré, ami esetünkben  $1\ 035 \text{ nm}$ .

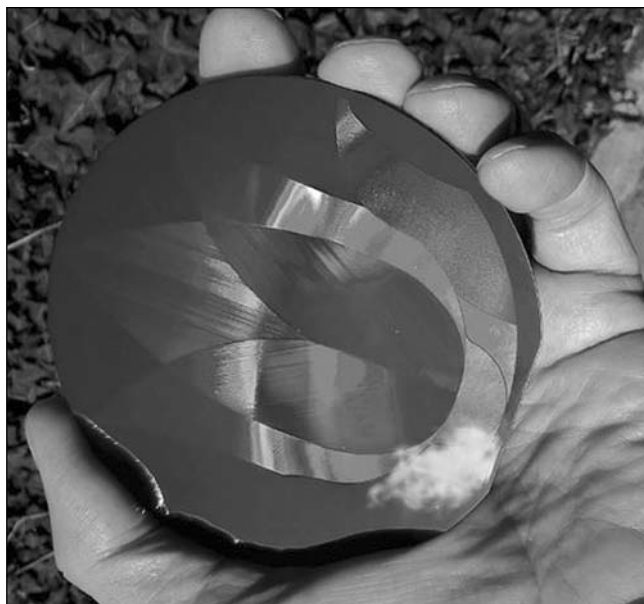


■ 7. ábra. LIPSS mintázatok Si egykristályon: 2,4  $\text{J}/\text{cm}^2$  esetén hullámosság (a); 44  $\text{J}/\text{cm}^2$  esetén gödröcskék keletkezése (b); 90  $\text{J}/\text{cm}^2$  esetén gödröcskék összeolvadása (c); 17 300  $\text{J}/\text{cm}^2$  esetén „karfiolosodás” (d)

A lézersugár fajlagos energiájának ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ) növekedésével a hullám völgyekben kör alakú mélyedések keletkeznek, melyek először kettesével, később csoportosan összeolvadnak. További energianövelés hatására a hullámos jelleg megszűnik és apró, 100 nm körüli átmérőjű szemcsék jelennek meg a felületen, majd ezek összekapcsolódásával karfiolra emlékeztetővé válik a felszín (7. ábra).

Az ilyen felületeket például a Raman-spektroszkópiában lehet alkalmazni, konkrétan az ún. SERS esetén (Surface Enhanced Raman Spectroscopy), vagyis a felületerősített Raman-spektroszkópiában, ami a mérések érzékenységét nagyságrendekkel növeli meg.

Amennyiben a keletkezett LIPSS hullámhosszúság a látható fény tartományához közel esik (mint esetünkben), akkor a strukturált felület optikai rácsként is viselkedik [12–13]. A struktúrák hullámhosszának nagysága, a hullámdomborulatuk beeső fényhez viszonyított tájolása meghatározza a mintázatról visszaérkező fény színét (8. ábra).



■ 8. ábra. Optikai rácsok Si egykristályon

## Lézersugár és a fémek anyagai

A szabadelektron-sűrűség szerint az anyagok következő csoportjába a fémek tartoznak (2. ábra). Ebben az anyagcsoportban az egyik kutatási irányunk az amorf fémek megmunkálása.

A villanymotorok álló- és forgórészeinek lemezkötegei manapság kristályos szerkezetű fémekből készülnek, ami a motorok melegeedésének, kedvezőtlen hatásfokának egyik alapvető okozója. Az elektromobilitás térhódításával valószínű, hogy hamarosan fokozott figyelmet kapnak a kis mágneses hiszterézisvesztéssel rendelkező amorf fémek. Gyors elterjedésüknek egyelőre gátja, hogy az amorf fémlemezektől vagy széles szalagoktól precíz alakokat nehéz kivágni a vágás menti kedvezőtlen termikus vagy mechanikai mellékhatás, sorja, szél hullámosodás, kristályosodás, elrögzedés, törékennyé válás, repedeztség nélkül.

A feladat megoldható, ill. a felsorolt veszélyek elkerül-

hetők a korábban már emlegetett szublimációs technikával. A szublimációs vágást technikailag akkor tekintjük megfelelő minőségűnek, ha a vágott felületen vagy a vágott anyag alsó szélén nincs megolvadt rész (a felső szélén csak szélsőségesen rossz vágás esetén lehet olvadt rész). A szublimációs vágás minőségét és hatékonyságát legerősebben befolyásoló lézersugár jellemzők az impulzusok hosszúsága, energiatartalma és ismétlési frekvenciája. Ezek hatására mutatunk be néhány példát, kísérleti eredményt.

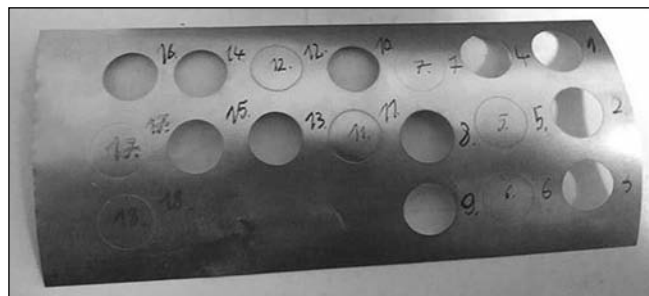
Az impulzusok hosszúságaként a 277 fs-ot választottuk, mert a sugárforrás ennél rövidebbet nem tesz lehetővé, és az anyagon belüli hővezetés mérséklése érdekében ennek minimuma az ideális. Az itt bemutatott eredményeket 30 és 80  $\mu\text{J}$  energiájú impulzusok 188 kHz, 750 kHz és 2 MHz ismétlési frekvenciájával értük el (1. táblázat).

1. táblázat. A szublimációs vágási kísérletek változó lézertechnikai adatai

Impulzus ismétlési frekvencia, kHz	Pásztázási sebesség, m/s	Egy impulzus energiája, $\mu\text{J}$	Ismétlési szám	Sorszám
188	25	80	200	12
188	25	80	300	11
188	25	80	400	10
188	25	80	500	8
188	25	80	600	9
750	25	80	100	7
750	25	80	200	6
750	25	80	300	5
750	25	80	400	1
750	25	80	450	2
750	25	80	500	3
750	25	80	600	4
2000	25	30	50	18
2000	25	30	100	17
2000	25	30	200	16
2000	25	30	300	15
2000	25	30	400	14
2000	25	30	500	13

Kísérletképpen 10 mm átmérőjű köröket vágunk ki a 20  $\mu\text{m}$  vastag amorf szalagból (9. ábra).

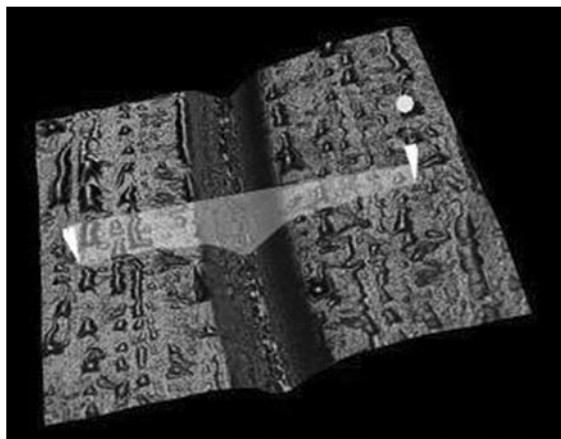
A lézerberendezés pásztázó fejének tűkrei a lézersugár 25 m/s haladási sebességét eredményezte a munkadarabon. Ez azt jelenti, hogy a 277 fs-os impulzushosszúság alatt a fókuszolt a darab felszínén kb. 7 pm-t ( $6,925 \times 10^{-12}$  m) tett meg. A fókuszolt Gauss-átmérője (ahol az intenzitás csúcs értéke  $1/e^2$ -re csökken) 80  $\mu\text{m}$ , ami 7 pm-rel nyúlt meg, amit nem lehet észrevenni az alkalmazott vizsgálótechni-



9. ábra. A 20  $\mu\text{m}$  vastag amorf szalag szublimációs vágási kísérletei

kákkal. A darabon tehát az egyes impulzusok sorozatának nyomai láthatók. Két egymást követő impulzus közötti távolság a 188 kHz-es ismétlési frekvencia esetén 0,133 mm, 750 kHz esetén 0,033 mm és 2 MHz esetén 0,013 mm. Mivel a fotonok a fémes anyagokba csak néhány száz nm mélységig hatolnak és az impulzusok nyomán keletkezett szublimációs gödrök közötti távolság nagy, logikus, hogy a vágandó nyomvonalon többször kell áthaladni. Ezt nevezzük ismétlési számnak. Egy kör megtételének időigénye 1,256 ms, vagyis a leghosszabb vágási kísérletünk (600 ismétlés) is kevesebb, mint egy másodpercig tartott. Egy szublimált árokról készült mikroszkópi képet mutat a 10. ábra.

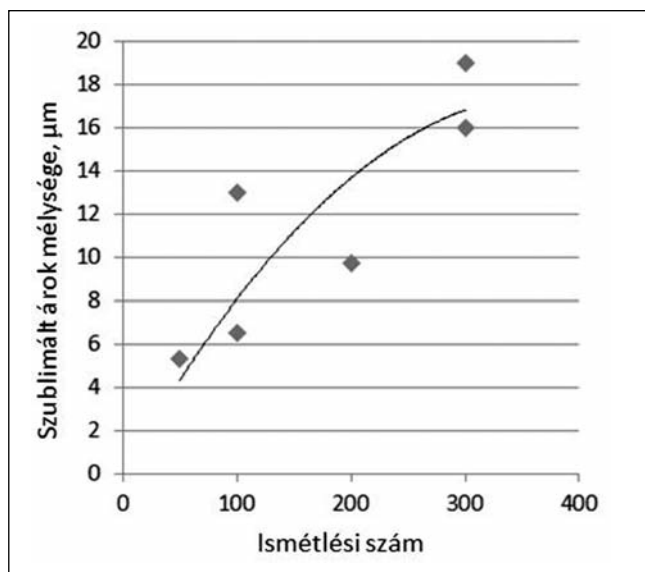
Az ismétlések számának növekedésével a szublimációval keletkezett árok mélysége nő, ahogyan azt a 11. ábra diagramja is mutatja. A másodfokú polinom trendvonal



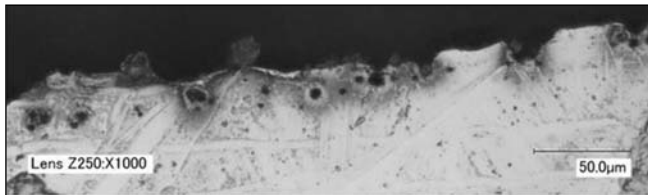
10. ábra. A 2 MHz ismétlési frekvenciájú, 30  $\mu\text{J}$  impulzusenergiájú lézersugárral készült szublimációs árok fénymikroszkópi képe

körül a mérési pontok nagy szórása a lézerimpulzusok különbözőségének (energia, frekvencia) következménye.

Amikor az első impulzusok már átjutottak az anyagon, többnyire saját súlyuktól kiestek a koron-



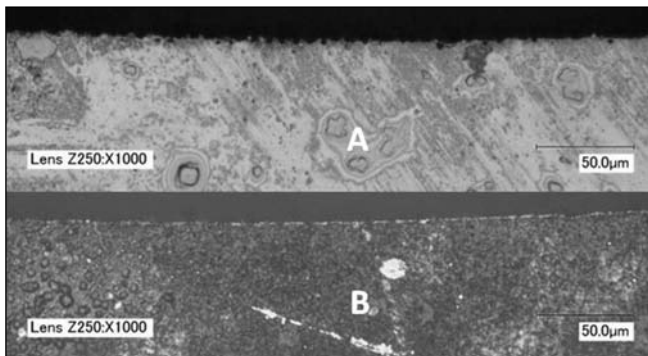
11. ábra. A szublimált árok mélységének változása az ismétlések számának függvényében



■ **12. ábra.** A 750 kHz ismétlési frekvenciájú, 80  $\mu$ J impulzusenergiájú lézerekkel vágott szalag alsó éle (ismétlési szám: 400)

gok, noha a vágott vonal ekkor még nem volt egyenes. Ilyen esetre mutat példát a 12. ábra fotója. Örömteli eredmény, hogy 1000  $\times$ -es mikroszkópi nagyítás esetén sem lehet az olvadás nyomait felfedezni. Ez azt jelenti, hogy az egyes lézerimpulzusok során (és az azt követő néhány ps alatt) a szublimáció volt a domináns termikus jelenség. Az anyagban belüli hővezetés mértéke elhanyagolható.

Mikroszkópi vizsgálatok alapján a legjobbnak ítélt vágást 30  $\mu$ J energiájú, 2 MHz ismétlési frekvenciájú impulzussorozatokkal érték el (13B ábra).



■ **13. ábra.** A 2 MHz ismétlési frekvenciájú, 30  $\mu$ J impulzusenergiájú lézerekkel vágott szalag alsó éle (ismétlési szám: A = 400, B = 500)

## Összefoglalás

A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. üzembe helyezte az első femtoszekundumos lézerberendezését, amit a Neumann János Egyetemmel közösen nyert GINOP pályázat keretében szerzett be. Az eszköz alkalmazásával egyszerre több kutatási irányt nyitottunk, melyek közül a cikkben néhányat bemutatunk. Terjedelmi okokból az egyes kutatási irányok részleteire nem térhetünk ki, ennek ellenére törekedtünk arra, hogy az új lézerek hatását az egyes anyagcsoportokra, saját tapasztalatainkra és eredményeinkre alapozott példákon keresztül mutassuk be. A kísérletek tapasztalatainak általánosító megállapítása szerint a lézerek–anyag kölcsönhatás eredménye elsősorban az egyidejűleg egy térben lévő szabadelektronok és fotonok számától, valamint sokaságuk arányától függ.

## Köszönetnyilvánítás

A fejlesztés a GINOP-2.3.3-15-2016-00041 azonosítószámú projekt támogatásával valósult meg.

## Irodalom

- [1] S. K. Maurya, D. Yadav, D. Goswami: „Effect of femto-second laser pulse repetition rate on nonlinear optical properties of organic liquids”, PeerJ Physical Chemistry, October 15, 2019
- [2] Y. Yu, Y. Deng, A. Al Hasan, Y. Bai, R.-Z. Li, S. Deng, P. Joshi, S. Shin, A. Hu: „Femtosecond laser-induced non-thermal welding for a single Cu nanowire glucose sensor”, Nanoscale Advances, <https://doi.org/10.7717/peerj-pchem.1>, Jan 23, 2020
- [3] C. Rulliere: „Femtosecond Laser Pulses: Principles and Experiments”, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, ISBN10 3540636633, 1998.
- [4] V. Tangwarodomnukun, S. Mekloy, C. Dumkum, A. Prateepasen: „Laser micromachining of silicon in air and ice layer”, Journal of Manufacturing Processes, Volume 36, 2018, Pages 197-208, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.10.008>
- [5] L. Li, C. Wang, Y. Nie, B. Yao, H. Hu: „Nanofabrication enabled lab-on-a-chip technology for the manipulation and detection of bacteria”, TrAC Trends in Analytical Chemistry, Volume 127, 2020, 115905, ISSN 0165-9936
- [6] L. J. Jiang, S. Maruo, R. Osellame, W. Xiong, J. H. Campbell, and Y. F. Lu: „Femtosecond laser direct writing in transparent materials based on nonlinear absorption”, MRS Bull., 2016.
- [7] K. M. Davis, K. Miura, N. Sugimoto, and K. Hirao: „Writing waveguides in glass with a femtosecond laser”, Opt. Lett., 1996.
- [8] S. Akarapu, H. M. Zbib, and D. F. Bahr: „Analysis of heterogeneous deformation and dislocation dynamics in single crystal micropillars under compression”, Int. J. Plast., 2010.
- [9] E. C. Aifantis: „Gradient deformation models at nano, micro, and macro scales”, J. Eng. Mater. Technol. Trans. ASME, 1999.
- [10] J. Hütsch and E. T. Lilleodden: „The influence of focused-ion beam preparation technique on micro-compression investigations: Lathe vs. annular milling”, Scr. Mater., 2014.
- [11] H. Bei, S. Shim, M. K. Miller, G. M. Pharr, and E. P. George: „Effects of focused ion beam milling on the nanomechanical behavior of a molybdenum-alloy single crystal”, Appl. Phys. Lett., 2007.
- [12] S. Maragkaki, C. A. Skaradzinski, R. Nett, E. L. Gurevich: „Influence of defects on structural colours generated by laser-induced ripples”, Scientific Reports, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56638-x>
- [13] B. Dusser, Z. Sagan, H. Soder, N. Faure, J. P. Colombier, M. Jourlin, E. Audouard: „Controlled nanostructures formation by ultra fast laser pulses for color marking”, OPTICS EXPRESS, 2010. febr. 1., Vol. 18, No. 3
- [14] F. Sima, K. Sugioka, R.M. Vazquez, R. Osellame, L. Kelemen, P. Ormos: „Three-dimensional femtosecond laser processing for lab-on-a-chip applications”, Nanophotonics, 2018. 7(3), p.: 613–63

# A hőkezelés hatása a reaktortartály plattírozással felrakott rétegének szövetszerkezetére

*A nyomott vizes atomerőmű reaktortartályának belső felületét felrakóhegesztéssel készült, korrózióálló bevonat borítja. A tartályt és rajta a bevonatot több alkalommal is hőkezelik, ami az anyag korróziós ellenállásának csökkenését okozhatja. A kutatómunkában sor került a hegesztés és a hőkezelés reprodukálására, valamint a szenibilizáció nyomainak azonosítását lehetővé tevő vizsgálatokra. A metallográfiai vizsgálatokkal megállapítható, hogy a hőkezelési idők és a szenibilizáció között szoros összefüggés áll fenn.*

## 1. Bevezetés

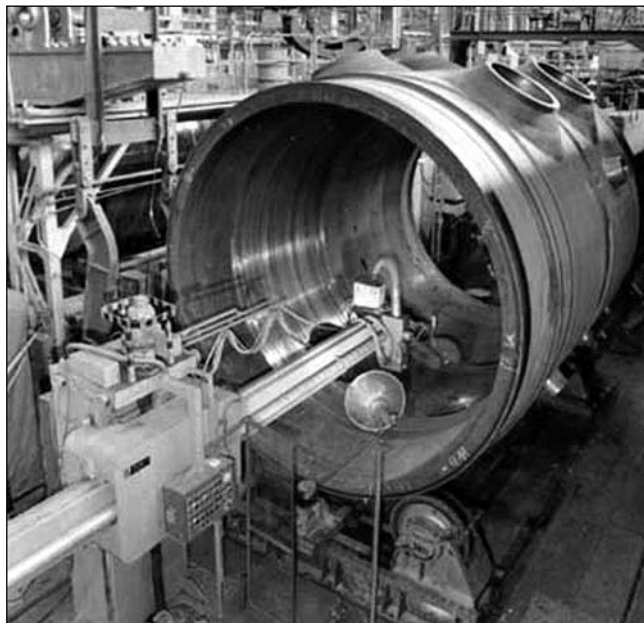
Magyarországon a nukleáris technika az 1960-as évek elejétől egyre meghatározóbb szerepet töltött be, amit az 1980-as években elkészült négy atomerőművi blokk még inkább megerősített. Az azóta eltelt közel 40 évben a magyar nukleáris ipar számtalan kutatás-fejlesztési feladatot hívott életre, amelyek eredményeként sor kerülhetett az atomerőművi energiatermelés biztonságának és a blokkok teljesítményének növelésére, valamint az üzemidő-hosszabbítás megvalósítására [1–10]. Ezeknek a sikereknek köszönhetően a Magyarországon beépített atomerőművi kapacitás 2000 MW, amivel az országban előállított villamos energia több mint 50%-a származik nukleáris energiatermelésből.

Annak érdekében, hogy az atomenergia részesedése a jövőben se csökkenjen, az elmúlt években elindult az atomerőművi villamosenergia-termelés kapacitásfenntartását célzó beruházás, amellyel 2400 MW villamos teljesítmény két lépcsőben történő bevezetését tervezik.

A kutatásban végzett munka célja a kapacitásfenntartási projekttel létesítendő, VVER-1200 típusú reaktortartály hegesztéstechnológiájával kapcsolatban felmerült kérdések vizsgálata, ezzel is hozzájárulva a magyarországi tudásbázis gyarapításához.

## 2. A reaktortartály gyártása

A nyomott vizes atomerőművekhez készülő reaktortartályok gyártása 100-500 tonnás tuskók öntésével kezdődik. Az argonöblítéses üstökben kezelt acélt vákuum alatt öntik, ezzel minimalizálva a gázzárványok kialakulásának veszélyét. A reaktortartály nyomástartó szerkezeti egységeinek alapanyaga a szovjet/oroszból származó szabványok szerinti, 15H2NMFA típusú, gyengén ötvözött acél. A megszilárdulást követően az öntött tuskó közepét átlukasztva, azt gyűrű formájúra kovácsolják. A reaktortartályt egy ellipti-



■ 1. ábra. A reaktortartály csonkgyűrűinek felrakóhegesztése gépi úton

kus fenékből és gyűrűkből, fedett ívű hegesztéssel hegesztik össze. Az élélőkészítés aszimmetrikus X varrat. A reaktortartályt alkotó gyűrűk falvastagsága meghaladhatja a 200 mm-t, a tartály átmérője pedig a 4 500 mm-t, hossza a 11 000 mm-t [11].

A reaktortartály belső felületét felrakóhegesztéssel, korrózióálló anyaggal rakják fel. A felület korrózióvédelmére többek között a reaktor hűtéséhez használt víz, illetve a neutronfizikai okokból hozzá adagolt bórsav és más, üzem közben alkalmazott vegyületek miatt van szükség. A korrózióálló felrakott réteghez használt hozaganyag króm-nikkel ötvözésű, ausztenites korrózióálló acél. A felrakóhegesztés kézi és gépi úton történik. A hengeres részekben szalagelektrodás felrakást alkalmaznak. Az eljárást [12] nyomán az 1. ábra szemlélteti. A nehezen hozzáférhető és az elkészült körvarratok fölötti részeket kézi hegesztéssel készítik. Mindkét megoldás esetén a bevonat három rétegből épül fel, amelyhez kétféle hozaganyagot használnak. Az első réteg az ún. párnaréteg (átmeneti réteg), amely erősebben ötvözött, 25% Cr- és 13% Ni-tartalmú, míg az azt követő két réteghez használt anyag 19% Cr és 10% Ni összetétellel jellemezhető. Az elkészült, három réteget magába foglaló korrózióálló réteg 9<sup>+1</sup> mm vastagságú [13].

*Székely Levente Csaba a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karán 2016-ban energetikai mérnök BSc, majd 2018-ban gépészmérnök MSc-oklevelet szerzett. 2021 elején hegesztő technológus szakmérnök oklevelet, illetve Nemzetközi Hegesztő Mérnöki (IWE) és Európai Hegesztő Mérnöki (EWE) címet szerzett. Jelenleg nukleáris területen, a TTSA Mérnökiroda Kft.-nél dolgozik, mint elemző mérnök. Kutatási, érdeklődési területe az atomerőművi anyagvizsgálatok és a mérnöki szerkezetek öregedéskézelése.*

Az elkészült körvarratokat és a korrózióálló réteget feszültségmentesítő hőkezelésnek vetik alá. Ennek következtében a gyártási sorrendtől függően vannak olyan gyűrűk, illetve bevonatrészek, amelyeket többször hőkezelnek. A hőkezelés hőmérséklete ~ 675 °C. Egy hőkezelési ciklus maximum 15 óráig tarthat. A ciklusok maximális száma öt, azaz a hőkezelési idő legfeljebb 75 óra lehet. A hőkezelést levegőn végzik [14]. A hőkezelés hőmérsékletén a bevonatban anyagszerkezeti változások következnek be, amelyek rontják a mechanikai és korrózióállósági tulajdonságait, ezért a hőkezelések bevonatra gyakorolt hatásának átfogó és alapos megismerése kulcsfontosságú.

### 3. A korrózióálló bevonat és a szenibilizáció

Az acél korrózióállóságát a krómmal való ötvözés növeli. Egyezményesen korrózióálló acélnak a 10,5% fölötti króm-tartalmú és legfeljebb 1,2% karbon-tartalmú acélokat nevezik. A króm a passzív réteg kialakulásában játszik szerepet króm-oxidok, jellemzően Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> keletkezésével, azonban a passzív réteg nem csak króm-oxidokból áll. Megfelelő körülmények között a passzív réteg egy-két nanométer vastagságú, pórusmentes, a felületen összefüggő oxidfilmként képződik. A nikkal az ausztenitképzők legfontosabb eleme, amely a korróziós ellenállás mellett a szívósságot is növeli. Ni-ötvözéssel elérhető a szobahőmérsékleten is stabil ausztenit fázis. Az 1. táblázat a korrózióálló bevonat hozaganyagainak megnevezését, szabványrendszerüket, az alkalmazható hegesztési eljárást és az anyagok vegyi összetételét ismerteti. A hegesztőanyagokat az európai piacon kapható EN-szabványos anyagokból választották ki, szem előtt tartva a GOSZT-szabványban rögzített vegyi összetételekkel való összehasonlíthatóságot.

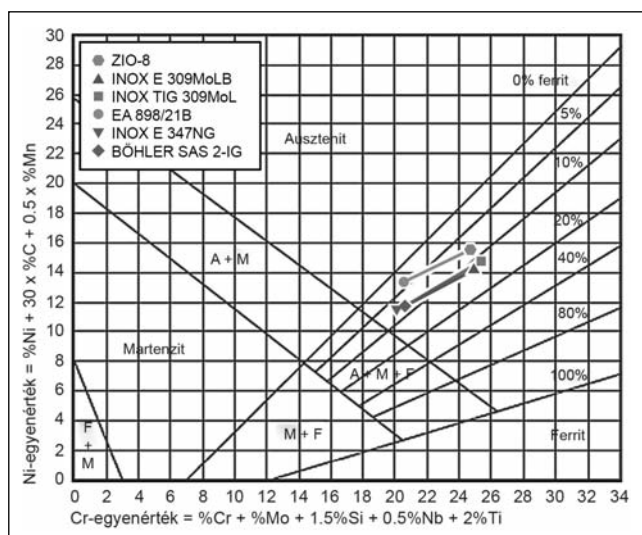
1. táblázat. A korrózióálló bevonat eredeti orosz és az európai piacon kapható hozaganyagai és azok összetétele a gyártók adatai szerint, %

Megnevezés	Rendszer	Eljárás	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb
<b>Párnaréteg</b>									
ZIO-8	GOSZT	111*	0,07	1,9	0,55	23,9	12,6	-	-
INOX E 309MoLB	EN	111	0,03	1,4	0,3	22	12,6	2,5	-
INOX TIG 309MoL	EN	141**	0,015	1,7	0,5	22	13	2,7	-
<b>Második és harmadik réteg</b>									
EA-898/21B	GOSZT	111	0,08	2,1	0,35	19,5	10	0,15	0,9
INOX E 347NG	EN	111	0,025	1,85	0,35	19,5	10	-	0,3
BÖHLER SAS 2-IG	EN	141	0,05	1,8	0,5	19,6	9,5	-	0,7

\* kézi ívhegesztés, \*\* tömör pálcával végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés

A korrózióálló bevonat hegesztése során a ferrit- és ausztenitképzők mennyiségének függvényében kialakuló szövetszerkezetet a Schaeffler-diagram segítségével a 2. ábra szemlélteti. Az ábrán az eredeti GOSZT-szabvány szerinti anyagok (kör és sokszög) mellett szerepelnek a vizsgálatba bevont EN-szabványos anyagok is (háromszög és négyszög). Az ábrán jól látszik, hogy az európai piacon kapható anyagok karbon-tartalma kisebb, ami kisebb nikkelegenértéket és ezáltal nagyobb várható delta-ferrit-tartalmat eredményez.

Az ausztenites acélok korróziós ellenállásának csökkentését okozó szövetszerkezeti változások egyik fő felelősé-



2. ábra. Schaeffler-diagram az eredeti orosz és az európai piacon kapható hozaganyagok összehasonlítására

nek tekinthető komplex karbid jellemzően M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> formában írható le, ahol az „M” Fe, Cr vagy Mo. A komplex karbidok szokásos megjelenési formái (Cr<sub>16</sub>Fe<sub>5</sub>Mo<sub>2</sub>)C<sub>6</sub>, (Cr<sub>17</sub>Fe<sub>4,5</sub>Mo<sub>1,5</sub>)C<sub>6</sub> vagy (FeCr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> kémiai képlettel írhatók le [15]. Látható, hogy a kiválás krómban gazdag. Mivel a kiválások alapvetően az ausztenit szemcsehatárokon keletkeznek, ezért a szemcsehatár környezete krómban elszegényedik, mennyisége 10,5% alá csökken, ezáltal korrózióra érzékennyé válik. Ez a folyamat, a szenibilizáció, 450–900 °C között jelentkezhet a kitétségi idő és karbon-tartalom függvényében. A jellemzően 0,03% karbon-tartalmú, ausztenites hegesztőanyagok esetében a feszültségmentesítő hőkezelések 650–675 °C hőmérsék-

letén már 1 óra elteltével jelentkezhetnek a kiválások.

A szenibilizációhoz vezető idő növelése a króm-karbid-kiválások akadályozásával ellensúlyozható. Ennek egyik módja a karbon más elemmel történő lekötése. A nióbium és titán affinitása a karbonhoz nagyobb, mint a krómnak. A felrakás második és a harmadik rétegének hozaganyaga e célból tartalmaz kis mennyiségben nióbiumot. Fontos megjegyezni, hogy a stabilizálás csak addig nyújt védelmet, amíg az anyagban van szabad stabilizáló elem, ennek hiányában a szenibilizáció kellő ideig, nagy hőmérsékletnek kitétt, stabilizált acélokban is jelentkezhet. A hegesztés során kialakuló delta-ferrit a szenibilizáció szempontjából

hátrányos, mert a ferritben a diffúziós folyamatok gyorsabban az ausztenithez képest, így a króm-karbidok is rövidebb idő alatt jelentkeznek.

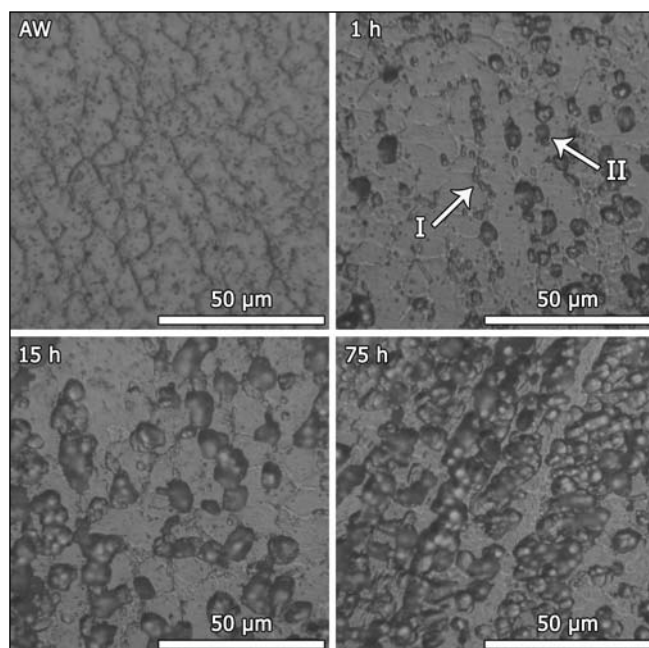
Az ausztenites acélban hő hatására a króm-karbid-kiválások mellett intermetallikus fázisok is keletkezhetnek. Az egyik legjellemzőbb a tetragonális szerkezetű szigma-fázis, amely szintén a 650–900 °C hőmérsékletközben válik ki. A ferritstabilizáló ötvözők erősen hozzájárulnak a szigma-fázis kiválásához, így forrása mindig a ferrit, ausztenites acélokban a delta-ferrit [16].

A kiválások morfológiai szempontból gyöngyfüzér jellegűek, legtöbbször a szemcsehatárokon keletkeznek. A szigma-fázis előfordulhat csomók formájában a szemcsék belsejében is. Keménységüket tekintve HV = 700–1000 közöttiek, ezért ridegen viselkednek. Létrejöttükkel az acél korróziós ellenállása csökken, a kristályközi és lyukkorróziós hajlamot növelik.

#### 4. Kísérletek

A kísérleteknek hármasként célja volt. Elsőként annak meghatározása, hogy a gyártóművi hegesztési technológia részeként elvégzett hőkezelés okozhat-e, és mekkora mértékű szenzibilizációt a korrózióálló felrakott rétegben. A második kérdésként annak a vizsgálata, hogy az eredeti, az Orosz Föderációban érvényes GOSZT-szabványrendszerbe tartozó hegesztési hozaganyagok kiváltása EN-szabványrendszerű anyagokkal milyen mértékben lehetséges, és kivitelezhető-e. További cél volt a gyártóművi dokumentációk, illetve a felrakóhegesztésre vonatkozó szabályzat [12] segítségével egy előzetes hegesztési munkarendi előírás (pWPS – Preliminary Welding Procedure Specification) elkészítése.

A pWPS alapján előállított próbatetek hegesztését 675 °C hőmérsékleten, több lépcsőben, 0-1-5-15-30-45-75 óra hűtési idővel történő hőkezelés követte. Ezután sor került a próbatetek műgyantába ágyazására és a csí-



■ 3. ábra. A metallográfiai vizsgálat felvételei a hőkezelési idő függvényében

szolatok elkészítésére. A szenzibilizáció mértékét metallográfiai vizsgálattal határoztuk meg, 10%-os oxálsavban történő elektromaratás után, az ausztenites acélok kristályközi korróziós érzékenységének kimutatására szolgáló ASTM A262 szabvány [17] szerinti „A” eljárásnak megfelelően. A szenzibilizáció mértéke a komplex karbidok oldódása útján keletkezett bemarkások méretének és számának vizsgálatával határozható meg.

Az optikai mikroszkópos felvételeket kiegészítendő a próbatetek pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatára is sor került, ami az elérhető nagyobb nagyításnak és mélységélességnek köszönhetően a bemarkások alakitani vizsgálatát is lehetővé tette. Emellett a bemarkások fenekén lévő korróziótermék pontbeli, illetve vonalmenti összetételének vizsgálatára is sor került energiadiszperzív röntgenspektrometriai elemzéssel (EDAX – Energy Dispersive X-Ray Analysis).

A mikroszkópos vizsgálatokat a próbatetek felrakott oldalán végzett Rockwell-keménységmérés, illetve mágneses elven működő delta-ferrit-tartalom meghatározás egészítette ki.

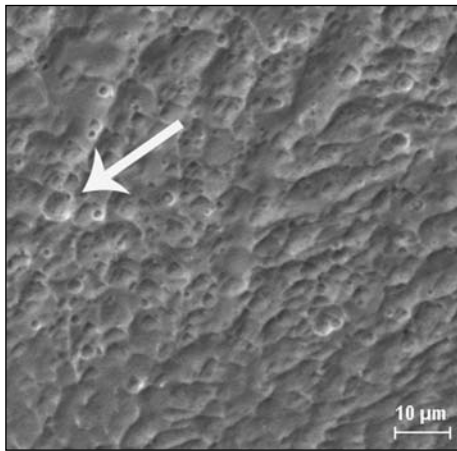
#### 5. Az eredmények és azok értékelése

A próbatetek felrakott rétege fémmikroszkópos vizsgálatának eredményét a 3. ábra foglalja össze. A felvételek bal felső sarkában elhelyezett karakterek jelölik a hőkezelési idő hosszát órában. Az AW jelölés a hegesztett állapotú, hőkezelés nélküli próbatestet jelenti.

A hőkezelés nélküli próbatestról készített felvételen jól kivehető a dendrites szövetszerkezet. A maratószer a primer ferrit + ausztenites kristályosodási folyamatban létrejött vermikuláris, illetve léces/csipkés ferritet marja meg, árkokat képezve a dendritágak között. A szemcsehatárokon gödörszerű bemarkás nem azonosítható. A kiválások okozta bemarkások helyei jól kivehetőek az 1 órás hőkezelési időhöz tartozó próbatest felvételén. Az I-gyel jelölt helyen, a szemcsehatáron fűzrszerűen megjelenő bemarkások elhelyezkedése és alakja megfelel a króm-karbid-kiválások esetén kialakuló szerkezetnek. A II-vel jelölt helyen nagyobb átmérőjű és mélyebb bemarkások, gödrök a ferritből kialakuló szigma-fázis vagy a szemcsék belsejében nióbbium-karbid jelenlétére utalnak. A hőkezelési idő növekedésével a szemcsehatárokon kiváló króm-karbidok mennyisége növekszik, ami megfigyelhető a 15 órás hőkezelt próbatestról készített felvételen. A hőkezelési időtartamának további növelése következtében a karbidok fokozatosan hálót képeznek a szemcsék körül, amit a 75 órás hőkezelt próbatetek képe szemléltet.

A felvételekkel kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy azokon a helyeken, ahol nem alakult ki a szenzibilizációra és kiválásokra visszavezethető, maratás okozta nyom, a szemcsehatárok ugyanolyan mértékben maródtak meg. Ez az alkalmazott maratási paraméterek (maratószer-koncentráció és áramfeszültség) helyes meghatározásának és a próbatetek közötti konstans értéken tartásának eredménye.

A 4. ábra a hőkezelés nélküli, hegesztett állapotú próbatest elektronmikroszkópos felvétele a felrakott rétegről. A nyílal jelölt alakzat a mérete és formája alapján nióbbium-



■ 4. ábra. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel egy nagyobb méretű kiválás helyéről

karbid-kiválás nyoma.

Emellett kisebb üregek is látszanak a felvételen, amelyek szintén karbidok nukleációs pontjaként azonosíthatók.

Az EDAX-vizsgálat segítségével a kiválások kimaródása folytán kialakult üregekben visszamaradó

korrozío-termékek összetételének vizsgálata azt mutatta, hogy a kiválások króm-karbidok voltak.

A keménységmérések során a hőkezeletlen próbatesteken átlagosan 86 HRB, a 75 órás hőkezelésen átesett próbatesteken átlagosan 93 HRB érték volt mérhető. Ezek az értékek azt mutatják, hogy a hőkezelés időtartamának növekedésével nő a felrakott réteg keménysége is. A króm-karbid, illetve szigma-fázis kiválás keményebb a hozaganyagnál, a hőkezelés időtartamának növekedése pedig a króm-karbid, illetve a szigma-fázis mennyiségének növekedésével jár.

A hegesztett állapotú próbatestek delta-ferrit tartalmának mérése azt mutatja, hogy a 141-es eljárással készített bevonat ~ 48%-kal több delta-ferritet tartalmaz (9,8%), mint a 111-es eljárással készült (6,6%). A különbség származhat az eltérő hozaganyagokból, de figyelembe kell venni, hogy a 141-es eljárással készült bevonatok nagyobb hőbevitelle szintén okozhatja a nagyobb delta-ferrit-tartalmat. A hőkezelési időtartamok növekedésével a delta-ferrit-tartalom csökkenése figyelhető meg; pl. a 141-es eljárással készült, hőkezeletlen próbatest 9,8%-os delta-ferrit tartalma a 15 órás hőkezeléssel 6,5%-ra, a 75 órás hőkezeléssel 2,8%-ra csökken. A jelenség a szigma-fázis keletkezésével magyarázható, mivel a hőkezelés hatására a ferromágneses delta-ferrit fokozatosan paramágneses szigma-fázissá alakul.

## 6. Következtetések

A próbatesteken elvégzett kísérletek több irányból közelítették meg a feladatban feltett első számú kérdést, a hőkezelésnek a korrózióálló felrakott réteg tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálatát. Az anyag szenzibilizációs hajlamának meghatározására egymástól fizikai elvben eltérő módszerekkel került sor, ilyen módon az eredmények egymástól függetlenek, mégis azonos eredményre vezetnek.

A metallográfiai vizsgálatokkal megállapítható, hogy a hőkezelési idők és a szenzibilizáció között szoros összefüggés áll fenn. Az adatok jól illeszkednek a szakirodalom eredményeihez is, és azt mutatják, hogy a hőntartási idő növelésével nő a szenzibilizációs hajlam is. A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat a próbatestek maratása

után is alkalmas volt a kiválások azonosítására.

A keménységmérés adatai szintén azt támasztják alá, hogy a hőntartás hatására az anyag keményedik, ami a kiválások keletkezésével magyarázható. A delta-ferrit-tartalom mérésének eredményei nemcsak a próbatestek előállításához alkalmazott kétféle hegesztési eljárás közötti különbségeket mutatják meg, hanem rámutatnak a hőkezelés hatására a delta-ferritből kiváló fázis jelenlétére is.

Mindezek ismeretében elmondható, hogy a feladat kezdeti célkitűzései teljesültek, illetve hasznos bemeneti adatot képeznek a következő lépésben vizsgálandó, GOSZT-szabványú anyagok szenzibilizációs hajlamának meghatározásához, az eltérő szabványrendszerű anyagok összehasonlításához.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszékén szervezett hegesztő technológus szakmérnöki képzés szakdolgozat-készítési feladata keretében valósult meg.

A kutatás eredményeinek széles körű bemutatására a XII. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás és 10. Anyagvizsgálat a Gyakorlatban Konferencia programjában került sor.

## Irodalom

- [1] Fekete Balázs, Trampus Péter, Radnóczy György: Az anyagszerkezetben végbemenő változás kinetikájának vizsgálata a reaktortartály anyagának termomechanikus fáradása során, BKL Kohászat, 2014. (147. évf.) 5–6. sz. 25–30. old.
- [2] Szávai Szabolcs, Beleznai Róbert: Effect of Increasing Crack Size on its Propagation in Cladded Reactor Pressure Vessel – Növekvő repedésméret hatásának tanulmányozása plattírozással rendelkező reaktortartály esetén, Anyagvizsgálók lapja, 2008. (18. évf.) 2. sz. 72–76. old.
- [3] Trampus Péter: A reaktortartály biztonságának elemzése, Fizikai szemle, 2008. (58. évf.) 9. sz.
- [4] Lehofer Kornél: A reaktortartály acélanganyagának ridegdedése, Anyagvizsgálók lapja, 2006. (16. évf.) 2. sz. 44–47. old.
- [5] Trampus Péter: Reaktortartály acél sugárkárosodása és a károsodás csökkentése, Anyagvizsgálók lapja, 2004. (14. évf.) 3. sz. 88–95. old.
- [6] Gillemot Ferenc, Horváth Lászlóné, Rátkay Sándor: Reaktortartály-élettartam vizsgálatok, Technika: műszaki szemle, 2003. (46. évf.) 11–12. sz. 45–48. old.
- [7] Trampus Péter: A reaktortartály szerkezeti integritása Magyar tudomány, 2003. 48. (109.) évf. 11. sz. 1425–1436. old.
- [8] Palásti József: Műszaki elemzés a reaktortartály plattírozásának és a belső berendezések felületének vizuális ellenőrzéséhez, Anyagvizsgálók lapja, 2001. (11. évf.) 2. sz. 48–49. old.
- [9] Pinczés János: Reaktortartály-vizsgálatok eredményeinek értékelése, Anyagvizsgálók lapja, 1995. (5. évf.) 2–3. sz. 59–61. old.

- [10] *Gillemot Ferenc*: Reaktortartályok neutronsugárzás okozta élettartam kimerülésének ellenőrzése *Gép*, 1979. (31. évf.) 7. sz. 244–247. old.
- [11] *B. T. Timofeev, G. P. Karzov*: Assessment of the WWER-440/V-213 reactor condition, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 2005. (vol. 83), 216–226. old., 2005.
- [12] *Janovec J., Petelová P.*: Materials and technology előadásjegyzet, Czech Technical University
- [13] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии »Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок«, NP-104-18, 2018. NP-104-18, 2018. Az atomenergia alkalmazásának területén érvényes, nukleáris erőművek berendezései és csővezetékei kötő- és felrakó hegesztésének az Orosz Föderáció területén érvényes szabályzata.
- [14] Škoda oborový podnik, Plzeň, КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ В-213-Ч/1, Поставочный чаш 1.1, КОПУС СВАРНОЙ, ПАСПОРТ, Škoda, 1980. (??)
- [15] *Bödök Károly*: Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. Budapest: Corweld Kft., 1997.
- [16] *Chih-Chun, Weite Wu*: Overview of Intermetallic Sigma ( $\sigma$ ) Phase Precipitation in Stainless Steels, *ISRN Metallurgy*, vol. 2012, 1-16. old., 2012.
- [17] Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels, ASTM A262-15, 2015

KÁDÁR CSILLA – PIERRE KUBELKA

## Alumínium- és magnéziumalapú szintaktikus habok

**Nyomásos infiltrálással előállított szintaktikus habok zömítési tulajdonságait és tönkremeneteli mechanizmusait vizsgáltuk. 99,6%-os tisztaságú alumínium és 99,8%-os tisztaságú magnézium mátrixanyagok és kétféle kerámia gömbhéj segítségével négyféle szintaktikus habot állítottunk elő. Az általunk vizsgált szintaktikus haboknál alumíniummátrix esetén az előállított szintaktikus habok nyomószilárdsága nem függött a felhasznált kerámia gömbhéj típusától. Alumínium helyett magnéziumot alkalmazva mátrixanyagként az egyik fajta (nagyobb átmérőjű) gömbhéjjal másfélszeres, a másik gömbhéjjal (kisebb átmérőjű) kétszeres szilárdságnövekedést lehetett elérni. A jelentős különbség valószínűleg az infiltráció során a Mg és a kisebb gömbhéj között fellépő reakciónak köszönhető, mely megváltoztatta a mátrix anyagának összetételét és ezáltal a mechanikai tulajdonságait.**

### 1. Bevezetés

Az autóiparban és a hadiiparban különösen fontos az olyan anyagok kifejlesztése és alkalmazása, amelyek lehetővé teszik a járművek tömegének csökkentését [1]. Erre egyrészt azon EU-rendeletek miatt van szükség, amelyek előírják a különböző gépjárművek üzemanyagfogyasztásának és ezzel együtt CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentését az üvegházhatás mérséklése miatt [2]. Másrészt – és ez különösen katonai járműveknél szempont – a jármű tömegének csökkenésével nő a manőverezhetőség.

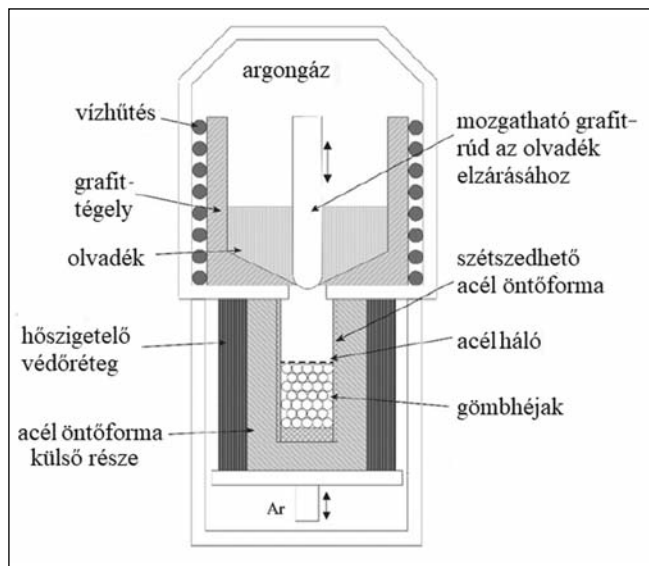
A fémmátrixú szintaktikus habok olyan speciális kompozitok, amelyeknél a fémmátrix anyagába üreges vagy porózus anyagokat, például kerámia vagy fém gömbhéjakat, duzzasztott perlitet vagy duzzasztott agyagkavicsot

raknak. Az ilyen anyagok kis sűrűségűek, jól alkalmazhatók energiaelnyelőként (pl. hadiiparban golyóálló páncélzatként [3]). Alkalmazhatóságuknak azonban jelenleg még gátat vet a magas előállítási költség és a szintaktikus habok viselkedésének hiányos ismerete. Míg egyszerű fémhabok esetén a fémhab legtöbb tulajdonsága leírható a habot alkotó fém tulajdonságának és a relatív sűrűség adott hatványának szorzatával [4], addig szintaktikus habokra ilyen összefüggés nem ismert. Habár történtek erőfeszítések egy-egy tulajdonságot befolyásoló tényezők feltárására, még számos paraméter hatása nem ismert.

Az eddig legtöbbet kutatott terület a mátrix anyagának hatása a szintaktikus fémhabok mechanikai tulajdonságaira. Számos szerző vizsgálta az ötvözés hatását alumínium- [5–7] és magnéziummátrix [8] esetén (adott töltőanyag mellett) a zömítési tulajdonságokra. Vizsgálták a

**Kádár Csilla** 2007-ben szerzett PhD-fokozatot az ELTE Anyagtudomány és Szilárdtestfizika Doktori Programban. 2007-től 2019-ig az ELTE Általános Fizika Tanszékén tanársegéd, 2018-tól az MTA-BME Lendület Kompozit Fémhabok Kutatócsoportban tudományos munkatárs, 2019-től a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszéken adjunktus. Kutatási területe a fémhabok és szintaktikus habok előállítása, mechanikai, szerkezeti és akusztikus emissziós vizsgálata.

**Pierre Kubelka** 2017-ben végzett a University of Applied Sciences of Konstanz-on. Jelenleg a Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Applied Materials intézetében doktorandusz hallgató és a Pforzheim Egyetem Materials and Material Technologies intézetében kutató. Kutatási témája alumínium- és magnéziumalapú szintaktikus habok előállítása és mechanikai tulajdonságainak meghatározása.



■ 1. ábra. A szintaktikus fémhab előállításához használt elrendezés sematikus vázlatja

gömbhéjak térfogatkitöltésének [9] és a gömbhéjak méretének [10], elrendezésének [11] a hatását is. Ugyanakkor a szintaktikus habok mechanikai tulajdonságai nemcsak a mátrix és a töltőanyag tulajdonságaitól függenek, hanem más kompozitokhoz hasonlóan a töltőanyag és a mátrix határfelületén létrejövő határreteg tulajdonságai is meghatározóak lehetnek [8, 12]. Ebben a cikkben azt vizsgáljuk, mennyire lehet elkülöníteni a mátrix és a töltőanyag hatását. Ehhez két jelentősen eltérő tulajdonságú mátrixot, és két lényegesen eltérő tulajdonságú kerámia gömbhéjből előállított szintaktikus habot vizsgálunk.

## 2. Felhasznált anyagok és módszerek

A vizsgálat során változtattuk mind a mátrix anyagát, mind a töltőanyagot. Mátrixanyagként 99,8%-os tisztaságú magnéziumot (a gyártó adatai alapján: 99,8 t% Mg, max. 0,05 t% Si, max. 0,05% Mn, max. 0,05 t% Fe, max. 0,05 t% Zn és max. 0,05 t% egyéb összetevő) és 99,6%-os tisztaságú alumíniumot (99,6 t% Al, 0,09 t% Si, 0,28 t% Fe, 0,02 t% Ti, és 0,01 t% egyéb összetevő) alkalmaztunk.

Töltőanyagként a Hollomet GmbH Globocer márkanévű kerámia gömbhéjait használtuk. A G1,45-tel jelölt gömbhéj átlagos külső átmérője 1,45 mm, falvastagsága ~ 250 μm volt. Ezek a gömbhéjak 33 t% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ot, 48 t% amorf SiO<sub>2</sub>-ot és 19 t% mullitot tartalmaztak. A G3,83-mal jelölt kerámia gömbhéj átlagos külső átmérője 3,83 mm, falvastagsága ~ 150 μm volt, és lényegében csak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ot tartalmazott. Az 1. táblázat a felhasznált gömbhéjak jellemzőit tartalmazza.

A vizsgált szintaktikus habokat módosított nyomásos infiltrációval állítottuk elő. Az előállítás az alábbi lépésekre bontható. Egy 20 mm oldalú, négyzet alapú acél öntőformába helyeztük az ép kerámia gömbhéjakat (az esetlegesen törött gömbhéjak kiválogatása és eltávolítása után). A gömbhéjak enyhe tömörítésével (rezgetéssel) körülbelül 60-64%-os térkitöltés érhető el [13, 14]. Ezt követően a kerámia gömbhéjakat acélhálóval leszorítottuk, hogy azok az infiltrálás során ne mozdulhassanak el. Az öntőformát a gömbhéjakkal együtt magnézium esetén 750 °C-ra, alumínium esetén 600 °C-ra melegítettük, majd a 900 °C-ra hevített magnéziummal, illetve az 1000 °C-ra hevített alumíniummal 1,5 bar argon gáznyomást 5 s-ig alkalmazva infiltráltuk a kerámia gömbhéjakat. A szintaktikus habokat a berendezésben hagytuk hűlni 300 °C-ig, majd az öntőformából kivéve szobahőmérsékletig. Az 1. ábra az elrendezés elvi vázlatát mutatja.

Az elkészült fémhabszövetek felületéről eltávolítottuk a tömörebb felületi részeket (a gömbhéj sugarának megfelelő vastagságban), majd H/D = 1,5-ös átmérőviszonyú, négyzet alapú hasábokat munkáltunk ki. A négyféle szintaktikus habnál összesen 12 mintán végeztünk kváziszintaktikus nyomóvizsgálatokat egy MTS 810 típusú univerzális anyagvizsgáló géppel. A zömítésekkel állandó keresztfejtéssel, 0,001 s<sup>-1</sup> kezdeti deformációs sebességgel hajtottuk végre 40-50%-os deformációig. A 2. táblázat tartalmazza a minták adatait. Zömítés közben digitális videokamerával rögzítettük a felületen végbemenő változásokat. Az előállított szintaktikus habok mikroszerkezeti tulajdonságait csiszolatokon vizsgáltuk Olympus PMG3 optikai mikroszkóppal és TM4000 pásztázó elektronmikroszkóppal.

1. táblázat. Az alkalmazott kerámia gömbhéjak tulajdonságai és összetétele tömegszázalékban

Jelölés	Külső átmérő (mm)	Falvastagság (μm)	Összetétel (t%)
G1,45	1,45	250	33 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 48 amorf SiO <sub>2</sub> ; 19 mullit
G3,83	3,83	150	99,7 Al; 1,5 Na <sub>2</sub> O; 0,05 SiO <sub>2</sub> , 0,03 Mg(OH) <sub>2</sub> , 0,07 egyéb oxid

2. táblázat. Az előállított szintaktikus fémhab minták adatai. Ugyanabból az öntésből készült minták esetén a cellák háttérét azonos árnyalattal láttuk el, a többi minta mind különböző öntésből készült

Elnevezés	Méret (mm)	Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Nyomószilárdság (MPa)	Nyomószilárdság átlaga, szórása (MPa)
Mg_G1,45_1	9,5 × 9,5 × 14,25	1,48	82,2	83,4 ± 1,0
Mg_G1,45_2		1,51	83,4	
Mg_G1,45_3		1,51	84,6	
Al_G1,45_1	9,5 × 9,5 × 14,25	1,77	43,2	43,5 ± 0,7
Al_G1,45_2		1,82	44,5	
Al_G1,45_3		1,81	42,9	
Mg_G3,83_1	17,5 × 17,5 × 26,5	1,17	60,4	56,9 ± 4,2
Mg_G3,83_2		1,14	59,3	
Mg_G3,83_3		1,15	51,0	
Al_G3,83_1	17,5 × 17,5 × 26,5	1,53	42,4	42,4 ± 1,8
Al_G3,83_2		1,54	40,1	
Al_G3,83_3		1,59	44,6	

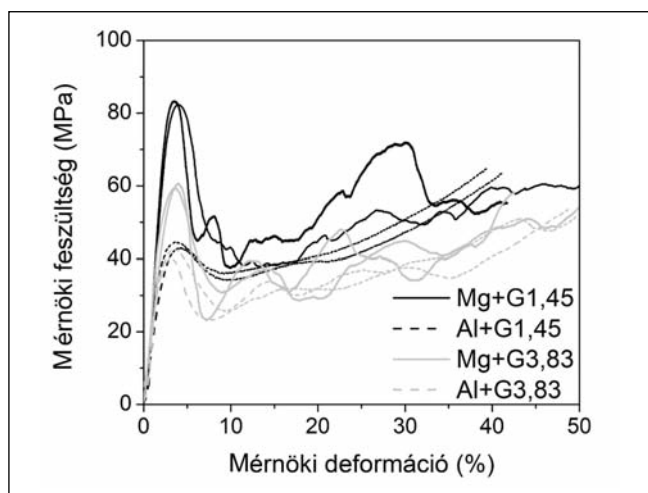
### 3. Eredmények és elemzésük

#### 3.1. Mechanikai tulajdonságok

A 2. ábra a négy különböző szintaktikus fémhab jellegzetes mérnöki feszültség–mérnöki deformáció görbéjét mutatja. A mérések szórásának érzékeltetésére minden szintaktikus habtípus esetén véletlenszerűen kiválasztott két-két deformációs görbét ábrázoltunk. Az általunk vizsgált szintaktikus fémhabok deformációs görbéi a szintaktikus fémhabokra jellemző sajátosságokat mutatnak: a kezdeti kvázilineáris szakaszt követően a szintaktikus fémhabok a legtöbb esetben a feszültségben lokális maximumot mutatnak (nyomószilárdság), majd a csúcspont elérése után a mátrix anyagától és a töltőanyag tulajdonságaitól függően kisebb-nagyobb feszültségesés következik, melyet a II. szakasz követ, melyet platószakasznak hívnak [1, 15]. Ebben a második szakaszban a feszültség vagy egy közel állandó érték körül ingadozik, vagy alakítási keményedést mutat [1].

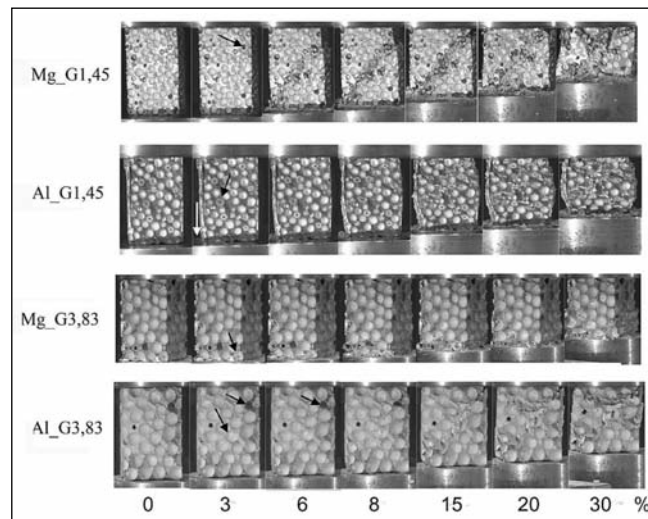
A vizsgált szintaktikus fémhabok deformációs görbéi jól reprodukálhatónak mondhatók, tekintve a gömbhéjak eltérő elhelyezkedéséből adódó szórás [16, 17]. Bár az összenyomáshoz használt minták méretei nem érték el a szabvány által ajánlott értéket (az átlagos gömbhéjméret minimum tízszerese), egyes tanulmányok arra engednek következtetni, hogy a zömítés során alkalmazott méret már elegendően nagy ahhoz, hogy a minták zömítési tulajdonságait összehasonlíthassuk [5, 18, 19]. A 2. táblázatban feltüntetett nyomószilárdság-értékek és ezek szórásai is ezt támasztják alá.

A mért nyomószilárdság-értékek azt mutatják, hogy míg alumíniummátrix esetén a különböző gömbhéjakat tartalmazó szintaktikus fémhabok nyomószilárdsága közel azonos, addig magnéziummátrix esetén a kisebb átmérőjű, de vastagabb falú G1,45 gömbhéj alkalmazása a G3,83-as gömbhéj helyett 40%-os nyomószilárdság-növekedést eredményez. Azaz a gömbhéjak tulajdonságai (adott határon belül) a nyomószilárdságot csak magnéziummátrix esetén befolyásolják jelentősen, alumíniummátrix esetén ez a hatás elhanyagolható.



■ 2. ábra. Alumínium, illetve magnéziummátrixú szintaktikus fémhabok mérnöki feszültség–mérnöki deformáció görbéi különböző kerámia gömbhéjakkal

Az eltérés lehetséges okainak feltárásához megvizsgáltuk az egyes szintaktikus fémhabok szerkezetét és tönkremeneteli mechanizmusait. A 3. ábra a minta felületének változásait mutatja különböző deformációk esetén. A képek segítségével például megvizsgálhatjuk, hogy 3%-os deformáció, azaz a csúcspont kialakulásának környékén észlelhetünk-e a deformáció lokalizáltságára utaló jeleket.



■ 3. ábra. Alumínium- és magnéziummátrixú szintaktikus habok felülete különböző kerámia gömbhéjak esetén 0–30%-os mérnöki deformáció esetén.

Az Al\_G3,83 (nagy átmérőjű gömbhéj alumíniummátrixban) minták esetén a nyírási sáv 3%-os deformáció esetén már látható volt; a fekete nyílak a 3. ábrán mutatják a kialakult repedéseket a kerámia gömbhéjakban, illetve a jobb felső sarokban kettévágott gömbhéj alakváltozását. Ugyanakkor 6%-nál még a gömbhéjak további törése látszik, és csak 8%-os deformációnál látszik a felületen a mátrix anyagának deformációja. Hasonló tönkremenetelről számol be *Orbulov* alumíniummátrixú, SLG mikrogömbhéjakat (Envirospheres Pty. Ltd.) tartalmazó szintaktikus fémhaboknál [20].

Az Al\_G1,45 (kis átmérőjű gömbhéj alumíniummátrixban) mintáknál is látszódik a tönkremenetel kezdete 3%-os deformációnál: a minta felületén törött gömbhéjak találhatók, amelyekből kihulló por látható a minta mellett (lásd fekete nyíl). A tönkremenetel ebben az esetben majdnem a minta teljes térfogatában megy végbe, és nem lokalizálódik nyírási sáv(ok)ba. Ilyen kiterjedt tönkremenetelt írnak le pl. a [21, 22] publikációkban.

Az Mg\_G3,83 (nagy átmérőjű gömbhéj magnéziummátrixban) minták tönkremenetele az Al\_G3,83 mintához hasonlóan a gömbhéjak törésével kezdődik, ~ 3% deformáció környékén. A gömbhéjak törése után azonban hasonlóan viselkedik, mint egy kis sűrűségű hagyományos fémhab: az összenyomás irányára közel merőlegesen alakul ki egy deformációs sáv, amelyben a cellák összeroppannak. Ezután az összetömörödött deformációs sávval szomszédos cellasor kezd el deformálódni.

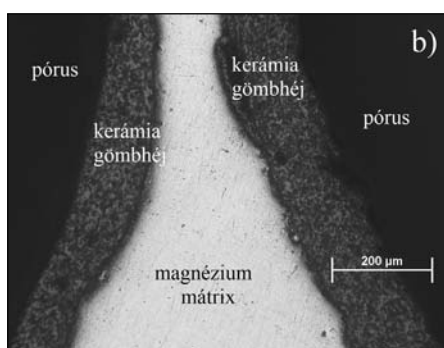
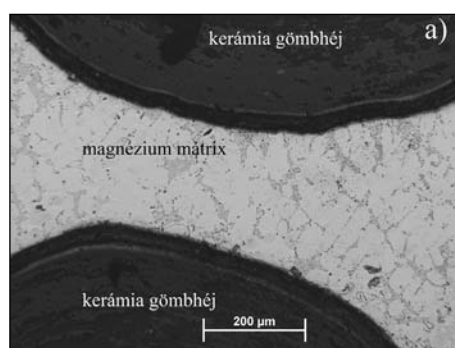
Végül az Mg\_G1,45 (kis átmérőjű gömbhéj magnéziummátrixban) mintáknál 3% deformációnál a később látható nyírási sáv környezetében lévő felületen elhelyezkedő gömbök nemcsak megrepednek, hanem nagyobb darabok

ki is esnek az üregből. 6%-os deformációnál ez a nyírási sáv már jól látható; e mentén mozdul el egymáson a minta felső és alsó darabja.

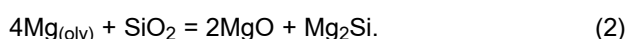
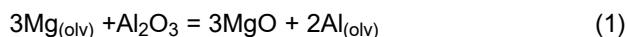
Összességében azt állapíthatjuk meg, hogy 3%-os deformáció környékén elkezdődik a kerámia gömbhéjak repedése, törése, így a feszültségesés valószínűleg a kerámia gömbhéjak töréséhez köthető. Mind alumínium-, mind magnéziummátrix esetén a mátrix képlékeny deformációja már ezt megelőzően elkezdődik mindkét gömbhéj esetén.

### 3.2. Szerkezeti vizsgálatok

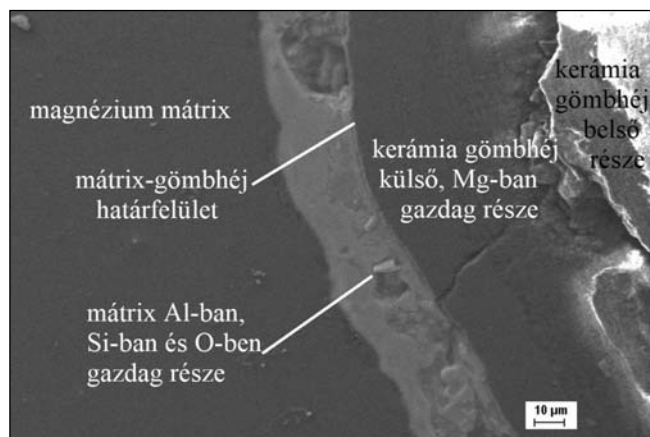
A szintaktikus fémhabokról készített felvételeken (4. ábra) látható, hogy a G1,45 jelzésű kerámia gömbhéj az előállítás során reakcióba lépett az olvadt magnéziummal. Ennek következtében mind a kerámia gömbhéj külső 30-40 µm-es részén, mind a mátrix gömbhéjjal érintkező 20-30 µm-es részén reakciók játszódtak le (5. ábra), melyek során nagy valószínűséggel az olvadt magnézium redukálta a szilícium-dioxidot és az alumínium-oxidot az alábbi reakcióegyenletek szerint [12, 23, 24]:



■ 4. ábra. a) Mg\_G3,83; b) Mg\_G1,45 csiszolati képe

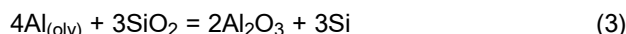


Bár az olvadt magnézium és a szilícium-dioxid között számos reakció mehet végbe, az 5. ábrán, a határfelület mentén található repedt, rideg szövetelemek arra engednek következtetni, hogy a lehetséges reakciók közül meghatározóan csak a fenti reakciók játszódnak le [12, 23].



■ 5. ábra. Mg\_G1,45 mintában a mátrix-kerámia gömbhéj határfelületének elektronmikroszkópos képe. A mátrix Al-ban, Si-ban és O-ben gazdag rétegét a jobb láthatóság miatt kivilágítottuk

A magnéziummátrixban az Mg\_G1,45 esetén megtalálható az (1) reakcióegyenlet következtében keletkező  $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$  intermetallikus fázis, míg a Mg\_G3,83 esetén a csiszolaton (4. ábra) nem látszik semmilyen intermetallikus fázis. Ennek valószínűleg az az oka, hogy míg a G1,45 kerámiagolyók vékony kerámia rétegekből állnak [25], addig a G3,83 gömbhéjak a gyártásból adódóan sokkal tömörebbek. Így a G3,83-as kerámia gömbhéjnal valószínűsíthető, hogy a reakció korlátozottan megy végbe a térfogati diffúzió miatt, míg G1,45-ös kerámia gömbhéjnal a felületi diffúzió hatására sokkal nagyobb térfogatban játszódhatnak le az (1) és (2) reakciók. Alumíniummátrix esetén az alábbi reakció játszódik le [26]:



Májlinger és Orbulov mérései alapján azonban a G1,45-ös kerámia gömbhéj és a kohóalumínium között lejátszódó reakció következtében csak a mátrix-gömbhéj határfelületénél lévő ~ 10 µm-es alumíniumréteg ötvöződik szilíciummal [26]. Méréseink alapján ez a határréteg a mi esetünkben is csak néhány µm.

### 4. Következtetések

Fémhátrixú szintaktikus habok nyomószilárdságát és tönkremeneteli mechanizmusait vizsgáltuk négy különböző típusú szintaktikus fémhab esetén, változtatva mind a mátrix anyagát, mind a töltőanyagot. A vizsgálatokhoz alumínium-, valamint magnéziummátrixot és két, különböző nagy-

ságú és összetételű kerámia gömbhéjából előállított szintaktikus fémhabot használtunk. Az előállított habok mindegyike rendelkezett 3% körüli alakváltozásnál úgynevezett csúcsfeszültséggel, amely után feszültségesést tapasztaltunk az  $\text{Al}_G1,45$ -ös mintákat leszámítva, ahol ez a feszültségesés elhanyagolható volt. Ebben az esetben a minta deformációja majdnem a minta teljes térfogatára kiterjedt. A többi esetben a feszültségesés után a felületen nyírási sáv jelent meg. A kialakult nyírási sáv irányát befolyásolta mind a gömbhéj geometriája, mind a mátrix anyaga: nagy átmérőjű, vékony falú gömbhéj és magnéziummátrix esetén ez a sáv közel vízszintes volt, a többi esetben közel 45°-os.

Alumíniummátrix esetén az előállított szintaktikus habok nyomószilárdsága nem függött a felhasznált kerámia gömbhéj típusától. Alumínium helyett magnéziumot alkalmazva mátrixanyagként, a G3,83 gömbhéjjal másfélszeres, a másik G1,45 gömbhéjjal kétszeres szilárdságnövekedést lehetett elérni. A jelentős szilárdságkülönbség valószínűleg annak köszönhető, hogy a szilícium-dioxidot tartalmazó gömbhéj esetén az olvadt magnézium és a gömbhéjban található oxidok közötti reakció a felületi diffúzió miatt jóval nagyobb térfogatban játszódott le, mint a tömörebb, csak alumínium-oxidot tartalmazó gömbhéj esetén. Ezáltal az „erősítő” hatás egy része a mátrixanyag ötvöződésének köszönhető.

## Köszönetnyilvánítás

A cikkben leírt kutatás a European Regional Development Fund (EFRE), a Baden-Württemberg állam Ministry of Science, Research and the Arts (MWK) keretein belül működő ZAFH InSeL kutatási program (no. 32-7545.24-20/6/3) és a TÉT (2019-2.1.11-TÉT-2019-12 00058) támogatásával jött létre.

## Irodalom

- [1] Gupta, N., Luong, D. D., Cho, K.: Magnesium Matrix Composite Foams—Density, Mechanical Properties, and Applications. *Metals* 2012, 2, 238–252. <https://doi.org/10.3390/met2030238>
- [2] [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation\\_hu](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_hu)
- [3] Marx, J., Portanova, M., Rabiei, A.: Performance of Composite Metal Foam Armors against Various Threat Sizes. *J. Compos. Sci.* 2020, 4, 176. <https://doi.org/10.3390/jcs4040176>
- [4] Michael F. Ashby, Tony Evans, NA Fleck, J. W. Hutchinson, H. N. G. Wadley, L. J. Gibson: *Metal Foams: A Design Guide*, 2000, Butterworth – Heinemann, Boston
- [5] Kubelka P., Matz A. M., Jost N.: (2020) Compression Behavior of Low-Pressure Cast AMC Syntactic Foams with High Porosity. In: Dukhan N. (eds) *Proceedings of the 11th International Conference on Porous Metals and Metallic Foams (MetFoam 2019)*. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42798-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42798-6_11)
- [6] R. A. Palmer, K. Gao, T. M. Doan, L. Green, G. Cavallaro: Pressure infiltrated syntactic foams—Process development and mechanical properties, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 464, 2007, Pages 85–92, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.01.116>.
- [7] I. N. Orbulov, J. Ginzlter: Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams, *Compos. Part 16 A: Appl. S.* 43 (2012) 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.01.008>
- [8] M. Hartmann, K. Reindel, R. F. Singer: Fabrication and Properties of Syntactic Magnesium Foams, 18 *MRS Proceedings* 521 (1998) 211. <https://doi.org/10.1557/PROC-521-211>
- [9] P. K. Rohatgi, J. K. Kim, N. Gupta, Simon Alaraj, A. Daoud: Compressive characteristics of A356/fly ash cenosphere composites synthesized by pressure infiltration technique, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 37, Issue 3, 2006, Pages 430–437, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.05.047>.
- [10] M. Kiser, M. Y. He, F. W. Zok: The mechanical response of ceramic microballoon reinforced aluminum matrix composites under compressive loading, *Acta Materialia*, Volume 47, Issue 9, 1999, Pages 2685–2694, [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00129-9](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00129-9).
- [11] M. Hartmann, I. Crössmann, K. Reindel, R. F. Singer: Microstructure and Mechanical Properties of Cellular Magnesium Matrix Composites, In: J. Banhart, M.F. Ashby, N.A. Fleck: *Metal Foams and Porous Metal Structures*. MIT Verlag, 1999
- [12] Pierre Kubelka, Csilla Kádár, Norbert Jost: Effect of the interface on the compressive properties of magnesium syntactic foams, *Materials Letters*, Volume 287, 2021, 129293, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.129293>.
- [13] D. Sebők, C. Wiener, Á. Kukovecz: Szintaktikus fémhabok deformációja során fellépő szerkezeti változások
- [14] Katona Bálint, Orbulov Imre Norbert: Kerémiagömbhéjakkal töltött szintaktikus fémhabok kvázistatikus és nagy alakváltozási sebességű vizsgálata. *BKL Kohászat*, 149. évf 3. szám, 2016
- [15] A. Santa Maria, B. F. Schultz, J. B. Ferguson, P. K. Rohatgi: Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> syntactic foams – Part I: Effect of matrix strength and hollow sphere size on the quasi-static properties of Al–A206/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> syntactic foams, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 582, 2013, Pages 415–422, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.05.081>.
- [16] Imre Norbert Orbulov, Attila Szlancsik, Alexandra Kemény, Domonkos Kincses: Compressive mechanical properties of low-cost, aluminium matrix syntactic foams, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 135, 2020, 105923, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105923>.
- [17] Katona Bálint, Szabó Gábor, Orbulov Imre Norbert: Fémhátrix szintaktikus fémhabok fáradási tulajdonságai, *BKL Kohászat*, 148. évf 2. szám, 2015
- [18] Yue Zhang, Tao Jin, Shiqiang Li, Dong Ruan, Zhihua Wang, Guoxing Lu: Sample size effect on the mechanical behavior of aluminum foam, *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 151, 2019, Pages 622–638, <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.12.019>.
- [19] Kádár C., Máthis K., Chmelik F., Knappek M., Orbulov I. N.: (2020) The Deformation of Expanded Clay Syntactic Foams During Compression Characterized by Acoustic Emission. In: Dukhan N. (eds) *Proceedings of the 11th International Conference on Porous Metals and Metallic Foams (MetFoam 2019)*. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42798-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42798-6_10)
- [20] Imre Norbert Orbulov: Compressive properties of aluminium matrix syntactic foams, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 555, 2012, Pages 52–56, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.032>.
- [21] Dorian K. Balch, John G. O'Dwyer, Graham R. Davis, Carl M. Cady, George T. Gray, David C. Dunand: Plasticity and damage in aluminum syntactic foams deformed under dynamic and quasi-static conditions, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 391, Issues 1–2, 2005, Pages 408–417., <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.09.012>.
- [22] G. H. Wu, Z. Y. Dou, D. L. Sun, L. T. Jiang, B. S. Ding, B. F. He: Compression behaviors of cenosphere–pure aluminum syntactic foams, *Scripta Materialia*, Volume 56, Issue 3, 2007, Pages 221–224., <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.10.008>.
- [23] Johnson, P. K., Fazal-Ur-Rehman, Fox, S., Flower, H. M., and West, D. R. F.: Interface reactions in the Al–Si–SiC and Mg–Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite systems. Switzerland: N. p., 1995. Web.
- [24] Fazal-Ur-Rehman, Fox, S., Flower, H. M. et al.: Fibre/matrix interactions in magnesium-based composites containing alumina fibres. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE* 29, 1636–1645 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF00368938>
- [25] Kádár, C., Máthis, K., Knappek, M., Chmelik, F.: The Effect of Matrix Composition on the Deformation and Failure Mechanisms in Metal Matrix Syntactic Foams during Compression. *Materials* 2017, 10, 196. <https://doi.org/10.3390/ma10020196>
- [26] Kornél Májlínger, Imre Norbert Orbulov: Characteristic compressive properties of hybrid metal matrix syntactic foams, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 606, 2014, Pages 248–256, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.03.100>.

## Emlékeztető az OMBKE Választmány 2021. április 29-i üléséről

Az ülést jogszabályi felhatalmazás alapján online tartották. A választmány határozatképes (jelen volt 17 fő a 23-ból), és az alábbi napirendi pontokat tárgyalta.

**1. Elnöki tájékoztatás az előző választmányi ülést követő eseményekről** (dr. Hatala Pál)

**2. Ügyvezetői tájékoztató az Egyesület aktuális pénzügyi helyzetéről, a Múzeum krt.-i lakás értékesítésének állásáról** (Zelei Gábor)

A Múzeum krt.-i ingatlan eladása nehezen halad, a részletesen vázolt problémák alapján az ügyvezető javasolja az ingatlanirodával a szerződés bontását.

Az ügyvezető bemutatta az előzetes 2021. 1. negyedéves számokat. Az Egyesület árbevétele a negyedévben 16,3 M Ft volt, ennek döntő része az egyéni tagdíjbevételekből, (6,4 M Ft), és a pártoló tagok támogatásából (4,7 M Ft + 4,8 M Ft FÉMALK) állt össze. A tagdíjbefizetési felhívások eredményeként április 29-ig már az egyéni tagdíjbefizetések elérték a 8,3 M Ft-ot.

A kiadási oldalon a számítástechnikai szolgáltatási díjak magasabbak az időarányos értéknél, mivel a „home office” miatt eszközbeszerzés történt. A bérleti díjat csökkentett mértékben fizeti az egyesület. A költségek a BKL-lel együtt valamivel meghaladták a 8 M Ft-ot.

Hozzászólásként az egyesület elnöke tájékoztatta a választmányt arról, hogy indokoltnak látja az ügyvezető fizetését megemelni. A hivatalos döntésig saját hatáskörben, múlt év december közepétől vállalkozási szerződésben egészíti ki az ügyvezető fizetését. Ezt a választmány részéről többen kifogásolták, tekintve, hogy az álláspályázat nem ilyen feltételekkel lett meghirdetve.

**3. Főtitkári tájékoztató az OMBKE 2021. évi (összegyesületi) rendezvényeiről** (Kőrösi Tamás)

A 2021. év első félévére tervezett rendezvények nagy részét elhalasztották (pl. BKE-találkozó, Tatabánya), vagy online tartották meg (pl. EMT BKF konferencia), a nagyobb rendezvények (Központi Bányásznapi, Selmei Szalamander) megtartása bizonytalan. Remélhetőleg a második félévre tervezett rendezvényeket, konferenciákat meg lehet tartani.

**4. Az Egyesület 2020. évi beszámolójának előterjesztése, a Felügyelő Bizottság és a Könyvvizsgáló jelentésének meghallgatása** (Zelei Gábor, Boza István, dr. Debreczeni Ákos)

Az ügyvezető részletesen ismertette az Egyesület 2020. évi beszámolóját. A 2020-as év mind bevételeiben, mind kiadásában jelentősen alacsonyabb volt a tervezettnél a COVID-helyzet miatt. Az Egyesület éves bevétele 2020-ban 38,346 M Ft volt, ami jelentősen elmarad a 2019-ben elért 70,904 M Ft-tól. Az Egyesület kiadásai 2020-ban

összesen 37,67 M Ft-ot, míg 2019-ben 62,114 M Ft-ot tettek ki. Így az Egyesület eredménye 676 E Ft lett, míg 2019-ben még 5,743 M Ft volt.

Boza István könyvvizsgáló az Egyesület számviteli nyilvántartásait és a könyvelési folyamatait rendben lévőnek találta és a Választmánynak elfogadásra javasolja a 2020. évi beszámolót.

Az ellenőrző bizottság szintén elfogadásra javasolja a 2020. évi beszámolót.

A Választmány egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta a beszámolót.

**5. Ügyvezetői javaslat az Egyesület 2021. évi tervének elfogadásáról**

Az egyesület 2021. évi tervének a bázisul a 2020-as év tényezőit vette alapul azzal a kiegészítéssel, hogy a járványhelyzet javulására számítunk az év második felében. Remélhetőleg több rendezvény és konferencia szervezése megvalósulhat. Tagdíj, pártoló tagdíj és rendezvényszervezés bevételeivel is számol a terv. Összességében 46,489 M Ft bevételre számít az egyesület 2021-ben.

A kiadási oldalra is az a jellemző, hogy a tervezett összegeket a 2019-es és a 2020-as tényértékek közé állították be, arra számítva, hogy a második félévre az egyesületi élet visszatér a normális kerékvágásba. Mindösszesen a várható kiadás 2021-ben 37,309 M Ft lesz a BKL nélkül és 46,309 M Ft a BKL-lel, így enyhe pluszban tudja az egyesület zárni a 2021-es évet.

Hozzászólta a 2021. évi tervhez: dr. Debreczeni Ákos, Sándor István, ifj. Ósz Árpád, Boross Péter, Törő György.

A választmány ellenszavazat nélkül elfogadta a 2021. évi tervet, 1 ellenszavazattal pedig az ügyvezető bérének havi bruttó 600.000 Ft-ra történő emelését.

**6. Ügyvezetői javaslat az Egyesület új székházának megvásárlásáról és a hiányzó összeg előteremtéséről**

A tárgyalások eredményeként a 120 millió Ft-os vételárát sikerült sávosan „lealkudni”, három változat kidolgozásával. A legkedvezőbb konstrukció 113,5 millió Ft, ha azt az egyesület egy összegben kifizeti 2021. május 31-ig. Az egyesület elnöke és ügyvezetője részletesen bemutatták az egyes konstrukciókat és a forrás alakulását.

A választmány tagjai érdemben megvitatták a lehetőségeket (hozzászólta dr. Debreczeni Ákos, Törő György, Huszár László, Hideg József).

A választmány egyhangú döntéssel felhatalmazta az elnököt az ingatlanközvetítő szerződésének felmondására. 1 ellenszavazat és 3 tartózkodás mellett felhatalmazta az elnököt a Budapest, X. ker. Hízlaló tér 1. szám alatti önálló irodaház céljára megvenni szándékozott ingatlan adásvételi szerződésének ismertett opciók szerinti megvásárlását.

ra a forrás rendelkezésre állásának függvényében. A tagok által felajánlott kölcsönöszegekre vonatkozó kölcsönserződés megkötésére vonatkozó felhatalmazást egyhangúlag megszavazta a választmány.

**7. Az Alapszabály Bizottság elnökének tájékoztatója az OMBKE Alapszabályának módosításáról** (dr. Lengyel Károly)

Az Alapszabály Bizottság (AB) február végéig kapott határidőt, hogy az Alapszabályt és az SZMSZ-t elkészítse. Az elkészült javaslatok ügyvédi ellenőrzése, a két dokumentum összefésülése folyamatban van. Mindkét dokumentum a következő választmányi ülés elé kerülhet.

Az ügyvédi ellenőrzés eredményeként sok rendelkezést az SZMSZ-ből vissza kellett tenni az Alapszabályba a törvényi szabályozás és a bírói gyakorlat változásai miatt. Az elfogadás technikai módja várhatóan a következő lesz: amennyiben a küldöttgyűlés határozatképes és az új Alapszabályt elfogadja, ezt követően a Választmány egyöntetűen lemond, vagy a Küldöttgyűlés visszahívja a Választmányt testületileg, az érvényes mandátummal működő Jelölő Bizottság az új Elnökség megválasztását levezényli, az új Elnökség elfogadja az SZMSZ-t és a bíróság részére

az új Alapszabály és az SZMSZ együttesen benyújtható lesz.

A Választmány egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta a tájékoztatót.

**8. Ügyvezetői tájékoztatás a XXII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferenciáról**

Az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság úgy döntött, hogy a XXII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferenciát egynapos online formában szervezi meg május 8-án. 13 földtani előadás, 1 földtani poszter, 5 bányászati előadás, 3 bányászati poszter és egy bányászati témájú tudománytörténeti előadás fog elhangzani. Idén kohászati témájú előadással nem jelentkezett senki, így ez a szekció idén nem kerül megtartásra. A bányászati plenáris ülés megtartására prof. dr. Mucsi Gábor dékánt kérték fel, aki örömmel elfogadta a felkérést.

A Választmány egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta a tájékoztatót.

**9. Egyebek**

Mivel nem érkezett javaslat, az Elnök megköszönte mindenki munkáját és a Választmány ülését bezárta.

*Összeállította dr. Vigh Tamás*

## A Miskolci Egyetem hírei

• A Műszaki Anyagtudományi Kar a 2020/21. tanév II. félévét (2021 februárjában) az országos vírusvédelmi intézkedéseknek megfelelően távoktatás formájában kezdte meg, és ebben a formában is fejezte be. A félév végi vizsgák online történtek, kivéve az államvizsgákat.

• 2021. június 8–10. között zajlottak a Műszaki Anyagtudományi Kar záróvizsgái. Összesen 30 hallgató hat záróvizsga-bizottság előtt adott számot tudásáról. A záróvizsgára vírusvédelmi intézkedések mellett, de a megszokott, személyes formában került sor. A záróvizsga követelményeit minden hallgató sikeresen teljesítette.

A júniusban záróvizsgázók közül 28-an rendelkeztek az előírásoknak megfelelően nyelvvizsgával, 2 főnek a záróvizsga időpontjában nem volt nyelvvizsgája.

Gratulálunk a frissen végzett kollégáinknak, és további sikereket kívánunk!

• A Műszaki Anyagtudományi Kar Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolájában PhD-diszsertációját *Manoj Kumar Pal* 2021. február 26-án nyilvános vitán védte meg. Gratulálunk kollégáinknak, és további sikereket kívánunk!

• A 2020/21 tanév II. félévében a Műszaki Anyagtudományi Kar a hallgatóinak létszáma 251 fő volt, ebből a nappali tagozatos BSc-hallgatók száma 114, az MSc-hallgatóké 40 volt. Levelező tagozaton BSc-képzésen 42, MSc-képzésen pedig 55 fő folytatta tanulmányait.

• 2021. március 10-től *dr. Baumli Péter* egyetemi docens látja el a tanulmányi dékánhelyettesi feladatokat.

• Kettős diploma megszerzésének lehetőségét tervezzük kínálni magyar és külföldi hallgatóink részére. A Műszaki Anyagtudományi Kar és a Műszaki Földtudományi Kar közösen folytatott és folytat jelenleg is képzést az AMIR (The Master in Advanced Materials: Innovative Recycling)

programban. A 2021/22-es tanévtől hat egyetem folytat majd double degree képzést, melynek eredményeként hallgatóink mind a Miskolci Egyetem anyagmérnök mesterszakos diplomáját, mind a partneregyetem diplomáját megkapják.

Ebben a képzési formában a Miskolci Egyetem partnerei az Universidad Politécnica de Madrid (Spanyolország), a Technische Universität Darmstadt (Németország) és az Universite de Liege (Belgium).

A képzés sajátossága, hogy az első évet Miskolcon, a második évet a fent felsorolt intézmények egyikében végzik a hallgatók.

• 2021. május 14-én tartotta a Miskolci Egyetem a pünkösdi online nyílt napot. Hagyományosan a végzés előtti évben álló (11. évfolyamos) diákok ellátogatnak egyetemünkre pünkösdi környékén. Ebben az évben személyes jelenlétre nem volt lehetőség, így ismét online formában mutattuk be az egyetem karait és képzési kínálatát. Akik előben követték a nyílt nap rendezvényét, részt vehettek több KAHOOT játékban is, mely során a karok által felajánlott értékes nyeremények találtak gazdára.

• 2021. június 25-én rendezte meg a Miskolci Egyetem a felvételizők online nyílt napját. Ezen a rendezvényen megtudhatták az érdeklődők, hogy a Miskolci Egyetemet választó diákok milyen plusz lehetőségekhez jutnak (ösztöndíjak, kutatás, duális képzés). Karunk képzéseit, tevékenységét, valamint egy, a hallgatóink által készített terméket (lámpabúra kávézaccból) is egy rövid videobeszélgetés során ismerhették meg a nézők. Az online műsor után karunk online Meeting Roomban várta az érdeklődőket egy személyes beszélgetésre.

*Baumli Péter*

# Összefoglaló a 35. OTDK Műszaki Tudományi Szekciójáról

2021. április 22–24. között rendezték meg a 35. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Műszaki Szekcióját (10. szekció) a győri Széchenyi István Egyetemen. A konferencia előkészítésében a Miskolci Egyetem részéről *dr. Palotás Árpád Bence* az OTDK elnökeként, *dr. Mertinger Valéria* az OTDK titkáráként és az ME-MAK TDT elnökeként vett részt.

A vírushelyzetre való tekintettel az előadásokat online formában tartották meg. (A rendezvény linkje: <https://otdk35.sze.hu/>.) A Műszaki Szekció 56 tagozatában összesen 429 előadás hangzott el. Összesen 56 db

1. díjat, 65 db 2. díjat, 21 db 3. díjat és 72 db különdíjat osztottak ki. A pályaműveket delegáló intézmények közül a legjobb 10 által elért eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

Az eredmények tekintetében az ME Műszaki Anyagtudományi Kar abszolút számokban országos második a BME Gépezsmérnöki Kar mögött, ha azonban a 100 fő hallgatóra vetített díjak számát nézzük, akkor igen magasan az első (2. táblázat).

A Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar által konzultált 1. díjazott pályamunkák az alábbiak.

**Kazup Ágota:** „AlSi ötvözet szövetszerkezetének jellemzése a félfolyamatos öntéskor kialakuló kristályosodási paraméterek függvényében” (konzulens: dr. Gácsi Zoltán, egyetemi tanár, dr. Gergely Gréta, egyetemi docens).

**Schweitzer Bence:** „Térben középpontos kockarácsú fémek fülesedésének becslése röntgendiffrakciós textúramérések alapján” (konzulens: dr. Benke Márton, egyetemi

1. táblázat. A Műszaki Szekció eredményei intézmények szerint

	Intézmény	Részvevők	1. díj	2. díj	3. díj	Küldődíj	Összes díj
1	BME	195	35	41	9	30	115
2	ME	49	6	8	3	6	23
3	OE	45	3	2	3	9	17
4	DE	22	2	3	1	2	8
5	NJE	15	1	3	1	2	7
6	PTE	16	1	0	0	1	2
7	PE	14	3	1	0	4	8
8	EMTE	13	1	1	3	2	7
9	SZE	12	2	0	0	3	5
10	SZIE	8	0	0	0	3	3

2. táblázat. A Műszaki Szekció eredményei karok szerint, hallgatói létszáma vonatkoztatva

	Kar	Részvevők	Díj/100 hallgató					Hallgatói létszám
			1. díj	2. díj	3. díj	Küldődíj	Összes díj	
1	ME – MAK	17	1,00	1,25	0,50	0,50	3,26	399
2	BME – GPK	85	0,41	0,41	0,14	0,39	1,35	3618
3	BME – TTK	5	0,32	0,00	0,00	0,16	0,48	626
4	BME – ÉMK	32	0,30	0,53	0,06	0,42	1,31	1684
5	PE – MK	13	0,28	0,09	0,00	0,28	0,65	1069
6	BME – ÉPK	21	0,26	0,26	0,00	0,20	0,72	1535
7	BME – KJK	21	0,21	0,16	0,10	0,10	0,58	1910
8	ME – MFK	7	0,20	0,00	0,00	0,20	0,40	503
9	OE – AMK	6	0,13	0,00	0,13	0,13	0,39	762
10	SZE – AHJK	4	0,11	0,00	0,00	0,05	0,16	1897

docens; Hlavács Adrienn, tudományos segédmunkatárs).

**Ilosvai Mária Ágnes:** „Biológiai szeparációs műveletekre alkalmazható mágneses nanorészecskék szintézise és jellemzése” (konzulens: dr. Vanyorek László, egyetemi docens).

**Pecsmány Dániel János:** „Poliuretán habképződés virtuális és ipari optimalizációja” (konzulens: dr. Viskolcz Béla, egyetemi tanár).

**Dr. Benke Márton**  
titkár, ME-MAK TDT

## XII. RAKK és 10. AGY online konferencia és kiállítás

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (MAROVISZ) hagyományos „egri” konferenciasorozata, a Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás (RAKK), valamint a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) által gondozott Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás (AGY) soron következő konferenciája az idei évben közös rendezvényé olvadt össze. A két egyesület vezetése úgy döntött, hogy a normális életnek (értsd: személyes találkozás) a világvárvány okozta ellehetetlenülése miatt online módon, a virtuális térben, közösen szervezi meg az ese-

ményt. A közös rendezés nem jelentett különösebb gondot, mert a RAKK és a MAE tagságának jelentős az átfedése, ami abból adódik, hogy sok szakember, illetve anyagvizsgáló laboratórium foglalkozik a vizsgálatok szélesebb palettájával, nem csak egy szűkebb szejelével.

A két és fél napos rendezvényt 2021. március 17–19. között tartották meg. Az előkészítést és a lebonyolítást a Diamond Congress konferenciaszervező cég végezte, professzionális módon. A rendezvényre összesen 158 fő regisztrált, köztük 20 egyetemi hallgató vagy doktorandusz,

akik részére a rendezvény ingyenes volt. Hét virtuális kiállítói standot lehetett meglátogatni, és a kiállítók, illetve a két egyesület jogi tagjai közül hat szponzorálta is a rendezvényt, ezúton is köszönet érte nekik. A konferencia Tematikai Bizottsága a beérkezett előadásokat hét szekcióba sorolta, amelyekben összesen 43 orális előadás hangzott el. A megnyitó szekciót egy plenáris előadás színesítette. Néhány esetben javasolta a Tematikai Bizottság poszter készítését az orális forma helyett, és így végül 14 poszter került bemutatásra.

A rendezvényen hirdették ki a MAROVISZ Díj 2021. évi nyertesének személyét. A Díjat a Kuratórium javaslata alapján a MAROVISZ elnöksége *Fücsök Ferencnek* adományozta Fejlesztések a jártassági vizsgálatokban c. előadásáért. Az online rendezvényt több kötetlen beszélgetést lehetővé tevő program, baráti találkozó, valamint a technikai lehetőségek keretein belül megrendezett „bankett” tarkította. Volt kvízzjáték is: az önkéntes résztvevőknek a kiállítók által bemutatott eszközökkel kapcsolatos szakmai kérdésekre kellett válaszolniuk, ami feltételezte a virtuális standok érdemi meglátogatását és a konzultációt az ott található szakemberekkel. A 18 helyes megfejtő közül kisorsolt személy egy elektromos rollerrel lett gazdagabb.

Az elhangzott előadások ismeretében elmondhatjuk,

hogy a közös konferencia a hagyományokat és az előttünk álló fejlődést (pl. roncsolásmentes vizsgálat 4.0) is figyelembe véve az anyagvizsgálat teljes területét áttekintette. Foglalkozott a technológia- és gyártmányfejlesztésben alkalmazott mérnöki modellezésekkel összefüggő, valamint a technológiák ellenőrzésében alkalmazott vizsgálatokkal, továbbá a komplex létesítmények építése, szerelése és üzemeltetése időszakában végzett roncsolásmentes vizsgálatokkal. A program magába foglalta a járműgyártással összefüggő vizsgálatokat, a minőségügy kérdéseit is, mint például a szabványok, a laborakkreditáció és a körvizsgálatok. Foglalkozott továbbá a műanyagok és a kompozit anyagok vizsgálatával.

A MAROVISZ és a MAE vezetése úgy értékelte, és ebben az értékelésben benne van a résztvevők visszajelzése is, hogy a XII. RAKK és 10. AGY közös online konferencia sikeres volt. Látogatottsága, az előadások száma és minősége, a virtuális kiállítási standok és a közösségi programok együttesen felülmúlták a rendezők előzetes, a rendkívüli helyzetből adódóan talán némileg szkeptikus elvárásait. A közös konferencia eredményének tekintjük azt is, hogy a szakma elismert képviselői mellett jelentős számú fiatal szakember is bemutatkozott.

**Dr. Trampus Péter, MAROVISZ elnök**  
**Dr. Biró Gyöngyvér, MAE elnök**

## A Magyar Öntészeti Szövetség (MÖSZ) 32. közgyűlése

A 2021. június 23-i közgyűlésen *dr. Vigh László* elnök köszöntője után *Nágl Anett* ügyvezető igazgató „A megújult Mohácsi Vasöntöde Kft.” című előadását hallgatták meg a jelenlévők.

A megküldött anyagokat és a szóbeli kiegészítéseket a közgyűlés egyhangúlag elfogadta, úgy mint a MÖSZ elnökségének beszámolóját a 2020. évben végzett munkáról, a MÖSZ EB 2020. év gazdálkodására vonatkozó jelentését, a MÖSZ 2020. évi költségvetésének teljesítését, a 2020. évi egyszerűsített mérlegbeszámolóját és az eredménykimutatást, valamint a MÖSZ 2021. évi költségvetési- és munkatervét.

*Dr. Rick Tamás*, a MÖSZ-díj Kuratórium elnöke ismertette a 2021. évi MÖSZ-díjak odaítélésének eredményét. A díjakat a *dr. Vigh László* elnök adta át.

A 2021. évi díjazottak:

- a MÖSZ Életmű-díjat *dr. Lengyelne Kiss Katalin* ny. múzeumigazgató;
- a MÖSZ-díjat *Kovács Sándor* ügyvezető igazgató, Szegedi Öntöde Kft. kapta;
- a Kiváló Fiatal Öntész MÖSZ-díjra is érkezett be pályázat, de a Kuratórium 2021-ben a díjat nem adta ki;
- a Nándori Gyula Emlékéremet *dr. Tóth Levente* ny. egyetemi docens (ME MAK) vette át.

Az elnökségi beszámoló ezen része érintette a hazai öntészet 2016. évi termelési eredményeit a MÖSZ adat szolgáltatása alapján:

Az elmúlt év során a CAEF és a MÖSZ elnöksége az öntödék statisztikai tényadatai felhasználásával adtak tájékoztatást a szakterületük helyzetéről. Ennek alapján látha-



■ A díjazottak: Kovács Sándor, dr. Lengyelne Kiss Katalin, dr. Tóth Levente

tó volt, hogy az EU-n belüli fellendülés lelassult, a pandémia hatására sok helyütt szinte megállt, kis mértékben tovább romlott a 2019. évhez képest, szinte valamennyi öntészeti szakágban. A járműipar alkatrészigénye némileg szintén csökkent, de ez a csökkenés csak annyit jelentett, hogy a korábbi években megszokott 15-25%-os éves termelésnövekedési mérték néhány százalékra zsugorodott, illetve megszűnt. Európában változatlanul általános maradt a szakképzett munkaerő hiánya, mivel a társaságok vezetői a pandémia gyors felszámolásában bízva igyekeznek ugyan megtartani a munkaerőt, de a jelentős keresetcsökkenések miatt sokan máshol keresik a megélhetőségüket.

A hazai öntészet általános helyzete az év során nagy ingadozások mellett – mely a beszámolóban résztvevő vállalatvezetők egybehangzó véleményét tükrözte – azt ered-

ményezte a többség számára, hogy mintegy 20%-os árbevétel-csökkenés mellett, jelentős eredménycsökkenést is hoztak, de az öntödék döntő többsége éves szinten fenn tudta tartani nyereséges működését. Általános az a megítélés, hogy az év második negyedében kényszerűen megvalósított dolgozói létszámcsökkenés (emellé az önkéntes felmondásokkal) a második félévre olyan mértékű létszámhiányt eredményezett számos öntödénél, hogy annak pótlása a megnövekedett szabad munkavállalói létszámból szeptember, október hónapban már csak érezhetően gyengébb képességű (nem minőségi) dolgozók felvételét eredményezte. Ez a helyzet, főleg a kisebb létszámú cégeknél, kisebb településeken okoz igen nehezen leküzdhető akadályt. A járműiparba beszállító öntödék helyzete és kilátásai sokkal bizonytalanabbak, rövidebb időtávra tervezhetők, mint korábban. Ezzel együtt némileg nőtt azoknak az öntödéknek a leterheltsége, amelyek nem járműipari beszállítók, hanem pl. kéziszerszám-gyártók számára készítenek öntvényeket.

A még most sem rossz helyzetben lévő nyomásos öntödék számára is napi valósággá vált az, hogy sokkal nehezebben tudják a rövidtávon gondolkodó összeszerelő gyárak igényeire építve tervezni jövőbeni munkájukat.

A 2–3. negyedév kényszerű létszámcsökkenést hozott, ám a munkaidő felhasználása után szeptembertől kezdődött meg egy érezhető termelésnövekedés az öntészeti szektorban. A vírushelyzettel kapcsolatos kényszerek azért

általánosságban is eredményezték azt, hogy a társaságok a költséghatékonyabb és takarékosabb termelési folyamatok kialakítására kényszerültek, illetve józan belátás szerint erre törekedtek.

Az öntödék helyzetének általános helyzetétől a háttér-ipari cégek helyzete sem tért el. Mivel látható, hogy a belsőégésű motorok gyártásával kapcsolatos fejlesztési elképzelések jelentősen visszaestek, ugyanakkor az elektromos autók gyártási programjai lelassultak, gyakran ingadoznak, igen nehéz hosszútávú öntödei, illetve beszállítói terveket készíteni.

A világ öntvénytermelése 2020-ban (az összesítés még tart) várhatóan néhány %-kal csökkent és a 2021. évre sem várható a stagnálástól eltérő, jelentős mértékű teljesítmény bővülés.

Magyarország öntvénytermelése 2017–2020, tonna (MÖSZ adatgyűjtés)

Megnevezés	2017	2018	2019	2020
Vasöntvény összesen	79 132	87 452	74 015	74 417
Acélöntvény összesen	3 127	2 813	2 182	1 980
Alumíniumöntvény összesen	123 902	136 518	122 425	119 430
Nehézfém öntvény összesen	3 515	2 408	1 294	2 490
Magnézium	327	273	250	286
Összes öntvény	210 003	229 464	200 166	198 603

HP

## Magnezitipari Rt. Jolsva 1942

### Bevezetés

Az alább közölt feljegyzést Balázsné Szatmári Éva – férje, Balázs László kohómérnök biztatására – ajánlotta fel megjelentetésre a szerkesztőségnek.

A családi hagyatékából most előkerült írást a jolsvai Magnezitgyár egykori gazdasági- és irodavezetője, *Lechnitzky Zoltán* készítette 1942-ben. Az írást teljes terjedelmében, igen csekély módosítással közöljük.

### Általános rész

Az üzem a csonka Gömör-Kishont vármegye északnyugati kiszögellésében, Jolsva nagyközség határában van. A gyártelep neve Melegvíz, a bányatelepé Dubrava. Melegvíz kb. 260 m, Dubrava kb. 640 m tengerszint fölötti magasságban fekszik.

A mai vállalat jogelődje 1898-ban létesítette az első magnezitüzemet Jolsván. A magnezit, mint tűzálló anyag, ebben az időben kezdett tért hódítani s a közben eltelt négy évtized alatt a nehéziparban úgyszólván nélkülözhetetlenné vált.

A vállalatnak Magyarországon, a jolsvai üzemén kívül Budapesten (X. Gyömrői út 48.) van nagy gyártelepe, itt van egyben a cég központja is.

Az üzem egyrészt saját területen áll, másrészt évtizedekig tartó bérletek biztosítják.

Az új telep a világháború idején kezdett épülni, a régi melegvízi telep szomszédságában. Közben Jolsvát Trianon

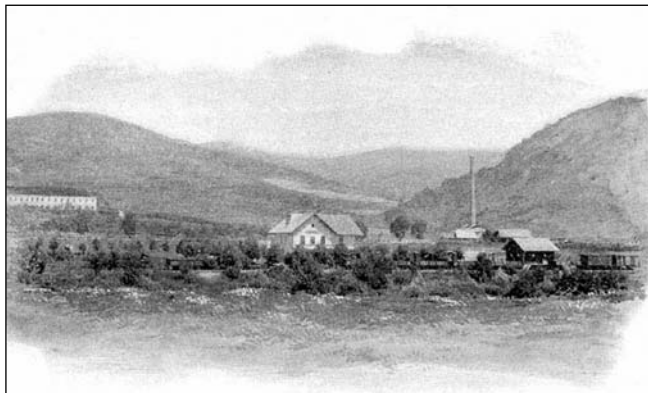
a kimúlt Csehszlovákiához csatolta, a bécsi döntés azonban 1938. november 2-án ismét visszaadta Magyarországnak.

Az új határ közvetlenül a gyár és bányatelep mellett húzódik. A gyár gépháza és munkáskolóniája szlovák területen fekszik. A gépház 1939. március 14-ig már magyar terület volt, ezt azonban a határmegállapító bizottság valószínűleg tévedés folytán visszaadta Szlovákiának. Állítólag olyan régi térkép alapján vonták meg itt a határt, melyen az üzem gépházának helyén még egy malom volt feltüntetve, mely malom ténylegesen már legalább 50-60 éve nem létezik.

A végleges határ még nincs kitűzve ezen a részen, mert a határkiigazító bizottságok nem tudtak eddig megegyezni, főként mert rendkívül sok az ún. határszéli birtokos, akiknek mindkét ország területén vannak ingatlanai.

Az üzem bányatelepét az 1938. november 10-én bevonuló honvédség megszállta, úgyhogy ezt hosszú viták és tárgyalások után véglegesen Magyarországhoz csatolták annak ellenére, hogy a szomszédos és szlovák területen lévő Baráttelke (Mnisany) község határában feküdt. Jelenleg közigazgatásilag Jolsvához van csatolva. A két állam megállapodást kötött arra vonatkozólag, hogy a vállalat köteles a baráttelki munkásokat a jövőben is olyan mértékben alkalmazni üzemében, mint a visszacsatolás előtt. Ez az oka annak, hogy az üzemben aránylag sok külföldit foglalkoztatnak, szám szerint, ez idő szerint kb. 30 főt.

Jelenleg ez a helyzet csak előnyére van az üzemnek,



■ Jolsva látképe, jobbra a magnezitpörkölő

mert szakmunkásokban, különösen bányászokban nagy hiány mutatkozik.

A jolsvai, minden korszerű berendezéssel felszerelt gyárat és bányát 1923-ban helyezték üzembe s azóta állandóan tökéletesítik és kibővítik.

### Az üzem termékei

1. a nyers magnezit, s az ebből pörkölt
2. égetett magnezit, (szinterizált magnezit), mely részint az acélművek olvasztóiba habarcsszerűen lesz bedolgozva, részint pedig a vállalat budapesti gyárában, illetve más külföldi gyárakban téglává égetve, s mint ilyen kerül az acélgyárak és más tűzálló anyagot igénylő gyárak kemencéibe beépítve.

A jolsvai üzem egyrészt a hazai nehézipart látja el kizárólagosan égetett magnezittel, másrészt más európai országok, főként Németország részbeni szükségleteit fedezi.

1. A nyers magnezitet (kémiai jele  $MgCO_3$ ), az üzem mint nyersanyagot maga dolgozza fel.

2. Az égetett magnezit (kémiai jele  $MgO$ ), pontosabb vegyi összetétele a következő:

tiszta $MgO$	86–89%
vas	8,50–7%
szilikát	0,70–0,60%
mész	2,40–2,10%

Ezen kívül jelentéktelen mennyiségben egyéb anyagok.

**Teljesítőképesség:** A jolsvai üzem kapacitása 2200-2400 vagon égetett magnezit évi termelésre elegendő, mely mennyiség kedvező üzemmenet mellett esetleg 2600 vagonig erőltethető. 1941-ben az évi termelés 2337 vagon égetett magnezit volt.

**Munkáslétszám:** Az átlagos munkáslétszám szükség szerint 260-300 fő, ebből kb. 16-20 nő. A munkások túlnyomó része nehéz testi munkát végez. A havi fizetéses alkalmazottak száma 22-24 fő.

Az üzem részei: Az üzem három részből áll: 1. bányászüzem, 2. keskeny vágányú gőzvontatású pályászemle, 3. gyárüzem.

### 1. Bányászüzem

A bányaművelés kőbánya jellegű külszíni fejtés. A tárokat rendszerint csak kisebb méretben kutatási célokra alkalmilag művelik.

A bányának összesen öt egymás fölött fekvő szintje van,

melyek közül jelenleg három szinten folyik a termelés.

A bánya évi kapacitása kb. 4500-5500 vagon nyersmagnezit. 1941-ben 4907 vagon termelt. Emellett a meddő (nem hasznosítható) kőzet 10 132 vagon volt.

A munkáslétszám 100-120 fő.

A bányaművelés gépi erővel (sűrített levegővel) hajtott fúrókalapáccsal történik. A robbantásokhoz használt robbanószer, (Paxit) évi mennyisége kb. 5000-6000 kg. 1941-ben az üzem 5600 kg Paxitot használt fel. Az üzem részére szükséges sűrített levegőt három kompresszor (légsűrítő) szolgáltatja.

A bányában mindenütt 600 mm nyomtávú, keskeny vágányú vasút van fektetve, melyen a kitermelt hasznos és meddő anyagot kb. 110 db 0,75 köbméter befogadóképességű csille szállítja rendeltetési helyére. A csillék vontatását négy nyersolaj mozdony végzi.

A bányaszintek között két ellensúllyal működő sikló van üzemben. Az egyik sikló egyben a keskenyvágányú iparvasút és a tulajdonképpeni bánya közötti összeköttetést is szolgálja.

Az I. sz. (felső) sikló hossza 257 m, 490‰ emelkedéssel, a II. sz. (alsó) sikló, mely kitérővel rendelkezik, 412 m hosszú, 330‰ maximális emelkedéssel. A II. sz. sikló alsó állomása a keskenyvágányú vasút végállomásába torkollik.

### 2. Keskenyvágányú vasút

A gőzüzemű iparvasút a melegvízi gyártelepről kiindulva a bányasikló végállomásáig 3 km hosszú, 760 mm nyomtávú. A forgalmat 24 db 1,5 köbméter űrmértékű csilléval bonyolítják le, a vontatást egy 90 HP gőzmozdony végzi. A pályának kb. felén kitérő állomás és őrház van. Az iparvasúton a megengedett maximális menetsebesség 12 km/óra. A szállításhoz és pályakezeléshez foglalkoztatott munkások átlagos száma 40 fő.

### 3. Gyár

Az iparvágányon leszállított nyersmagnezitet a pálya végállomásán lévő ún. nyerskőcsúzdán kidöntik a magnezitpörkölő kemencék felső, ún. töltőaknájával egy szintre, vagyis a kőrakodó helyre. Itt függőpályán közlekedő, automatikusan működő, elektromos meghajtású csillékbe rakják be a nyerskővet, melyet ezek a kemencékhez szállítanak és önműködően adagolnak.

A gyárnak nyolc pörkölőkemencéje van, melyek közül szükség és lehetőség szerint 6-8 van éjjel-nappal állandóan üzemben. A kemencék gáztüzelésű aknás kemencék. A szükséges fűtőgázt két generátor szolgáltatja. Elgázosításra magyar és német szén kerül. Az üzem erőfeszítéseket tesz olyan értelemben, hogy tisztán magyar szénrel tartassa fenn az üzemét, ez azonban még nem járt a kívánt eredménnyel, úgyhogy üzembiztonsági szempontból föltétlenül szükséges bizonyos mennyiségű német szén is. A felhasznált szénmennyiség a termelt árunak kb. 40-55%-a.

A kemencékben a nyerskővet kb. 1600 °C-on égetik ki, amikor is annak kb. 50%-a elég, a fennmaradó kb. 50% mint égetett magnezit kerül ki a kemencékből. A szükséges lehűlés után az égetett magnezit ismét csillékbe kerül, melyek az árut a többemeletes feldolgozómuvel egybe-

épített silókba szállítják. A silókból az égetett magnezit a törőműbe kerül, ahol szükség szerint kisebb-nagyobb szemcsékre török meg, innen szállítószalagon a mágneses szeparátorokon megy keresztül, mely berendezés a még fellelhető és el nem égett kisebb mennyiségű mészszemcséktől és más idegen anyagoktól elektromágneses úton megtisztítja a magnezitet.

Az így feldolgozott készárut egy további gépi berendezés, mely különféle lyukbőségű szitákból áll, szemcse-nagyságok szerint osztályozza az árut, majd az így osztályozott áru vagy egy rázócsatornán keresztül közvetlenül a vasúti kocsikba kerül, vagy pedig tárolókba, silókba helyezik el. Az égetett magnezitet vagy ömlesztett állapotban, vagy pedig juta, vagy papírzsákokban helyezik el.

A különféle szemcse-nagyságokban feldolgozott árun kívül még ún. magnezitlisztet is készít az üzem, mely célra berendezett őrlőmű/malom van felszerelve. Előállításánnyiból áll, hogy a szemcsés égetett magnezitet liszt finomságúra őrlik meg. A gyárudvar, valamint az itt lévő műhelyek, raktárak és a kemence épület egyes szintjei között villamos felvonó van üzemben, melynek felső állomása a keskenyvágányú iparvasút gyári végállomásával van egy szinten. A villamos felvonó a kemenceüzemhez szükséges szén és más anyagok, valamint a bánya részére szánt anyagok felszállítását látja el. A felvonó hossza 150 m, legmagasabb emelkedése 410%. Miután a felvonó önműködő biztonsági fogókészülékkel van ellátva, mely esetleges kötélszakadás esetén automatikusan megállítja a felvonót, ennél a személyszállítást is engedélyezik.

**Csatlakozó forgalom:** A gyártelepre a MÁV murányvölgyi vonalából kiágazóan iparvágány vezet. A kiágazás Jolsva állomástól számítva kb. 2,5 km-re van. Az iparvágányba a gyártelepen vasúti mérleg van beiktatva, ahol az elszállításra kerülő, illetve érkező vagonokat lemérik. A csatlakozó iparvágányon a forgalmat a MÁV saját szerelvényeivel bonyolítja le.

**Erőellátás:** Az egész üzem elektromos energiára van berendezve, úgy a gyárban mint a bányában. A villamos áramot a Középszlovákiai Elektromosművek Rt. szolgáltatja. A villamos energiát ezenkívül a Középszlovákiától vett árammal párhuzamosan egy saját 76 HP vízturbina is szolgáltatja. Ez – amennyiben elegendő víz áll rendelkezésre – állandóan üzemben van.

A jelenleg még Szlovákiában lévő gépháznak tulajdonképpen csökkent jelentősége van, miután az itt elhelyezett 350 HP gőzgép csak tartalékot képez esetleges huzamosabb áramszolgáltatási zavarok idejére. Ilyen célból eddig a gőzgépet nem kellett üzembe helyezni.

A vízturbina – mint a gépház tartozéka – ugyancsak szlovák területen van, annak tetszés szerinti üzemben tartása azonban eddig semmiféle nehézségbe nem ütközött, bizonyos személyi igazoltatásokon kívül. A gyárban foglalkoztatott munkások száma 120-140 fő.

Az üzem biztosítása a következőképpen van megszervezve. A könnyebben hozzáférhető részekben erős, szöggedróttal ellátott betonkerítés áll. A kapunál állandóan portás tartózkodik. A gyár és bánya területére a belépés csakis a Hűszpk. engedélyével történhet. Éjszaka úgy a gyárban, mint a bányában éjjeliőrök vannak, a bánya különálló robbanószerraktárát külön őrszem biztosítja. Közvetlenül a gyártelep mellett a határvidéaszok katonai őrsége, vámőrség, valamint az államrendőrség tagjai teljesítenek szolgálatot, utóbbiak egyúttal bent a gyár területén is. A bányatelepen ugyancsak állandó határvidéaszkatonai őrszemek vannak felállítva.

**Légoltalom:** A légoztalom az előírt felszereléssel el van látva. Mindenféle szolgálatra kiképzett csoportok rendelkezésre állnak. Egy korszerű óvóhely építése folyamatban van. Eddig anyaghiány miatt nem lehetett felépíteni. Tűzőrség, tűzoltóság meg van szervezve. Légvédelmi készsűltség idején a gyártelep közvetlen szomszűdságában álló dombon, mely egyben a gőzmozdony salakhányója is, külön figyelő őrszem van felállítva, riasztás céljaira sziréna áll rendelkezésre. Tűzoltás céljaira négy darab hydráns és egy tűzi fecskendő van készenlétben.

**Személyi biztonság:** Úgy a gyárban, mint a bányában kellő számban vannak elsősegélynyűjtásban kiképzett munkások és alkalmazottak. Az állandó balesetelhárító bizottság a szűksűges óvó rendszabályokról gondoskodik. megfelelő mentőszekrények és más felszerelések rendelkezésre állnak.

**Leventék:** Az üzemben foglalkoztatott leventék a közsűgi leventékkel együtt kerülnek kiképzésre. Az üzemvezetőség lelkiismeretesen gondoskodik arról, hogy ebből kifolyólag a leventeköteleseket semmiféle hátrány ne érje.

**Szociális gondoskodás:** Az üzem gondoskodik a munkásság legfontosabb szűksűgleti cikkeinek beszerzéséről. Munkáslakások, elektromos ételmelegítőkkel ellátott étkezők, fürdők, kulturális célra munkásotthon rendelkezésre állnak. Az üzem évközben több ízben rendkűvűli segélyekkel anyagilag is támogatja a munkásságot.

**Hadisegűlyek:** Az üzem az ipari vállalatok által önként vállalt hozzájárulás mértékében rendszeresen folyósítja a hadisegűlyeket.

Jolsva, 1942. április 22.

Lechnitzky Zoltán

A jolsvai Magnezitgyár gazdasági és irodavezetője

SZENTE TÜNDE

## Dunai Vasmű történet – másképp Hetven esztendővel a hátunk mögött

### 1. Előzmények

„Egy emelkedőn levő országban a Duna partjain igazán

kétlem, hogy bármilyen előnyösebb lehetne, mint jó vasművek” – írta *Szűchenyi István* 1845-ben. A gróf az 1700-as évek végén megnyűtott mecseki kőszűntárnákra alapozta

volna a térség acéliparát, de ötletéből akkor még semmi nem lett, mert nem volt a közelben vasérc. Később a második világháborúra készülő kormányok elevenítették fel a tervet. A háború utáni újjáépítéshez viszont elengedhetetlen volt a jó minőségű acél.

„Jelenlegi iparunk és egész népgazdaságunk gyors fejlődésének legfőbb akadályozója, hogy nem termelünk elegendő vasat, acélt, hengerelt acélt” hangzott el 1949 tavaszán, egy pártfórumon, ahol bejelentették, hogy Mohács térségében vaskombinátot fognak építeni a következő tervidőszakban. 1949. december 9-én az országgyűlés jóvá is hagyta a mohácsi kombinát építését és vele együtt az első magyar szocialista város alapítását. De már novemberben földmérők, geológusok járták Dunapentele határát egy leendő vaskombinát helyét keresve. Pártfórumon ugyanis megszületett a döntés, hogy a déli határ nyugtalanító közelsége miatt, itt kezdjék el a beruházást.

## 2. A Vasmű első 10 éve az egykori vezetők írásaiban

**A Dunai Vasmű történetét sokan, sokféleképpen dolgozták fel. Ezúttal a Dunai Vasmű Műszaki Gazdasági Közlemények bekötött számaiból lapozgatva tettem eleget a megtisztelő felkérésnek, miszerint idézzük fel a hazai vaskohászat legfiatalabb gyárának első évtizedét.**

A Dunai Vasmű üzemi lapja I. évfolyamának 1. számában – 1960-ban – *Borovszky Ambrus*, a Dunai Vasmű első számú embere (1. kép) köszönti az olvasót, a város és a gyár megépítésének első tíz évére fókuszálva:



■ 1. kép. Borovszky Ambrus



■ 2. kép. Pilter Pál



■ 3. kép. Inokai János

Még jól emlékszem azokra a napokra, amikor az első építők megjelentek a pentelei fennsíkon és elkezdtük a város és rövidesen a gyár építését. Az 1950-es év első hónapjaiban, amikor a tervszerű építőmunka megindult azon a területen, ahol ma a Vasmű dolgozik, szántóföld, búza- és kukoricatábla zöldellt. Az első feladat volt megteremteni az építési munka feltételeit. [...] Az építők lelkes munkája nyomán azonban hamar változott a vidék képe. Megépültek a Május 1. utca lakóházai, üzletház, sőt, étterem is, és a második évben már a Vasmű termelő egységének, a gépgyárnak üzembe helyezését ünnepeltük. Országos jelentőségűvé terebélyesedett az építőmunka és az 1952-es évben már a város és a gyár építésén 25 000 ember dolgozott.

**Szente Tünde** a Dunai Vasmű egykori Gyártörténeti Gyűjteményének vezetője, a Dunai Vasmű egykori folyóiratának rovatvezetője, mérnök, szociológus, üzemtörténet-író.

Elkészült 1952-ben a tűzállóanyag gyár [...] sikerült 1954 február hónapjában az első 700 m<sup>3</sup>-es nagyolvasztót és ugyanezen év augusztus havában az acélművet üzembe helyezni.

Az építkezés lassított ütemben tovább haladt, és 1956 nyarán be tudták indítani az első, hazai szénből dolgozó kokszoló kemencét [...], 1957-ben megindult második nagyolvasztó egységünk és ezzel már az ország legnagyobb nyersvas termelő üzemévé fejlődtünk fel. Acélművünk is három korszerű bázikus 125 tonnás Martin-kemencével rendelkezett ebben az időben.

Acéltermelési kapacitásunk kihasználásához hiányzott azonban a feldolgozó üzem: a meleghengermű. A Vasmű első kiépítési szakaszához hiányzik még a hideghengermű, amelynek építése folyamatban van.

A tervezés munkáját a szovjet Gipromez tervezőiroda, a nagyméretű kohóberendezéseket, [...] a szovjet gépgyárak, öntödék és műszergyárak szállították [...].

Dolgozóink túlnyomó része az induló üzemekben sajátította el a kohászat mesterségét, így bizony kezdetben nehezebben ment a munka [...], Műszaki vezetőink is fiatalok, az átlagos életkor 31 év – részlet az új műszaki folyóirat előszavából.

### Az általános fejlesztési feladatok megoldására: munkacsoportokat alakítottak ki

A lapnak a következő cikkében *Pilter Pál* főmérnök (2. kép) a műszaki fejlesztés eredményeiről számol be:

Fiatal üzemeink kezdeti tapasztalatai, műszakiaink szakmai irodalmi tájékozottsága és külföldi tanulmányúttjai hamarosan kialakították a műszaki fejlesztés megoldandó feladatait. Az elgondolások tervszerű megvalósítása érdekében azt a módszert követtük, hogy a kimondottan helyi jellegű fejlesztést illetékes gyárreszlegeink végezték, a többi üzemet érintő, általános fejlesztési feladatok megoldására pedig munkacsoportokat alakítottunk, amelyek tagjai főképp gyárreszlegeink fiatal műszaki dolgozói. [...].

### Teljes vertikális üzem legyen!

A Dunai Vasmű és Sztálinváros felépítésének rövid történetét *Inokai János* beruházási főmérnök (3. kép) dolgozta fel a folyóirat legelső számában:

Ahhoz, hogy Magyarország az eddigi agrárjellegét felszámolja és szocialista iparral rendelkező ipari és mezőgazdasági jellegű országgá válhasson, szükséges volt a hazai vastermelést fokozni, és ennek érdekében valahol az országban, a kohászati üzem feltételeit biztosító helyen, egy új kohászati üzemet telepíteni.

Kormányzatunk 1949 végén határozott, hogy az új vasművet a Duna mellett, a komlói szénbázis közelében, vízi úton megközelíthető helyen, a régi Dunapentele község határában kell megépíteni [...] A feladat megvalósításához a Szovjetunió segítségét és gyakorlati tapasztalatit vettük igénybe. A segítség alapja a Szovjetunió által elkészített generáltervek és a technológiai berendezések döntő többsége volt. [...] A telephely megválasztásánál a kohászat



■ 4. kép. Sztálinvárosi panoráma

közismert vízigényes volta mellett a vízi szállítás olcsóságán és az említett komlói szénbázis közelségén kívül nem volt közömbös a vidék kiválasztása azért, hogy a környékből a gyár a mezőgazdasági lakosság feleslegét magához tudja szívni. A kormányzat a mű termelési feladatát megvizsgálva úgy határozott, hogy üzemünk teljes vertikális kohászati üzem legyen, amely késztermékként melegen hengerelt közép- és durvalemezt és hidegen hengerelt finomlemez termeljen.

A vasmű építésével egyidejűleg döntés történt, hogy az üzem dolgozóinak elhelyezéséhez, mintegy 40 000 lélek számára lakótelepet, várost építsünk. (4. kép)

[...] Magyar részről a tervezési munkák összefogása az altervezőkkel való összehangolás feladata a KGM (Kohó- és Gépipari Minisztérium – a szerk.) Tervező Irodájára hárult.

A kohászati kombinát gyakorlatilag két nagy termelőegységre, a kokszműre és a vasműre bontható [...]. A vasművet magát az ércelőkészítő és darabosító, a nagyolvasztómű, martinmű és a hengermű képezi. [...] Saját tűzállótéglagyárunk van, az áramellátást az erőművünk, a sűrített-levegő ellátást saját kompresszortelepünk, az üzemfenntartás céljaira pedig egy közepgyár nagyságrendű javítóműhely, illetőleg karbantartó gyárrészlegünk szolgál, melynek keretén belül a megmunkáló mű kiegészítésére saját vas- és acélöntődéje, mintakészítő műhelye, vilamos javító üzeme van.

Említésre érdemes két dunai szivattyútelepünk, amely az erőmű és a kohászati üzemek számára szolgáltatja a hűtővizet. A vízi úton lebonyolítandó anyag- és késztermékek szállítására korszerű kikötő épült, amely teljes kiépítésében mintegy 3 millió tonna évi forgalom lebonyolítására válik alkalmassá [...], jegyezte le Inokai János az útjára indított üzemi szaklap első számában, 1960-ban.

### A meleghengerű átadásával rentábilissá vált

A lap I. évfolyamának 2. számában Fehér Antal személyzeti vezető számol be a Dunai Vasmű tízéves jubileumi ünnepéről, amelyet 1960. július 17-én tartottak az új szocialista városban.

[...] a tízedik jubileumi év nagy fontosságú, mivel most indult a meleg-széles-szalaghengersor, amely nagyságát tekintve az eddigi üzemek között a legjelentősebb. Ebben az évben üzembe lépett a II. sz. kokszolóblokk, amely a Vasmű életében szintén jelentős esemény, ugyanis mos-

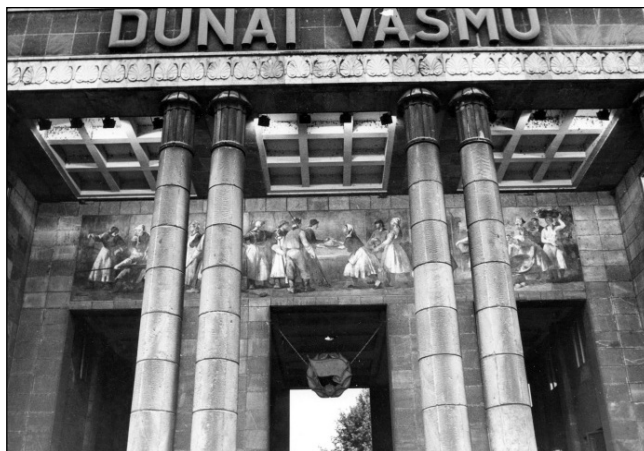
tantól kezdve a vállalat teljesen ellátja magát kohókokszzsal, sőt bizonyos mértékben segíteni tud a többi nagyolvasztó üzem kokszzükségletének kielégítésében. Felépült és dolgozik az acélmű negyedik 125 tonnás Martin-kemencéje és ezzel befejezést nyert ezen üzem építése is.

A jubileumi ünnepség kezdetét vette a Városi Tanács ünnepi tanácsülésével, melynek előadója Csergő János, a kohó- és gépipar minisztere volt. Az ünnepségen részt vettek a Szovjetunió, Csehszlovákia, Románia, NDK, Lengyelország, a lengyel Nowa-Huta és az ostravai Klement Gottwald Nowa-Hut, valamint Stalinstadt testvérváros küldöttei. Itt voltak a diplomáciai testület képviselői, ezen túlmenően politikai és gazdasági életünk több vezetője.

Az ünnepi nap kora délelőttjén városunkba érkezett Kádár János, az MSZMP Központi Bizottság első titkára, és vezetésével a kormány és a párt jeles képviselői [...]. A vendégek ellátogattak üzemekbe, ahol Borovszky Ambrus igazgató, a Vasmű pártbizottság részéről Lánczi Richárd, a szakszervezeti bizottság részéről Szalai József, a KISZ bizottság képviselőjében Gál Domokos fogadták a küldötteket. Megtekintették a meleghengerművet, [...], utána a Vasmű bejárata előtt több ezer ember részvételével megkezdődött a nagygyűlés, melyen Kádár János volt az ünnepi szónok. Beszédében hangsúlyozta, hogy a meleghengermű beindításával adva van a feltétel arra, hogy a Dunai Vasmű immár teljesen rentábilis legyen – írta az 1960. július 17-i jubileumi ünnepségről Fehér Antal személyzeti igazgató.

### 3. Összefoglalás

A Dunai Vasmű első 10 évének történetén végighúzódik a politika, ami nem véletlen, mert a kor legnagyobb hazai beruházása volt és a kormányzatok ennek megfelelően kezelték. A kormányzati elvárások teljesítésével megbízott vezetők jó szándékkal és lelkesedéssel teljesítették a feladatokat, emléküket a gyár dolgozói és a gyárra épült város tiszteli és becsüli. Korabeli megnyilatkozásaik jól szemléltetik a beruházás történetét és azokat a körülményeket, amelyek meghatározták munkájukat.



■ 5. kép. A főkapu Domanovszky Endre Munkás-paraszt szövetség című freskójával

Az elődök fáradozása az új ipari kultúra megteremtésén jövőbe mutató (5. kép). A Dunai Vasmű létrejötte nélkül Dunaújváros és térsége nem tartana ott, ahol jelenleg tart. Továbbra is gazdasági potenciált jelent az itteni gazdasági és társadalmi erőterben.

## Forrás

A Dunai Vasmű Műszaki, Gazdasági Közlemények és annak jogelődje, a Dunai VASMŰ üzemi lapja. Az első szám megjelenése: I. évfolyam 1. szám: 1960. június.

*Buka Adriennie:* Dunapentele – Sztálinváros – Dunaújváros real-eod.mtak.hu › Tanulmányok\_2000\_44

## ■ KÖSZÖNTÉSEK

### 80. születésnapját ünnepelte

**Dr. Kováts Miklós** aranydiplomás kohómérnök 1941. január 13-án született Oldalfalván. 1959-ben öntőtechnikusként végzett, 1965-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen alakítástechnológus kohómérnöki diplomát szerzett.

A Borsodnádasdi Lemezgyárban üzemmérnök, technológus mérnök, fejlesztőmérnök, majd gépészeti üzemvezető beosztást töltött be. 1970-ben kezdett el dolgozni Dunaújvárosban, az NME-KFFK metallurgiai tanszékén. 1994-ig oktatott főállásban szakmai tárgyakat, főiskolai adjunktus, főiskolai docens, majd tanszékvezető-helyettes beosztásban.



1994-től 1997-ig a Dunaferri Qualitest Minőségügyi Kft.-nél dolgozott környezetvédelmi divízióvezetőként. 1997-től a DWA Hideghengermű Kft.-nél volt környezetvédelmi vezető, majd szakértő 2008-ig.

2005–2010 között, már nyugdíjasként, a Dunaújvárosi Főiskola docense volt. 2010 óta saját cége, a QUINT-Ex Bt. ügyvezetője.

Alapdiplomája mellé 1987-ben az NME-n egyetemi doktori, majd 1993-ban a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetemen marketingmenedzser diplomát, 1994-ben a BME-n műszaki minőségellenőrző szakmérnöki diplomát vehetett át, később a Magyar Szabványügyi Testület ISO 9001 MIR auditora lett. Ezután EHS auditor, ISO 14001 KIR auditor tanúsítványokkal egészítette ki végzettségeit. Okleveles mérnök tanár diplomáját 2020-ban szerezte meg a Dunaújvárosi Egyetemen.

1968-ban lett tagja az OMBKE-nek. Főiskolai oktatóként kapcsolattartó szerepet töltött be az Öntészeti Szakosztály és a hallgatók között. Aktív szervezője volt az Öntészeti Szakmai Napoknak, főszervezője a „25 éves a felsőoktatás Dunaújvárosban” című konferenciának.

Évekig vezette az OMBKE Oktatási Bizottságát, tagja volt a METESZ Oktatási Bizottságának, és az MTA Veszprémi Akadémiai Bizottság Metallurgiai Szakbizottságának.

Alapító tagként 1994 óta részt vett a Dunaújvárosi Kereskedelmi és Iparkamara munkájában, volt általános alelnök és elnökségi tag is. Az MKIK Környezetvédelmi Bizottságának tagja, Kollégiumának alelnöke is volt. Tagja volt a Magyar Mérnöki Kamara elnökségének.

Munkáját 1985-ben az Oktatásügy Kiváló Dolgozója miniszteri kitüntetéssel ismerték el. A Magyar Kereskedelmi és Iparkamara 2003-ban Az év környezetvédelmi menedzserének választotta. 2004-ben a DWA Kft. Kiváló

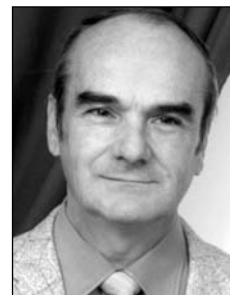
Dolgozója, majd 2011-ben az ISD Dunaferri tanácsosa elismerésben részesült. 2018-ban vehette át az OMBKE Sóltz Vilmos-émlékérmét, majd 2019-ben a MKIK Kamarai Díját.

*Szilágyi Irén*

### 70. születésnapját ünnepelte

**Török Tamás István** Pápáról, a Türr István Gimnáziumból jelentkezett Miskolcra a Nehézipari Műszaki Egyetemre. Kitüntetéses kohómérnöki oklevelének átvétele (1974) után a fizikai kémiai tanszékre került, ahonnan a frissen szerzett (1979) dr. techn. univ. címe birtokában másfél évig Japánban, a Kiotói Egyetem kémia tanszékén dolgozott ösztöndíjas kutatóként, majd hazatérése után újabb tudományos fokozatokat és címeket (kandidátus, PhD, dr. habil., MTA doktora) is elnyert.

1991-ben, docensi kinevezése után áthívták a fémkohászati tanszékre, melynek később vezetője lett. Később még évekig vezette a Metallurgiai és Öntészeti Tanszékét, ill. Intézetet is. Érdeklődése a kétezres években fokozatosan a kémiai metallurgia mellett egyre inkább a felülettechnológiák és a korrózióvédelmi kutatások felé fordult, elsősorban a fémötvözetekből készült fémipari termékek felületkezelése és felületvédelme vált szakterületévé. Dr. Kékesi Tamás kollégájával közösen alapították meg a Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Intézeti Tanszékét, mely egyben a hagyományos szakterületek továbbfejlesztését is fémjelezte, és nyitást jelentett új oktatási-kutatási specializációk irányába a Műszaki Anyagtudományi Karon.



A Miskolci Egyetemen eltöltött évtizedek alatt írt tucatnyi jegyzetet, magyarul és angolul, rendszeresen részt vett és tartott előadásokat hazai és nemzetközi konferenciákon; a kilencvenes években itthon évekig elnöke volt az ASM (American Society of Materials) International Magyar Tagozatának, volt elnökhelyettese az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületnek, jelenleg pedig főtítkára a Magyar Korróziós Szövetségnek (HUNKOR). A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályán kétszer is megválasztották a Metallurgiai Tudományos Bizottság elnökének, és két éve az MTA Miskolci Területi Bizottságán új munkabizottságot (Korrózióvédelmi és Felülettechnológiai) alapított és működtet. Egyetemi tanári kinevezése (2008) utáni években egyre hangsúlyosabban törekedett olyan új ipari kapcsolatok kiépítésére (Bosch, SEGA, Wuppermann, Lufthansa

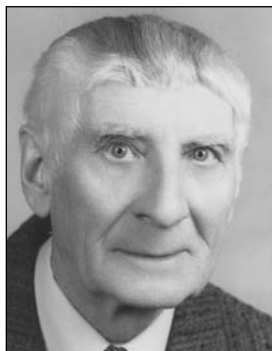
Technik), melyek a felsőfokú anyag- és kohómérnöki oktatás támogatása mellett a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolában folyó PhD-képzés fejlődésében is érdekelték. Vezetésével öt korábbi egyetemi hallgatója szerzett PhD tudományos fokozatot és jelenleg

is irányítja két külföldi ösztöndíjas PhD-hallgató kutatásait, 2021. április 1-től professor emeritusként. Régtől és jelenleg is aktív tagja a Bányászati és Kohászati Lapok Kohászat Szerkesztő Bizottságának, ahol a Fémkohászat rovat társvezetője.

## ■ NEKROLÓGOK

### Fogarasi Béla

1929–2021



Fogarasi Béla vasdiplomás fémkohómérnök Balmazújvárosban született 1929. november 17-én.

1953-ban szerzett fémkohómérnöki oklevelet a mai nevén Miskolci Egyetemen. Hallgatóként az Elemző Kémia Tanszék demonstrátora, majd két éven át a Fémkohászati Tanszék tanársegédje volt.

1955-től nyugdíjazásáig Apcon dolgozott, 1957-ig a Fémtermia Vállalat főtechnológusaként, majd közel tíz évig főmérnökeként. A cég profilváltása után a Qualital kutatómérnöke, majd 1987-től főtanácsosa volt. Itt foglalkozott a timföldgyári lúgok jellemzőivel, az úrkúti hidrociklonozási meddő felhasználhatóságával, ferroötvözetek gyártásával, fémek (magnézium, mangán, króm, vanádium) kísérleti és félüzemi előállításával. Bevezette a nagy titántartalmú ferrotitán és a ferro-nikkel hazai gyártását, a korábban hányóra került vanádiumsálgak elektrotermikus feldolgozását. Közreműködött a sínhegesztőpor importot kiváltó hazai gyártásának megszervezésében. Megindította Apcon az alumínium kokillaöntést. Foglalkozott a különösen pontos és hosszú élettartamú öntőszerszámokkal, az ellennyomósos öntéssel, a folyékonyfém-adagolókkal, az öntészeti ötvözetek minőségének javításával. Társaival bevezette az alumíniumdara centrifugális előállítását, az acélok dezoxidációjához szükséges alutömbök (BNV-díjas termékek) gyártását.

Számos pályázat nyertese, szolgálati szabadalmak résztulajdonosa volt. Munkájáért többek között a Kohászat Kiváló Dolgozója és a Munka Érdem-

rend ezüst fokozata kitüntetésekben részesült. 1989-ben vonult nyugdíjba, ezt követően vállalat történettel, valamint néhány kis olvaspontú ötvözet-hulladék olvasztásának és raffinálásának problémájával foglalkozott.

Az OMBKE-nek 1968 óta volt tagja. Az Öntészeti szakosztály Apci helyi csoportjának egyik alapítója, tíz éven át titkára volt. Munkája eredményeként a csoport taglétszáma a nyolcvanas években meghaladta a 100 főt. Az egyesületi rendezvényeken tartott előadásai, lapunkban megjelent publikációi növelték szakmai elismertségét. Megírta a helyi szervezet 35 éves történetét. Segítette az Öntödei Múzeum fémöntészeti tárlóinak gazdagítását. Egyesületi munkájáért Soltz Vilmos- emlékérem, MTESZ Központi Elismerő Oklevél, Fazola Henrik- emléklap, Centenárium- emlékérem, OMBKE- emléklakett és Öntészeti Szakosztályért- emlékérem kitüntetésekben részesült. Utolsó éveiben is a gyártörténeti dokumentumok gyűjtésével foglalkozott. 2018-ban vette át Miskolcon a 65 éve az egyetemen végzeteknek járó vasdiplomáját.

2021. március 2-án, 92 évesen, házasságának 56. évében, otthonában, csendesen elhunyt. Május 10-i temetésén, a kelenföldi Szt. Gellért templomban, a búcsúztató szentmise után, a családi urnába helyezéskor, régi munkahelye közössége nevében Rigó Róbert okl. km. méltatta munkásságát.

Kedves Béla bátyánknak, az Öntészeti Szakosztály tisztelt és szeretett Öregjének ezúton mondunk utolsó Jó szerencsét!

**Lengyelne Kiss Katalin**

### Dr. Vörös Árpád

1935–2021

Életének 86. évében, 2021. július 5-én elhunyt dr. Vörös Árpád okl. kohómérnök, a vasöntészet kiemelkedő személyisége, egykori kohászatért felelős miniszterhelyettes, az OMBKE tiszteleti tagja.

Nekrológját következő számunkban közöljük.

## Az OMBKE 111. Küldöttgyűlése

Tájékoztatjuk Tisztelt Tagtársainkat, hogy az OMBKE 111. Küldöttgyűlése **2021. október 2-án** kerül személyes jelenléttel megrendezésre, amennyiben arra az aktuális vírushelyzet lehetőséget ad. A Küldöttgyűlésnek a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Stefánia úti „Art Geo Palota” díszterme ad otthont. A Küldöttgyűlés 10:30-kor kezdődik. Mivel az egyik meghatározó előterjesztés az Egyesület Alapszabály-tervezete lesz, ezért nagyon fontos, hogy a Küldöttgyűlés határozatképes legyen, amihez a küldöttek és a tiszteleti tagok 50%-a +1 fő részvétele szükséges. Amennyiben nem lesz meg a határozatképesség, úgy a megismételt Küldöttgyűlést 11:00 órakor tartjuk meg. A részletes meghívót a napi-rendi pontokkal a Küldöttgyűlés előtt egy hónappal megkapják az érdekeltek.

Jó szerencsét!

**Kőrösi Tamás**



**A Magyar Öntészeti Szövetség**  
és az  
**Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület**  
Öntészeti Szakosztálya



meghívja az érdeklődő szakembereket a

**26. Magyar Öntőnapok**  
Konferencia és Kiállítás rendezvényre.

Program és regisztráció: [www.foundry.hu](http://www.foundry.hu), illetve  
[foundry@foundry.hu](mailto:foundry@foundry.hu)  
A rendezvény ideje: **2021. október 15-17.**  
A rendezvény helye: **Hotel Abacus\*\*\*\***  
[www.abacus.hu](http://www.abacus.hu)  
2053 Herceghalom, Pest megye



**The Association of Hungarian Foundries**  
and the  
**Hungarian Mining and Metallurgical Society'**  
**Foundry Section**



invite you to the events of the  
**26th Hungarian Foundry Days**  
**Conference and Exhibition**  
held in the  
**Hotel Abacus\*\*\*\*, Herceghalom, Pest County**  
(in the neighbourhood of Budapest)

Date: **15-17 October, 2021**  
Address: **3 Gesztenyés, Herceghalom 2053**  
[www.abacus.hu](http://www.abacus.hu)  
Program and registration: [www.foundry.hu](http://www.foundry.hu) and  
[foundry@foundry.hu](mailto:foundry@foundry.hu)

## 26. Magyar Öntőnapok Kiállítás és Konferencia – 62 év a hazai öntészet szolgálatában

A 26. Magyar Öntőnapok Kiállítás és Konferencia rendezvényt 2021. október 15–17-én, Herceghalmon, a Hotel Abacus\*\*\*\* Konferenciahotelben tartja a Magyar Öntészeti Szövetség (MÖSZ) és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület (OMBKE) Öntészeti Szakosztálya.

A konferencia hivatalos nyelve a magyar és az angol, szinkrontolmácsolással. A rendezvény főbb adatai:

Regisztrált résztvevők száma:	220-250
Szakmai előadások száma:	40-42
Diákelőadások száma:	8
Cégismertető előadások száma:	5-8
Kiállítók száma:	12-15
Támogatók száma:	20-24 társaság
A résztvevő középiskolások száma:	60–80 fő
Gyárlátogatáson részt vesz általában	40-50 fő

A szervezők és a rendezvény támogatói a megnyitó előtt szakmai délelőtti szerveznek a hazai öntészeti szakirányú képzés jövőjének biztosításáért, az öntészet társadalmi elfogadottságának javításáért. A megjelenő középiskolai diákok összefoglaló jellegű, öntészethez kapcsolódó előadásokat hallgathatnak meg. A délelőtti program végén a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézet oktatói és hallgatói a diákok közreműködésével formázási és öntési bemutatót tartanak a hotel bejárata előtt.

Ezalatt a konferencia többi résztvevője gyárlátogatáson vehet részt, idén a Csepel Metall Kft. és az Ecseri Kft. tekinthető meg.

A diákszekcióban a szervezők a miskolci és más hazai egyetemek BSc- és MSc-szintű egyetemi hallgatóinak biztosítanak előadási lehetőséget.

A résztvevők a rendező szervezetek meghívására kulturális programon is részt vehetnek.

A rendezvény második napján már két szekcióban folynak az információs és a szakmai előadások. Este jó hangulatú, a selmeci diák hagyományokat felidéző, tradicionális szakestélyt is tartanak a konferencia résztvevőinek.

Hagyomány, hogy a konferencia előadásai közül a legjobbaknak „Kiváló Szakmai Előadás” címetek, a Nándori Gyula-emlékérmet és a Dr. Bakó Károly emlékének megőrzésére alapított „Ezüst lanzetta” díjat ítélnek oda a konferencia szekcióelnökei.

A rendező szervezetek várják a hazai és a külföldi öntészet munkatársait, az érdeklődő és együttműködő személyeket, cégképviselőket!

A 26. Magyar Öntő Napok Kiállítás és Konferencia magyar és angol nyelvű ismertetője és regisztrációs lapja elérhető a [www.foundry.hu](http://www.foundry.hu) és a [www.ombke.hu](http://www.ombke.hu) honlapokon.

**A Szervező Bizottság**

# Szemelvények kohászatunk múltjából

## A Murányi Uniótól a Rimamurány–Salgótarjáni Vasmű Rt.-ig

A Murányi Uniót *Sturman Márton* 1808-ban hozta létre a Nagyrőce térségében lévő vasművek és –bányák hatékonyabb működtetésére. (A *Sturman* család tagjai már a 17. századi forrásokban feltűnnek mint Murány-völgyi vashámorosok.) Az unióba a részvényesek apporttal léptek be. Az induláskor a társaság vagyona 2 nagyolvasztóból, 4 bucakemencéből, 12 frissítő-, 8 nyújtó- és egy szerhámorból, továbbá bányákból és erdőhasználati jogokból állt. A 19. század közepén már négy nagyolvasztó dolgozott, a bucakemencéket leállították, a nyersvastermelés évi 62 ezer bécsi mázsa volt.



Az ózdi vasgyár 1864-ben

*Sturman Márton* 1810-ben egy másik vasgyártó társaságot is létrehozott, a Rimai Coalitiót. Ennek alapítói földbirtokosok voltak, a Rima völgyében fekvő vasgyártó telepek vásárlás útján kerültek a társaság tulajdonába: egy-egy nagyolvasztó *Nyustyán* és *Rimabrézón*, 8 frissítő-, 4 nyújtó- és egy szerhámor. A vasbányák a Vashegyen voltak. *Nyustyán* 1830-ban már két nagyolvasztó működött, a rimabrézói viszont lebontották. 1847-ben a nyersvastermelés meghaladta a 30 ezer mázsát. A Coalitióknak hosszabb időn át *Sturman Márton* volt az elnöke, 1843–48-ig pedig a *Selmecen* végzett *Rombauer Tivadar*.

*Rombauer* szorgalmazta egy nagy „vasfinomító”, azaz acélgár létrehozását. Erre a célra alakult meg 1845-ben Rimaszombatban a Gömői Vasművelő Egyesületet. A részvények kétötödét a Murányi Unió és a Rimai Coalitio jegyezte, a többit pedig magánosok és két mezőváros. A gyártelephez Ózdon 20 hold területet vásároltak. A kísérleti termelést 9 kavará-, 4 hegesztőkemencével, 2 kalapáccsal és 4 hengersorral 1848 februárjában kezdték el, de a folyamatos üzem csak a szabadságharc után, 1950-ben indulhatott meg.

A murányi, a rimai és a gömői társaság fúziójával 1852-ben létrejött a Rimamurányvölgyi Vasmű Egyesület. 1862-ben Borsodnásdasdon acél- és hengermű létesült tíz kavárokemencével, egy gőzkalapáccsal és két hengersorral. A gyár profilját 1882 után kizárólag a lemezgyártás képezte, horganyzott és ónozott lemezt is készítettek, a termelés meghaladta az évi kilencezer tonnát.

1868-ban Gömör vármegyei földbirtokosok és kohótulajdonosok megalapították a Salgótarjáni Vasfinomító Társulatot. A gyár két év múlva kezdett termelni 16 kavará-. 6 hegesztőkemencével, 3 hengersorral és vasöntődével. Az 1870-es évek végén a hengerelt áru mennyisége elérte az évi 14 ezer tonnát.

A rimamurányvölgyi Vasmű Egyesület és a Salgótarjáni Vasfinomító Társulat fúziójával a Wiener Bankverein és a bécsi Länderbank 1881-ben létrehozta a Rimamurány–Salgótarjáni Vasmű Rt.-t. Ózdon a kavárokemencék helyett fokozatosan martinkemencéket helyeztek üzembe, újabb hengersorok épültek, a 20. sz. elején pedig négy nagyolvasztót létesítettek. Salgótarjában meghonosították a Thomas-acélgyártást, bővítették a hengerművet; 1900-ig itt volt az Rt. igazgatósága. Savas konvertert és martinkemencét helyeztek üzembe. A *Nyustya* melletti *Likéren* kocszos nagyolvasztókat telepítettek, viszont a nagyrőcei kohókat üzemben kívül helyezték. 1900-ban a részvénytársaság megszerezte a korompai vasmű és a zólyomi vas- és bádoggár részvényeinek többségét, hat év múlva megvette a kaláni bánya- és kohóművet; a vasgyárakon kívül szén-, vasérc-, magnezit-, mészkőbányákat és erdőgazdaságokat is birtokolt. Az első világháború kitörése előtt az Rt. tízezer embert foglalkoztatott; 1942-ben Magyarország acéltermelésének felét adta. A röviden csak Rima névvel illetett társaságot 1946-ban államosították.

K. L.

### Források

*Rempert Z.*: Magyarország vaskohászata az ipari forradalom előestéjén. Bp., 1995.

*Edvi Illés A.* (szerk.): A magyar korona országainak gyáripara az 1906. évben. II. k. 1. r. Vasipar. Bp., 1911.

*Óvári A.*: Az ózdi vasmű alapításának és első üzeméinek vázlatos története. BKL Kohászat, 1967. 10. és 11. sz.

*Lisznyánszky A.* (szerk.): A salgótarjáni Kohászati Üzemek száz éve. 1869–1968. Salgótarján, é. n.