

## BÁNYÁSZATI és KOHÁSZATI

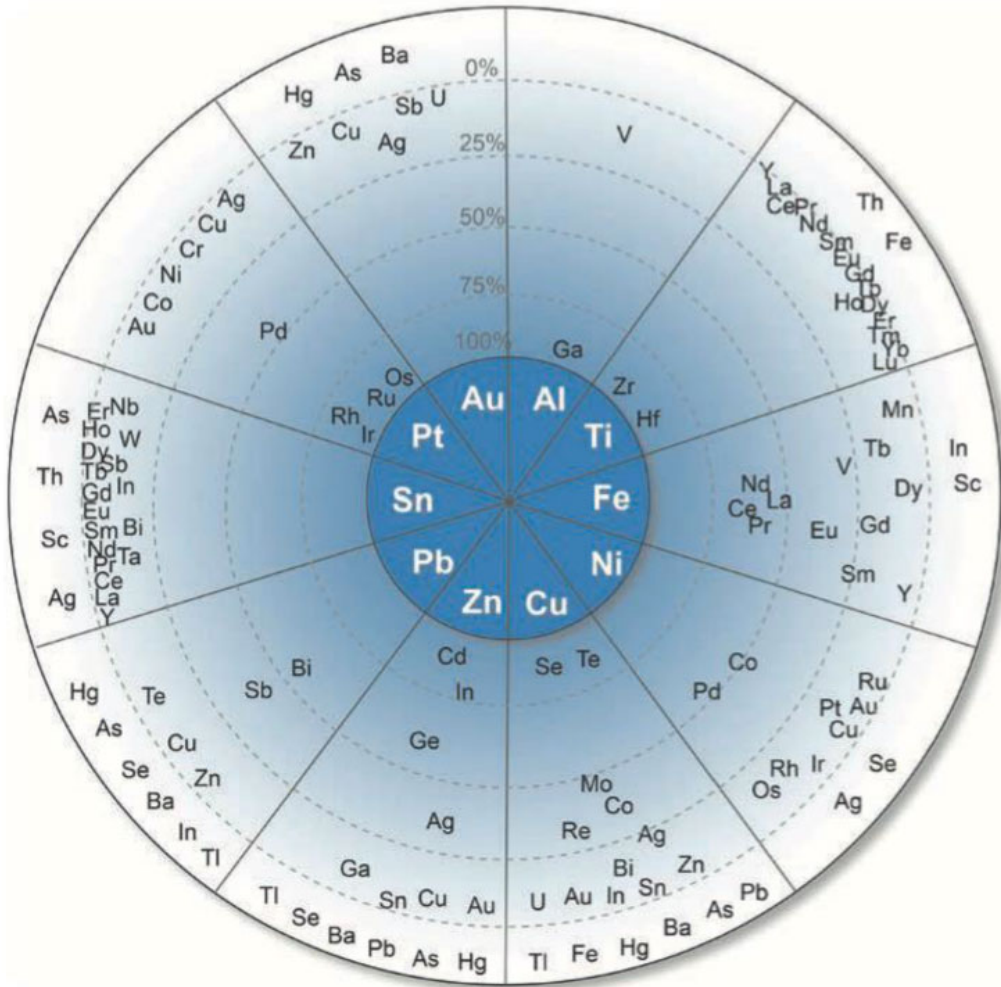
### LAPOK

AZ ORSZÁGOS MAGYAR BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI  
EGYESÜLET LAPJA ALAPÍTOTTA PÉCH ANTAL 1868-BAN

### A fémek társulási kördiagramja

Forrás: Nassar N. T., Graedel T. E., Harper E. M. (2015):  
By-product metals are technologically essential but  
have problematic supply. *Science Advances* 1(3) 1–10.

Cikkünk: *A Kritikus Nyersanyagok Maraton*  
*Adatgyűjteményéből, 3. rész*



## FROM THE CONTENTS

**116TH EXTRAORDINARY GENERAL ASSEMBLY OF DELEGATES OF THE HUNGARIAN NATIONAL MINING AND METALLURGICAL ASSOCIATION** ... .. 2

**ANDRÁS ROÓSZ, ARNOLD RÓNAFÖLDI, MÁRIA SVÉDA, ZSOLT VERES,** : Effect of crucible wall roughness on the laminar/turbulent flow transition of the Ga75In25 alloy stirred by a rotating magnetic field ... .. 4

**FERENC MÁDAI, EVANE CESAR JOAO DE CUÑHA, ABDUSSALAM AUWAL, TAMMAM ALBAINE, MOHAMED AHMAD ABD EL HADI BADAWI, NORBERT NÉMETH, JÁNOS FÖLDESSY:** From the Critical Raw Materials Marathon data collections 3. Transition metals, alkali earth metals, semimetals ... .. 17

**ZOLTÁN HORVÁTH, JÁNOS KISS, KÁLMÁN TÖRÖK, JÁNOS FÖLDESSY:** EU legislation on critical raw materials and some related domestic aspects .. .. 30

**LÁSZLÓ HÁRI:** Special waste processing profitabilities in the blast furnace ... .. 37

**SÁNDOR NOVÁK, SR.:** Atmospheric CO<sub>2</sub> from fossil fuels and combustibles: analysis of the enrichment, the future predictability of it and the conclusions to be drawn ... .. 44



### Felelős szerkesztő:

**Hajnal József**

E-mail:  
hirfor2000@gmail.com

### A Szerkesztőbizottság tagjai:

Bariczáné Szabó Szilvia, Bíró Nóra,  
Dr. Dovrtel Gusztáv, Fisch Iván,  
Dr. Földessy János,  
Dr. Harcsik Béla, Dr. Kóródi István,  
Dr. Ladányi Gábor, Livó László,  
Lois László, Molnár József,  
Molnár Zsolt, Pali Sándor,  
Schudich Anna, Dr. Szabó Tibor,  
Szekács Annamária,  
Dr. Szunyogh István, Dr. Tardy Pál,  
Dr. Török Tamás, Dr. Vadászi Marianna  
Dr. Vojuczki Péter

### Kiadja:

Országos Magyar Bányászati és  
Kohászati Egyesület (OMBKE),  
1107 Budapest, Hízlaló tér 1.  
Telefon/Fax: 1-201-7337  
www.ombke.hu

### A kiadásért felel:

Dr. Szombatfalvy Anna,  
Jármai Gábor

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

A BKL lapszámai az OMBKE  
honlapján – www.ombke.hu –  
érhetők el.

HU ISSN 2498-9322

## TARTALOM

|   |    |
|---|----|
| <b>AZ ORSZÁGOS MAGYAR BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI EGYESÜLET<br/>116. RENDKÍVÜLI KÜLDÖTTGYŰLÉSE</b> . . . . .  | 2  |
| <b>ROÓSZ ANDRÁS, RÓNAFÖLDI ARNOLD, SVÉDA MÁRIA,<br/>VERES ZSOLT:</b><br>A téglafal érdességének hatása a lamináris/turbulens áramlási<br>átmenetre forgó mágneses mező által kevert Ga75In25-ötvözet<br>esetében . . . . .  | 4  |
| <b>MÁDAI FERENC, EVANE CESAR JOAO DE CUÑHA, ABDUSSALAM<br/>AUWAL, TAMMAM ALBAINE, MOHAMED AHMAD ABD EL HADI<br/>BADAWI, NÉMETH NORBERT, FÖLDESSY JÁNOS:</b><br>A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből<br>3. Átmeneti fémek, alkáliföldfémek, félfémek . . . . . | 17 |
| <b>HORVÁTH ZOLTÁN, KISS JÁNOS, TÖRÖK KÁLMÁN,<br/>FÖLDESSY JÁNOS:</b><br>Az EU kritikus fontosságú nyersanyagokról szóló jogszabálya<br>és néhány kapcsolódó hazai vonatkozása . . . . .   | 30 |
| <b>HÁRI LÁSZLÓ:</b><br>Különleges hulladékok feldolgozási lehetőségei<br>a nagyolvasztóban . . . . .  | 37 |
| <b>ID. NOVÁK SÁNDOR:</b><br>A fosszilis tüzelő- és üzemanyagokból eredő légköri CO <sub>2</sub> -feldúsulás<br>elemzése, annak jövőbeli kiszámíthatósága és az ebből levonható<br>következtetések . . . . .   | 44 |

(for English titles see B2 page)

Inzert: 3B Hungária Kft.  
WEIR Minerals Sand Wash Plant

Címlapon: A fémek társulási kördiagramja  
(Publikáció a 17. oldalon)

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával jelenik meg.

# Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 116. Rendkívüli Küldöttgyűlése – Dr. Szombatfalvy Anna az OMBKE új elnöke

## 116th Extraordinary Assembly of Delegates of the Hungarian National Mining and Metallurgical Association – Dr. Anna Szombatfalvy is the new president of the Association

2024. szeptember 28-án, szombaton, Budapesten, a Stefánia úti SZTFH–MÁFI székház dísztermében tanácskozott az OMBKE 116. Rendkívüli Küldöttgyűlése. Az esemény résztvevői az ülés napirendjének három pontot szavaztak meg, ennek értelmében elnökválasztásra, alelnök és elnökségi tag választására került sor.

**Kulcsszavak:** egyesület, elnökválasztás

On Saturday, September 28, 2024, the 116th Extraordinary Assembly of the Hungarian National Mining and Metallurgical Association (OMBKE) convened in Budapest, in the banquet hall of the SZTFH–MÁFI headquarters in Stefánia út. The participants of the event voted on three points of the meeting's agenda, according to which the election of president, vice president and board member took place.

**Keywords:** association, presidential election



A 116. Rendkívüli Küldöttgyűlés résztvevői

A nemzeti himnusz eléneklése, a napirendek megszavazása után *Dencs László* a szavazatszámoló bizottság elnökeként bejelentette: a tanácskozás hetvennégy küldött megjelenésével határozatképes.

Őt követően a jelölőbizottság képviselőjében *Hajnóczky Tamás* okleveles bányamérnök ismertette a testület döntéseit. Határozatuk értelmében javasolta, hogy *dr. Szombatfalvy Anna* és *Törő György* neve kerüljön fel a szavazólapra. A jelöltek rövid beszédét követően a küldöttek kettejük személyéről szavaztak.

Döntésük értelmében az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület új elnöke *dr. Szombatfalvy Anna* lett.

Ezután a 116. Rendkívüli Küldöttgyűlésen – mint-hogy *dr. Szombatfalvy Anna* korábbi alelnöki posztja megüresedett – kohász alelnök, valamint új elnökségi tagok személyéről kellett dönteni.

A jelölőbizottság előterjesztése alapján, kohász alelnöki tisztségre *dr. Fegyverneki Györgyöt* választották meg.

Határozatuk értelmében öntész elnökségi tag lett *dr. Pintér Richárd*, bányász elnökségi tagnak *Rátkai Norbertet* választották meg.

A választási ügymenet után hozzászólások következtek. *Dobos Szabolcs* a Bányamérő Szakosztály tagjainak nevében szólított fel az egyesületi életben való

aktív részvételre, dr. Pintér Richárd megköszönve a bizalmat, s többek között a fiatalítás szükségességét szorgalmazta. Török Károly a vidéki helyi szervezetek támogatását forszírozta, míg Kovácsics Árpád az Egyesület helyzetét elemezve arról szólt, hogy az új vezetés sorskérdések tisztázása előtt áll. Ide tartozónak sorolta a több száz nem fizető tag körülményeivel összefüggő döntést. Dr. Vojuczki Péter a versenyképesség és a függetlenség, valamint az érdekvérvényesítés összefüggéseit ecsetelte.

A tanácskozás végén dr. Szombatfalvy Anna elnök szólt a résztvevőkhöz.

### Új idők – új kihívások, új generáció – új megoldások



Dr. Szombatfalvy Anna elnök

Dr. Szombatfalvy Anna zárszavában megköszönte a küldöttgyűlés tagjainak a részvételt, és a szervezők munkáját, majd így folytatta:

*Sikeres rendkívüli küldöttgyűlést zártunk. Van új elnökünk, új alelnökünk és két új elnökségi tagunk. Sok munka és*

*feladat vár ránk, de tudom, hogy együtt, egymást segítve mindent meg fogunk oldani. Hiszen egységben az erő. Személy szerint ismételen szeretném megköszönni a bizalmat és a támogatást. Köszönöm, hogy elnök lehetek egy ilyen nagymúltú egyesületben. A motivációs leveletem mindenki olvashatta, de megerősítem, hogy nagyon sok tervem van, sok mindent szeretnék véghezvinni az elkövetkező másfél évben. Ehhez szükségem van a tagtársak további támogatására minden téren. Fontos kiemelnem, hogy nemcsak a kohászok, hanem a bányászok elnöke is vagyok, őket is ugyanúgy szívvel-lélekkel fogom képviselni és segíteni. Továbbra is integráló, egyesítő személyiségként szeretnék az Egyesület munkájában részt venni. Ne felejtsük el, hogy az OMBKE nem az elnök, az OMBKE nem az elnökség, hanem mi mindannyian, a tagság.*

*A jobbító szándékú kritikára, az ötletekre nyitott vagyok. Kérem, hogy bárki, bármilyen témával, problémával, feladattal bátran keressen meg! Közösen megtaláljuk a megoldást.*

*Hiszek az őszinte kommunikációban és az átlátható, tiszta pénzügyi gazdálkodásban. Szeretném,*

*ha a nálam idősebb tagtársak is megtapasztalnák a fiatalokban, a mi generációnkban a lehetőséget és a tenni akarást. De mindezek mellett a múltat és a gyökereinket, az elmaradhatatlan hármas jelszavunkat – „Hazaszeretet, szakmaszeretet, barátság!” – nem felejtjük el, az Alma Materhez, a selmeci szellemhez hűek leszünk.*

*Legyen ez a mottó: új idők, új kihívások, új generáció, új megoldások!*

*Köszönöm! Jó szerencsét!*

A 116. Küldöttgyűlés a Bányász, a Kohász és az Erdész Himnuszok eléneklésével ért véget.

### Dr. Szombatfalvy Anna szakmai életrajza

Dr. Szombatfalvy Anna 2007 júliusától az Alba Metall 1991 Kft. tulajdonos ügyvezetője. Feladatai a Vesuvius–Foseco GmbH kizárólagos magyarországi képviselője, a Vesuvius–Foseco GmbH disztribúciós magyarországi tennivalóinak ellátása, mérnöki tanácsadás, selejtokok feltárása, selejtszázalék csökkentése, gyártás optimalizálása, gazdaságosság javítása, rendszeres kapcsolattartás a magyarországi öntödékkel, berendezések helyi beüzemelése.

Tanulmányai a következők:

- 1996–2002 Vasvári Pál Gimnázium, érettségi
- 2002–2007 Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar, okl. kohómérnöki diploma
- 2004–2008 Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar, okl. közgazdászdiploma
- 2007 Jönköping University (Erasmus)
- 2007–2012 Miskolci Egyetem Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola (PhD)
- 2009 Freibergi Egyetem, „Tudáshidak Borsodból Európába” c. pályázat
- 2022–2024 Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, klímaadaptációs szakmérnök

2002-től az OMBKE tagja, 2008-tól az OMBKE Öntészeti Szakosztályának vezetőségi tagja, 2019 és 2022 között főtítkárhelyettes, 2022-től az Egyesület alelnöke.

Angolul és olaszul beszél, hobbjai az olvasás, a színház, a hagyományörzés.

# A tégelyfal érdességének hatása a lamináris/turbulens áramlási átmenetre forgó mágneses mező által kevert Ga75In25-ötvözet esetében

ROÓSZ ANDRÁS<sup>1,2,\*</sup>, RÓNAFÖLDI ARNOLD<sup>1,2</sup>, SVÉDA MÁRIA<sup>1,2</sup>, VERES ZSOLT<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet

<sup>2</sup>HUN-REN – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport

\*E-mail: femroosz@uni-miskolc.hu

*Másodközlés – Eredeti közlemény:*

## Effect of crucible wall roughness on the laminar/turbulent flow transition of the Ga75In25 alloy stirred by a rotating magnetic field

Scientific Reports 12 (2022) 18592

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21898-7>

A forgó mágneses mező (RMF) kritikus mágneses indukciós ( $B_{cr}$ ) értékeinek ismerete, amelyek estében az RMF által keltett olvadék áramlás lamináris marad (a kritikus Reynolds-szám  $Re^* > 2300$ ) vagy teljesen turbulensre vált ( $Re^* > 4000$ ), elengedhetetlen a különböző kristályosítási folyamatok tanulmányozásánál. Egy korábbi tanulmányban [28] megmutattuk, hogy  $B_{cr}$  értékei függenek a tégely sugarától ( $R$ ) és a mágneses mező frekvenciájától ( $f$ ). Ebben a tanulmányban a falérdesség ( $WR$ )  $B_{cr}$  értékére gyakorolt hatását vizsgáltuk. Tíz különböző érdességű tégely felhasználásával meghatároztuk a körfrekvenciát ( $\omega$ ) és a Reynolds-számot ( $Re$ ) a mágneses indukció ( $B$ ) és a frekvencia ( $f$ ) függvényében két különböző mérési módszerrel (nyomáskompensációs módszer, PCM; magasságmérési módszer, HMM). A kísérleteket szobahőmérsékleten végeztük, ezért a kísérletekhez a Ga75wt%In25wt%-ötvözetet választottuk. A mért és számított eredmények alapján egyszerű összefüggést határoztunk meg a  $B_{cr}$  és  $Re^*$ ,  $f$ ,  $R$  és  $WR$  között, ahol a  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  és  $K_4$  állandók az olvadék és a tégelyfal anyagának fizikai tulajdonságaitól függték:

$$B_{cr}(Re^*, f, R, WR) = \frac{Re^*}{R^2} (K_1 f^{-K_2} + K_3 f^{-K_4} WR).$$

**Kulcsszavak:** mágneses mezők, keverés, Reynolds-szám, Ga75In25-ötvözet, falérdesség, körfrekvencia

### 1. Bevezetés

A kristályosodott minta mikroszerkezete jelentősen függ az olvadékáramlástól, amely a kristályosodás során alakul ki. Az olvadékáramlás oka lehet az olvadék különböző részei közötti sűrűségkülönbség (gravitációs áramlás a koncentráció és/vagy a hőmérséklet-különbség miatt) vagy mágneses indukcióval történő keverés (kényszerolvadék-áramlás). A mágneses indukciós keverést széles körben használják különböző típusú ötvözetek és félvezetők kristályosítása, például acélok folyamatos öntésére során [1–3]. Mind a forgó mágneses mező (*Rotation Magnetic Field*, RMF), mind a vándorló mágneses mező (*Traveling Magnetic Field*, TMF) megvalósítható, de mivel az RMF berendezés egyszerűbb, ez a leggyakrabban használt technológia.

Az elmúlt két évtizedben számos szimulációt dolgoztak ki a kényszerolvadék áramlásának a mikroszerkezetre gyakorolt hatásának a számítására [18–27]. A szimuláció ellenőrzésének az egyik leggyakoribb módszere néhány egyirányú hőelvonással való kristályosítási kísérlet elvégzése alacsony olvadáspontú ötvözetekkel (legtöbbször alumínium-ötvözetekkel), ismert kristályosodási paraméterekkel, (hőmérsékleti gradiens, szilárd/folyadék frontsebesség, mágneses indukció és frekvencia), RMF-fel és a számított értékek összehasonlítása a szimulálttal.

Ezeknek a szimulációknak az egyik legproblematisabb része az olvadékáramlás számított körfrekvenciájának (amely nem egyezik meg az RMF körfrekvenciájával) az ellenőrzése.

A mágneses mező által indukált olvadékaramlás lehet lamináris vagy turbulens a körfrekvenciától függően. A lamináris és a turbulens olvadékaramlás mikroszerkezetre gyakorolt hatása eltérő, ezért fontos ismerni a szimuláció esetén az adott indukció mellett ( $B$ ) keletkező áramlás típusát.

Az RMF által létrehozott kényszerolvadék-áramlás közvetlenül befolyásolja a kristályosodott mikroszerkezetet (primer és szekunder dendritagtávolság, mikro- és makrodúsulás, szemcseszerkezet, oszlopos/ekviaxiális átmenet) [4–17]. A tégely falának érdesség ( $WR$ ) miatti felületi sűrűdés csökkenti a körfrekvenciát, így a mikroszerkezetre gyakorolt hatás kisebb lesz egy adott mágneses indukciónál.

Az RMF hatására számos példa található a szakirodalomban. Sajnos nem találtunk olyan kísérleteket, ahol a szerzők információt közöltek a tégely falának érdességéről.

*A cikkben bemutatott kísérleteknek az a célja, hogy megmutassák, hogy ha különböző kísérletek eredményeit, vagy a kísérletek eredményeit a szimulációk eredményeivel akarjuk összehasonlítani, akkor lényeges a tégelyfal érdességének ismerete.*

Egy korábbi tanulmányban [28] bemutattuk, hogy a kritikus mágneses indukció ( $B_{cr}$ ), amelynél az olvadék áramlása lamináris marad vagy turbulenssé válik, függ a mágneses tér frekvenciájától és a tégely átmérőjétől az olvadék forgó mágneses mezővel való (RMF) keverése során. A kísérletekben teflontégelyt használtunk, a tégely falát kellően simának feltételeztük (a fal érdessége elhanyagolható volt), és nem volt sűrűdés a fal és az olvadék között (1–8. minta az 1. táblázatban). Az irodalomban található kristályosodási kísérleteknél számos különböző tégelyanyagot használtak a mágneses keverés megszilárdult mikroszerkezetre gyakorolt hatásának tanulmányozására, (pl. aerogél [5], grafit [6–8],  $Al_2O_3$  [9–13], szilícium-dioxid [14], rozsdamentes acél [15, 16], gipsz [17]). Ezeknek a tégelyeknek a fali érdessége nagyon eltérő volt, és biztosan nagyobb volt, mint a tefloné, de a szerzők a fal érdességére vonatkozó adatot nem adták meg, így azok nem összehasonlíthatók egymással és a saját kísérleteink eredményeivel. A fal sűrűdése nő a fal érdességének növekedésével, és ezáltal a körfrekvencia egy adott mágneses indukciónál ( $B$ ) csökken. A különböző kísérletek összehasonlíthatósága megköveteli a falsűrűdés olvadékaramlásra gyakorolt hatásának számszerű ismeretét. Számos tanulmány [pl. 29–38] vizsgálta a fal sűrűdésének hatását különböző rendszerekben, de nem találtunk információt erről a hatásról az olvadék mágneses keverése esetén.

*Ebben a cikkben ezt a hatást vizsgáltuk rendkívül eltérő fali érdességi értékek esetében. Mivel a kísérleteket szobahőmérsékleten végeztük, az ilyen típusú*

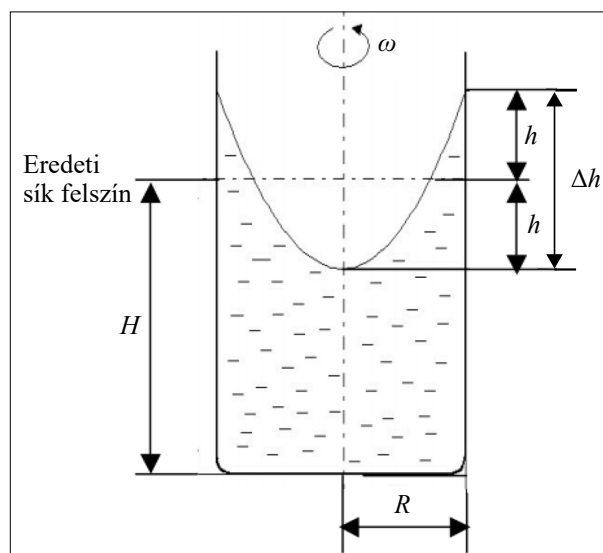
*vizsgálatok esetében az általában alacsony olvadáspontú fémekből és ötvözetekből (Hg [39], Ga [40, 41], GaIn-ötvözet [42], GaInSn-ötvözet [43, 44]) a Ga75In25-ötvözetet választottuk.*

## 2. MÉRÉSI MÓDSZEREK

A forgó folyadékoszlop sugara mentén változik a nyomás, mivel a folyadékreszek különböző kerületi sebességgel mozognak különböző sugárnál. Következésképpen szabad felület esetén a folyadék felülete forgási paraboloid alakú (1. ábra). Két lehetőség van a folyadék körfrekvenciájának a meghatározására:

- i) *A szabad felület szint változásának mérése (magasságmérési módszer; HMM) [45]*

A forgás következtében az eredeti sík felület  $H$  magasságához képest a tégely közepén  $h$  értékkel csökken, a tégely falánál  $h$  értékkel nő az olvadék magassága (1. ábra). Megmérve a  $\Delta h = 2h$  távolságot a forgás körfrekvenciája kiszámítható (lásd (1) egyenlet). Az ábrán  $H$  az olvadék oszlop magassága a keverés előtt,  $R$  pedig annak sugara. Kísérleteinkben a  $H/R$  arány  $60/5 = 12$  és  $60/12,5 = 4,8$  között változott.



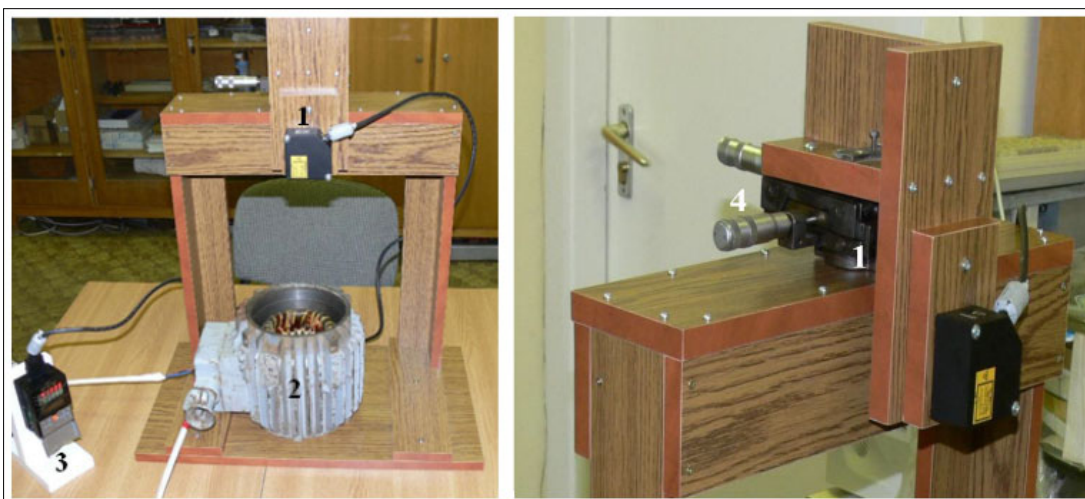
1. ábra. A forgó mágneses mező (RMF) hatása az olvadék alakjára keverés közben

A fémoszlop körfrekvenciáját a következőképpen számítottuk ki:

$$\omega = (1/R)(2\Delta h g)^{0,5}, \quad (1)$$

ahol  $g$  a gravitációs állandó ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Lézeres távolságmérőt használtunk  $h$  méréseire a sík felület kezdeti  $H$  szintjéhez képest. A lézeres távolságmérőt a 2. ábra szemlélteti. A lézerforrást (lásd a 2. ábrán) egy X–Y asztalra rögzítettük. A lézersugarat a szabad felület alján mozgattuk, és a leghosszabb távolságot fogadtuk el.



2. ábra. A forgó fémolvadék szintjének csökkenésének mérésére szolgáló egység. 1: lézer, 2: induktor és 3: kijelző, 4: X-Y asztal

### ii) Mérés nyomáskompenzációs módszerrel (PCM)

A módszert előző cikkünkben ismertettük [28], további részletek a [46] irodalomban találhatóak. Egy zárt, olvadékkal kitöltött tégelyben annak közepéhez és a széléhez illesztett mérőcsőben az olvadék szintje azonos, ha az olvadékot nem forgatjuk („0” szint (level) a 3. ábrán). A forgás eredményeképpen a tégely középpontja és a széle között az olvadékban nyomáskülönbség alakul ki, aminek következtében a tégely közepén a mérőcsőben lesüllyed, a szélén felemelkedik az olvadék szint. A nyomáskülönbséget úgy határoztuk meg, hogy az olvadékfelületet magasságát a két mérő csőben a „b” mérőcsőben levő levegő  $p_{comp}$  nyomásával visszaállítottuk a „0” szintre

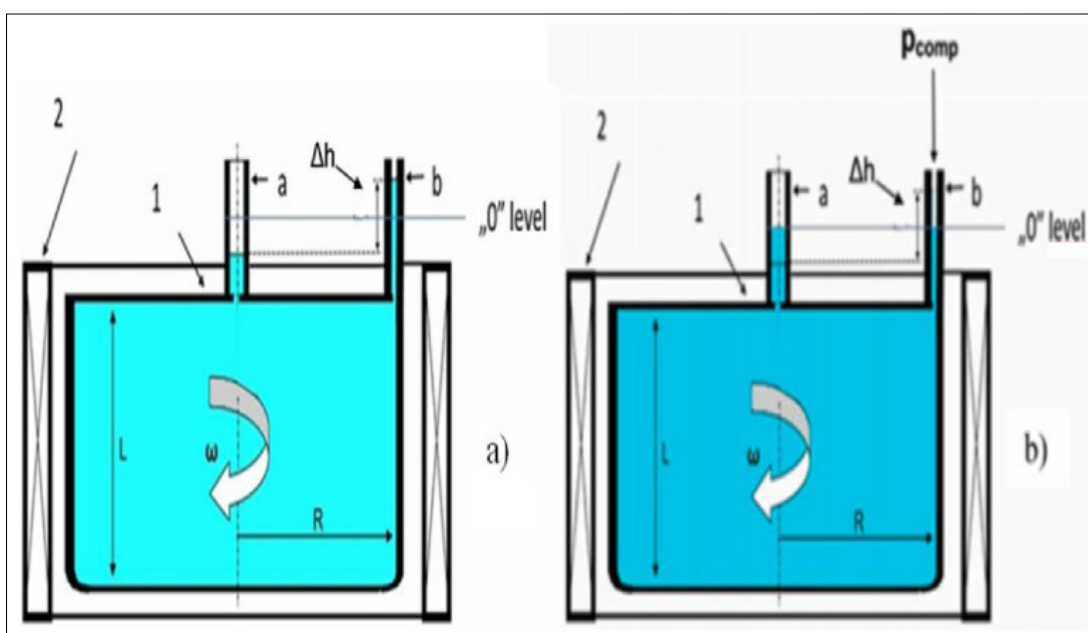
(3b. ábra). A megfelelő levegőnyomást egy precíziós pneumatikus rendszerrel hoztuk létre. A  $\Delta p$  nyomáskülönbségből kiszámítható  $\Delta h$  magasság különbség a (2) egyenlet szerint, abból pedig a (3) alapján a tégely szélén az  $\omega$  körfrekvenciát kapjuk,

$$\Delta h = \Delta p_{max} / \rho g, \quad (2)$$

$$\omega = \frac{1}{R} (2\Delta p / \rho)^{0.5}. \quad (3)$$

### 3. Kísérletek

A Ga75wt%In25wt%-ötvözetet azért választottuk, mert a kísérleteket szobahőmérsékleten végeztük. Az ötvözet fizikai paramétereit az 1. táblázat tartalmaz-



3. ábra. a) Az olvadékszint a mérőcsőknél, amikor a mágneses indukció működik. b) az olvadékszint a nyomáskompenzációnál a mérőcsőknél. 1: zárt tégely, 2: forgó mágneses tér induktora, „a” és „b” mérőcsőknél, L a tégely magassága, R a sugara



**1. táblázat.** A Ga75wt%In25wt%-ötvözet fizikai paramétere

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Olvadáspont [°C]                              | 15,7                  |
| Sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]                  | 6517,5                |
| Kinematikai viszkozitás [m <sup>2</sup> /s]   | 3,41·10 <sup>-7</sup> |
| Fajlagos elektromos vezetőképesség [MS/m]     | 3,58                  |
| Relatív mágneses permeabilitás                | 1                     |
| Behatolási távolság, 50/100/150/200 Hz-en, mm | 36/26/21/18           |

za. Két kísérletsorozatot végeztünk (2. táblázat), a táblázat 3. oszlopa mutatja a próbáknál használt módszereket.

### 1. kísérletsorozat

Az olvadt ötvözetet 13 mm belső átmérőjű és 100 mm magas tégelybe (üveg mintatartóba) helyeztük. Az olvadt ötvözet „olvadékhengerének” magassága 60 mm volt. A mágneses tér indukciója maximum 72 mT volt, forgásának körfrekvenciája 942 radián/s (a háromfázisú induktor pólusszáma kettő, tápfeszültségének frekvenciája 150 Hz volt). A kísérletek során hat különböző érdességű (*WR*) falfelületet használ-

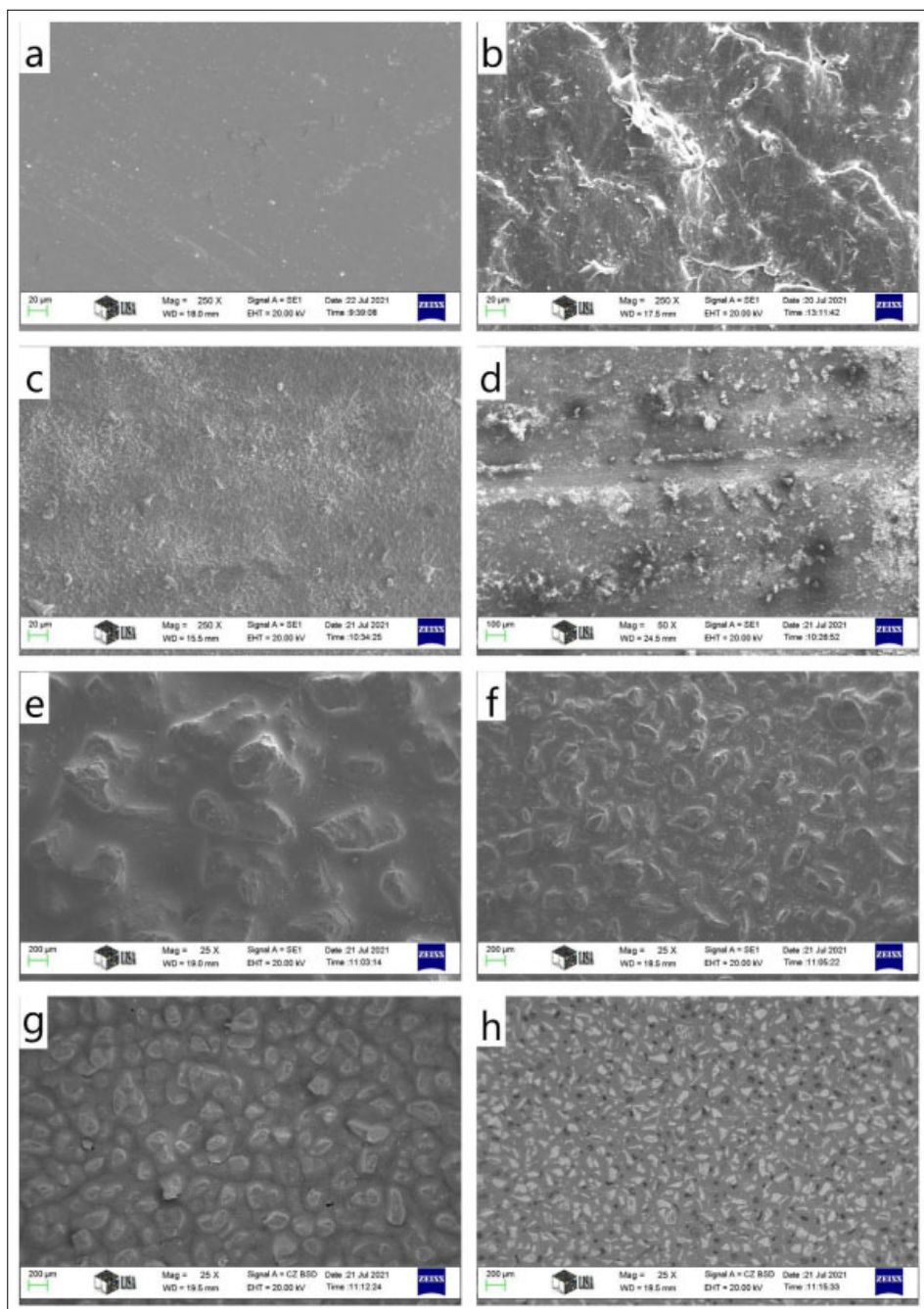
tunk. Ezeket a különböző érdességi értékeket olajozott üveggel, száraz üveggel és P150, P100, P60 és P40 érdességnek megfelelő csiszolópapírral értük el. A „PX” a csiszolópapír kereskedelmi védjegye (P jelentése: papír). A csiszolópapírok közötti különbséget a korund- (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-) részecskék átmérője jelentette. Az átlagos érdesség (a csiszolópapírból való kiemelkedés) 450, 280, 140 és 90 μm a P40, P60, P100 és P150 jelű csiszolópapírok esetében, amely értékeket lézeres távolságméréssel határoztuk meg.

Az így kapott értékeket az 1. táblázat mutatja be. Az olajozott üveget sima felületűnek tekintettük, azaz *WR* értéke 0 μm volt. A minták felületét pásztázó elektronmikroszkóppal (*scanning electron microscope*, SEM) vizsgáltuk. A vizsgálat előtt a mintákra aranyat párologtattunk, mivel a minták elektromos vezetőképessége elhanyagolható. A SEM-képeket szekunder elektronok (SE) állították elő. A minták felületei közötti különbségeket a 4. ábra mutatja.

A tégely falára felvitt csiszolópapír vastagsága 3 mm-rel csökkentette a mintatartó belső átmérőjét (a csiszolópapír vastagsága körülbelül 1 mm, a tégely fala és a csiszolópapír közötti levegőréteg pedig

**2. táblázat.** A minták jele, valamint a mért és számított kritikus mágneses indukciós értékek (*B<sub>cr</sub>*) nyomáskompenzációs módszerrel (PCM) és magasságmérési módszerrel (HMM) meghatározva

| Minta | Falanyag  | Mérési módszer | <i>WR</i> [mm] | <i>R</i> [mm] | <i>f</i> [Hz] | <i>Re</i> * = 2320           |                              | <i>Re</i> * = 4000           |                              |
|-------|-----------|----------------|----------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|       |           |                |                |               |               | <i>B<sub>cr</sub></i> (meas) | <i>B<sub>cr</sub></i> (calc) | <i>B<sub>cr</sub></i> (meas) | <i>B<sub>cr</sub></i> (calc) |
| 1     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 50            | 17,71                        | 17,66                        | 30,53                        | 30,44                        |
| 2     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 7,5           | 50            | 7,30                         | 7,85                         | 12,58                        | 13,53                        |
| 3     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 12,5          | 50            | 2,50                         | 2,82                         | 4,31                         | 4,87                         |
| 4     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 150           | 7,71                         | 8,86                         | 13,29                        | 15,28                        |
| 5     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 7,5           | 150           | 3,13                         | 3,94                         | 5,39                         | 6,79                         |
| 6     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 12,5          | 150           | 1,03                         | 1,42                         | 1,78                         | 2,45                         |
| 7     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 100           | 11,26                        | 11,42                        | 19,42                        | 19,68                        |
| 8     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 200           | 7,03                         | 7,41                         | 12,12                        | 12,78                        |
| 9     | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 150           | 7,74                         | 8,78                         | 13,46                        | 15,28                        |
| 10    | ALOX1     | PCM            | 0,082          | 5             | 150           | 8,8                          | 9,98                         | 15,31                        | 17,36                        |
| 11    | ALOX2     | PCM            | 0,107          | 5             | 150           | 9,53                         | 10,69                        | 16,58                        | 18,60                        |
| 12    | P40       | PCM            | 0,275          | 5             | 150           | 14,76                        | 15,48                        | 25,68                        | 26,92                        |
| 13    | TEFLON    | PCM            | 0,04           | 5             | 50            | 17,73                        | 17,35                        | 30,84                        | 30,16                        |
| 14    | ALOX1     | PCM            | 0,082          | 5             | 50            | 19,00                        | 18,98                        | 33,10                        | 32,99                        |
| 15    | ALOX2     | PCM            | 0,107          | 5             | 50            | 19,36                        | 19,95                        | 33,67                        | 34,68                        |
| 16    | P40       | PCM            | 0,275          | 5             | 50            | 27,48                        | 26,46                        | 47,79                        | 46,00                        |
| 17    | Oil Glass | HMM            | 0,00           | 5             | 150           | 6,96                         | 7,64                         | 12,11                        | 13,30                        |
| 18    | Dry Glass | HMM            | 0,15           | 5             | 150           | 7,10                         | 8,07                         | 12,35                        | 14,04                        |
| 19    | P150      | HMM            | 0,155          | 5             | 150           | 8,88                         | 12,06                        | 15,44                        | 20,98                        |
| 20    | P100      | HMM            | 0,165          | 5             | 150           | 11,22                        | 12,35                        | 19,51                        | 21,47                        |
| 21    | P60       | HMM            | 0,209          | 5             | 150           | 12,54                        | 13,60                        | 21,81                        | 23,65                        |
| 22    | P40       | HMM            | 0,275          | 5             | 150           | 14,8                         | 15,48                        | 25,74                        | 26,92                        |



**4. ábra.** A használt tégelyanyagok, pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) szekunder elektron (SE) képei. a: üveg, b: TEFLON, c: finom ALOX, d: durva ALOX, e: P40, f: P80, g: P120 és h: P150

körülbelül 0,5 mm volt). A tégely tényleges átmérője 10 mm volt [45].

## 2. kísérletsorozat

A kísérletek során 5, 7,5 és 12,5 mm sugarú tégelyeket használtunk. Az RMF frekvenciája 50, 100, 150 és 200 Hz volt, a mágneses indukció értéke 0 és 90 mT között változott. Az olvadék ( $H$ ) magassága 100 mm volt. Az olvadék sugara ( $R$ ) minden esetben kisebb volt, mint a behatolási mélység, kivéve a 200 Hz-es és az  $R = 12,5$  mm-es esetet. A tégely anyaga TEFLON [1], ALOX (korund) és P40-es csiszolópapír [46] volt.

A  $H/R$  arány  $100/5 = 20$  és  $100/12,5 = 8$  között változott, így a behatolási távolság és a „véghatás” mérési eredményekre gyakorolt hatását figyelmen kívül hagyhattuk.

## 4. Eredmények és értékelés

A mért  $P_{\text{comp}}(B)$  függvényeket az 5a. ábra (9–12. minta) és a 6a. ábra (13–16. minta), a mért  $\Delta h(B)$  függvényt pedig a 7. ábra (17–22. minta) mutatja. A körfrekvenciát a (3) egyenlettel számítottuk ki a 9–12. minta (5b. ábra) és a 13–16. minta (6b. ábra) esetében. A 17–22. minták esetében csak

egy  $\Delta h(B)$  pontot mértünk  $B = 72$  mT-nél (nagy kék négyzetek az ábrán). Ezekből az adatokból az  $\omega(B = 72$  mT) értékeket az (1) egyenlettel számítottuk ki (szintén kék négyzetek a 7b. ábrán). Mivel az  $\omega(B)$  függvény  $B = 0$  és  $B = 90$  mT között egyenes, a különböző  $B$  értékekhez ki lehetett számolni az  $\omega$  értékeket, majd az (1) egyenlettel a  $\Delta h$  értékeket (7a. ábra). Közel azonos paraméterekkel végrehajtott PCM- és HMM-mérésekből kiszámított körfrekvenciát az 7d. ábrán hasonlítottuk össze. A 17. minta (HMM módszer) és a 9. minta (PCM módszer) esetében a minta sugara ( $R$ ) és a mágneses indukció frekvenciája ( $f$ ) azonos volt (5 mm és 150 Hz), amíg a 9. minta  $WR$  értéke valamivel nagyobb volt, mint a 17. mintáé (0,04 és 0,0). E kis különbség következtében a 9. minta  $\omega(B)$  függvényének értékei valamivel kisebbek voltak, mint a 17. mintáé. A 12. minta (PCM) és a 22. minta (HMM) esetében  $R$ ,  $f$  és  $WR$  azonosak voltak, és a két  $\omega(B)$  függvény értéke is azonos volt. A két módszer közötti fő különbség a PCM-ben lévő tartály olvadéka és zárólemeze közötti súrlódás volt. A két módszer eredményeit összehasonlítva a hatás elhanyagolható volt.

Az  $\omega(B)$  függvények felhasználásával kiszámítottuk a Reynolds-számot ( $Re$ ) a mágneses indukciós függvényében ( $Re(B)$  függvények) (9–12. minta, 5c. ábra; 13–16. minta, 6c. ábra; és 17–22. minta, 7c. ábra):

$$Re = \omega R^2 / \nu, \quad (4)$$

ahol  $\nu = 3,41 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s a Ga75In25-ötvözet kinematikai viszkozitása.

Mivel az  $Re(B)$  függvény egyenes vonal a mágneses indukció vizsgált tartományában ( $0$  mT  $< B < 90$  mT), ennek a függvénynek az egyenlete:

$$Re = m B, \quad (5)$$

ahol  $m$  a  $Re(B)$  függvény meredeksége.

Azokat a kritikus  $B_{cr}$  értékeket, amelyeknél az olvadékban az áramlás laminárisról instabilra ( $Re^* = 2320$ -nál) és instabilról turbulensre ( $Re^* = 4000$ -nél) változott [47–49], az (6) egyenlettel határoztuk meg:

$$B_{cr} = Re^* / m. \quad (6)$$

Az 1–8. minták  $Re(B)$  függvényét és  $B_{cr}$  ( $Re^* = 2320$ ,  $Re^* = 4000$ ) értékeit egy korábbi vizsgálatban határoztuk meg [28]. A (6) egyenlettel kiszámított  $B_{cr}$  értékeket a 2. táblázat 8. oszlopa ( $Re^* = 2320$ ) és 10. oszlopa ( $Re^* = 4000$ ) mutatja. Ebben az esetben a  $WR = 0,04$  mm volt.

Az  $R = 5$  mm-es minták  $B_{cr}$  értékeit  $WR$  függvényeként mutatjuk be a 8a. ( $f = 50$  Hz) és 8b. ( $f = 150$  Hz) ábrákon. A  $B_{cr}(WR)$  függvények egyenesek. Így:

$$\begin{aligned} B_{cr}(R = 5 \text{ mm}, WR, Re^*, f) \\ = B_{cr}(R = 5 \text{ mm}, WR = 0, Re^*, f) \\ + \Delta B_{cr}(R = 5 \text{ mm}, WR, Re^*, f). \end{aligned} \quad (7a)$$

A  $B_{cr}(WR)$  függvény meredekségét,  $Slo1$  mint  $Re^*$  függvényt a 9. ábra mutatja. A  $Slo1(Re^*)$  függvények ismét egyenesek és a frekvenciától függenek. A  $Slo1(Re^*)$  függvény meredekségét, a  $Slo2$ -t a 10. ábra mutatja. E függvények alapján a  $\Delta B_{cr}(R = 5 \text{ mm}, Re^*, f, WR)$  függvény

$$\begin{aligned} \Delta B_{cr}(R = 5 \text{ mm}, WR, Re^*, f) \\ = 0,0791 \cdot Re^* f^{-0,37} WR. \end{aligned} \quad (7b)$$

A  $\Delta B_{cr}$  érték egy adott  $R$ -nél:

$$\begin{aligned} \Delta B_{cr}(R, WR, Re^*, f) = 0,0791 \cdot Re^* f^{-0,37} WR \left( \frac{5^2}{R^2} \right) \\ = 1,97 \cdot Re^* \frac{f^{-0,37} WR}{R^2}. \end{aligned} \quad (7c)$$

$B_{cr}(R, f, Re^*, WR = 0)$  a  $B_{cr(\text{mért})}$  mért értékéből számítható ki:

$$\begin{aligned} B_{cr}(R, f, Re^*, WR = 0) \\ = B_{cr(\text{mért})} - 1,97 \cdot Re^* \frac{f^{-0,37} WR}{R^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

A függvény típusát korábbi tanulmányunkban ismertettük [28]:

$$B_{cr}(R, f, Re^*, WR = 0) = K_1 Re^* f^{-n} / R^2, \quad (9)$$

a (9) egyenlet átrendezése:

$$Y = B_{cr}(R, f, Re^*, WR = 0) R^2 / Re^* = K_1 f^{-n}. \quad (10)$$

A  $B_{cr}$  számított értékeit ( $Re^*$ ,  $f$ ,  $R$ ,  $WR = 0$ ) használva minden mintára, ez a függvény a 11. ábrán látható. A trendvonal alapján:

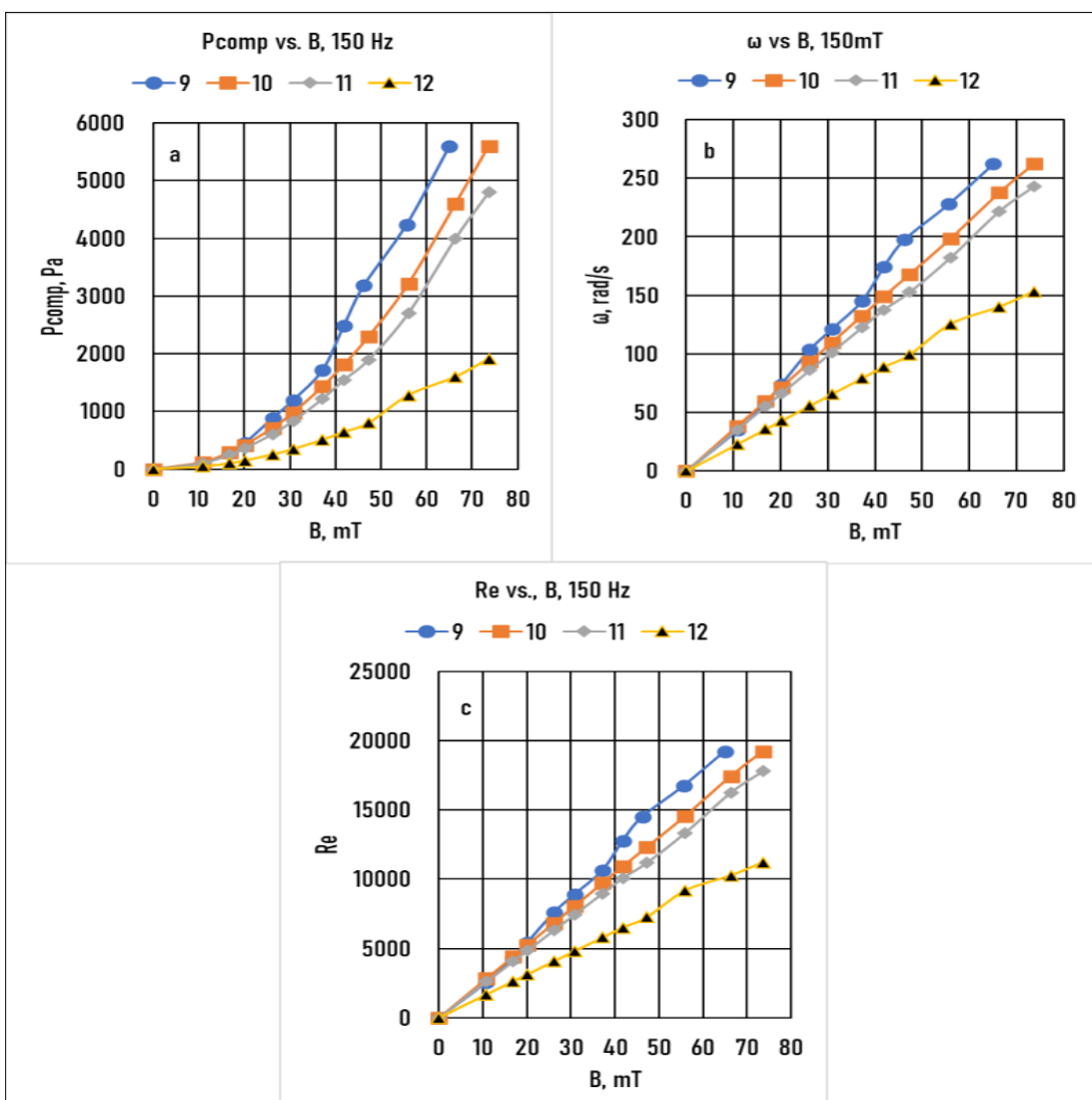
$$Y = 2,27 \cdot f^{-0,66}, \quad (11)$$

és így

$$\begin{aligned} B_{cr}(Re^*, f, R, RW = 0) = 2,27 \cdot Re^* f^{-0,66} / R^2 \\ = A f^{-n} / R^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Ez az egyenlet kissé eltér az [28]-ban közölt (12) egyenlettől, ahol sem  $A$ , sem  $n$  nem függ  $Re^*$ -től ( $n = -0,628$   $Re^* = 2320$ -nál és  $n = -0,695$   $Re^* = 4000$ -nél).

Végül a kritikus mágneses indukciót ( $B_{cr}$ ) egy adott Reynolds-számnál ( $Re^*$ ) a minta sugara ( $R$ ), frekvenciája ( $f$ ) és fali érdessége ( $WR$ ) függvényében a következőképpen számították ki:



5. ábra. 9–12. minta. a: Mért kompenzációs nyomás ( $P_{comp}$ ) a mágneses indukció függvényében ( $B$ ). b: Az olvadék körfrekvenciája ( $\omega$ )  $B$  függvényében. c: A valós Reynolds-szám ( $Re$ ) a  $B$  függvényeként

$$B_{cr}(Re^*, f, R, RW) = \frac{Re^*}{R^2} (2,27 f^{-0,66} + 1,97 f^{-0,37} WR). \quad (13)$$

Nagyon sima tégely ( $WR = 0$ ), például olajozott üveg esetében a lamináris/instabil átmenet:

$$B_{cr} = 5266 \frac{0,66}{R^2} \quad (14)$$

és az instabil/turbulens átmenet:

$$B_{cr} = 9080 \frac{f^{-0,66}}{R^2}, \quad (15)$$

$WR > 0$  esetén a lamináris/instabil átmenet:

$$B_{cr}(Re^* = 2320, f, R, RW) = \frac{1}{R^2} (5266 f^{-0,66} + 4570 f^{-0,37} WR) \quad (16)$$

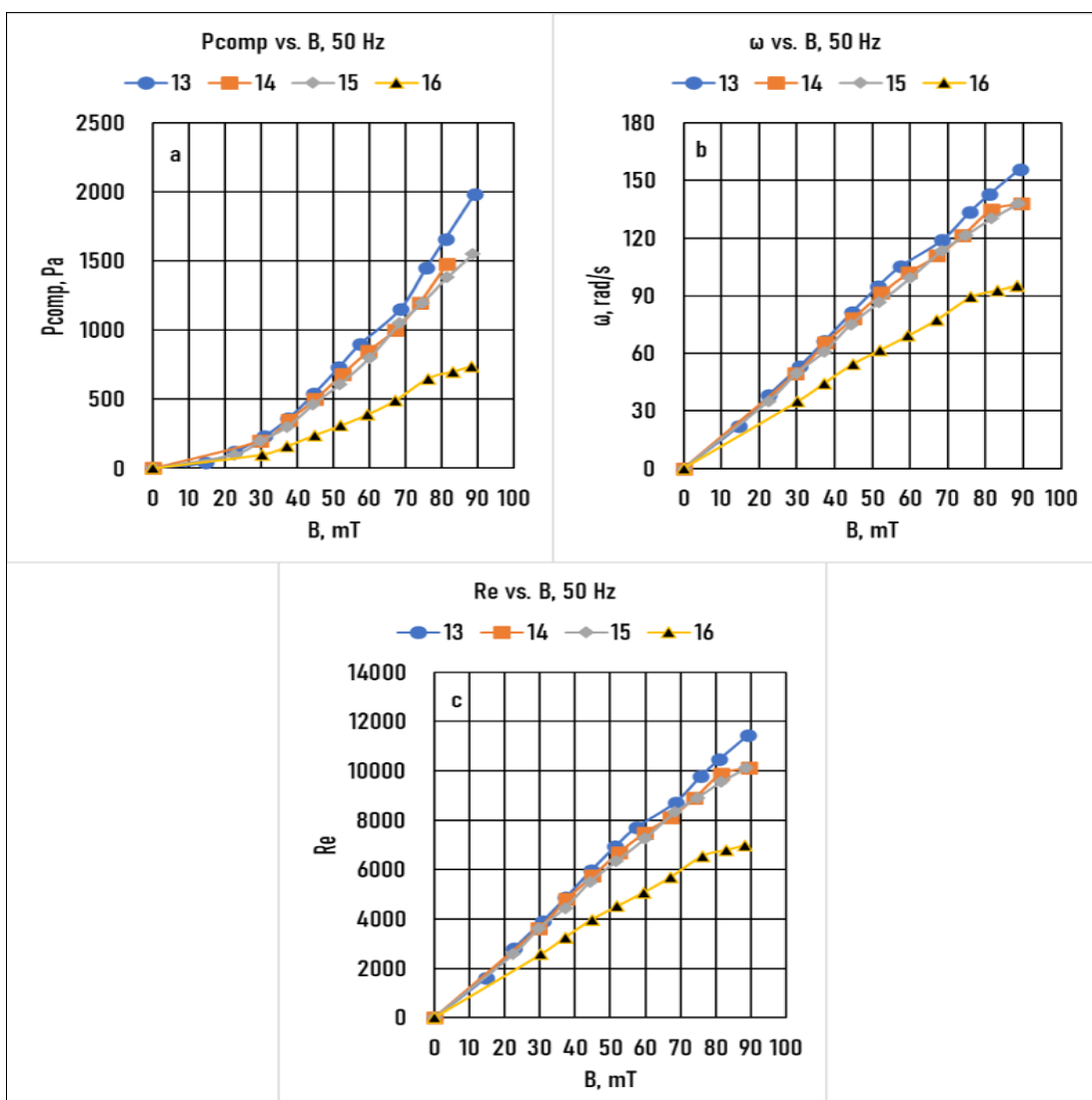
és az instabil/turbulens átmenet:

$$B_{cr}(Re^* = 4000, f, R, RW) = \frac{1}{R^2} (9080 f^{-0,66} + 7880 f^{-0,37} WR). \quad (17)$$

A mért ( $B_{cr(mért)}$ ) és számított ( $B_{cr(calc)}$ ) értékeket az 12. ábrán hasonlítjuk össze. A 22 minta esetében  $R^2 > 0,99$ , ami a (13) egyenlet használhatóságát igazolja.

A (16) és (17) egyenletek felhasználásával két grafikont készítettünk a lamináris/instabil és instabil/turbulens átmenetek bemutatására 50 Hz-en és 150 Hz-en  $WR = 0$  esetén (13. ábra). Ezek a grafikonok hasonlóak voltak egy korábbi cikk a 8. ábráján közöltékhez [28]. A különbség, hogy ebben a cikkben a figyelembe vettük a teflon fal érdességét ( $WR = 0,04$  mm). Az instabil tartomány nagyon szűk mind 50, mind 150 Hz-nél.

A 14. ábrán a fal érdesség hatását mutattuk ki a tranziensekre 50 és 150 Hz esetén. megállapítható,



6. ábra. 13–16. minta. a: Mért kompenzációs nyomás ( $P_{comp}$ ) a mágneses indukció függvényében ( $B$ ). b: Az olvadék körfrekvenciája ( $\omega$ )  $B$  függvényében. c: A valós Reynolds-szám ( $Re$ ) a  $B$  függvényeként

hogy a fali érdesség jelentős hatással van a tranzien-sekre.

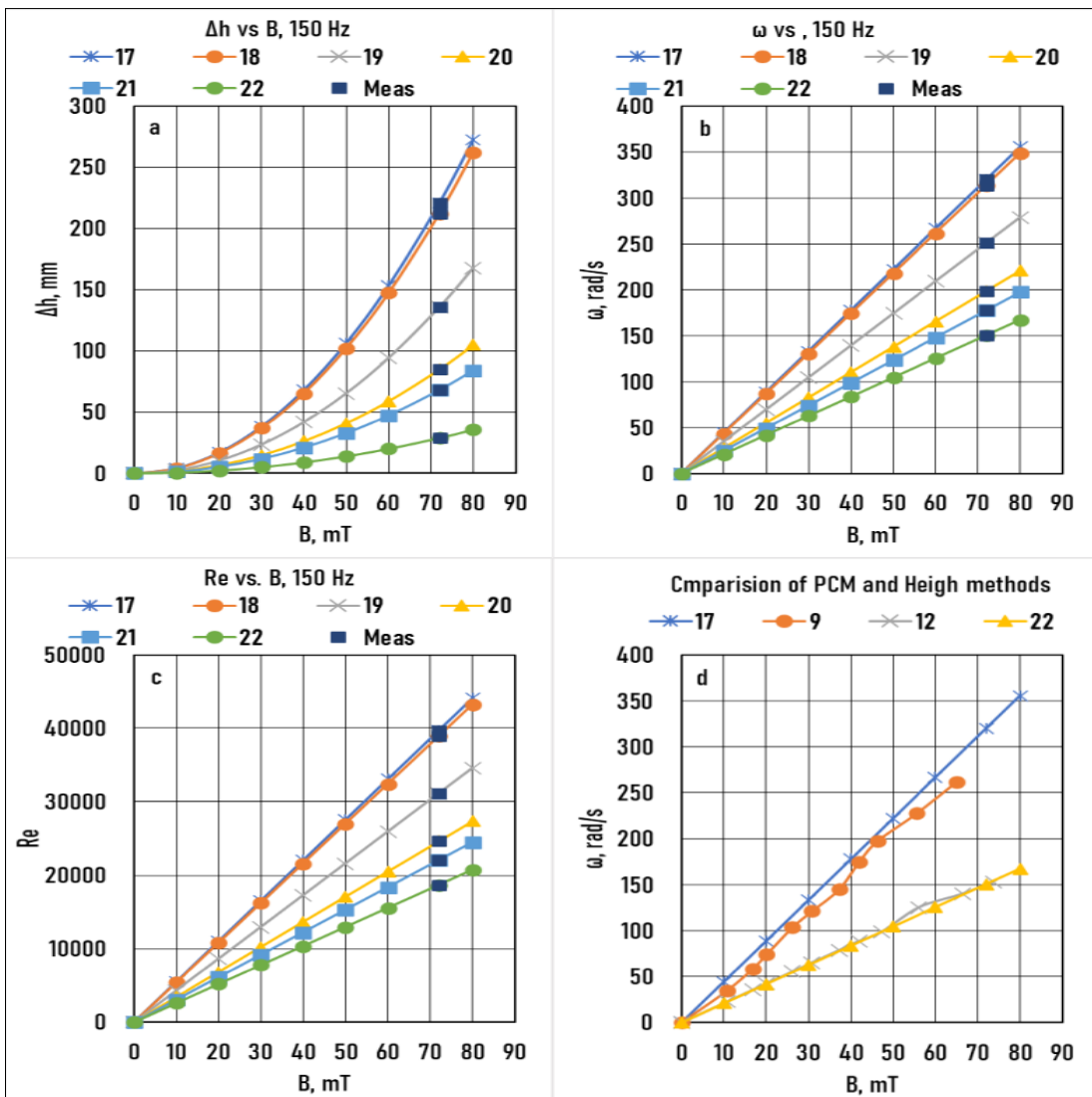
A tégely fala közelében örvények alakulhattak ki, amelyek instabil vagy turbulens áramlást eredményezhetnek a számítottnál alacsonyabb  $B_{cr}$  értéknél. A két mérési módszerrel ezt a hatást nem mutattuk ki; olyan módszer amivel ez kimutatható jelenleg nem ismert. A numerikus szimuláció az egyetlen módszer, amely képes ennek a hatásnak a tanulmányozására. A teflontégely esetében ( $WR = 0,04$  mm) numerikus szimulációval ellenőriztük, hogy a tégely fala közelében az áramlás lamináris marad [50].

Az (13)–(17) egyenletek csak a Ga75In25-ötvö-zetre érvényesek, legfeljebb 12,5 mm sugarú és hengeres mintára. Ha az ötvözet, a minta alakja (pl. téglalap alakú) vagy a maximális sugár megváltozik, a függvény típusa ugyanaz lesz, de az állandók megváltoznak.

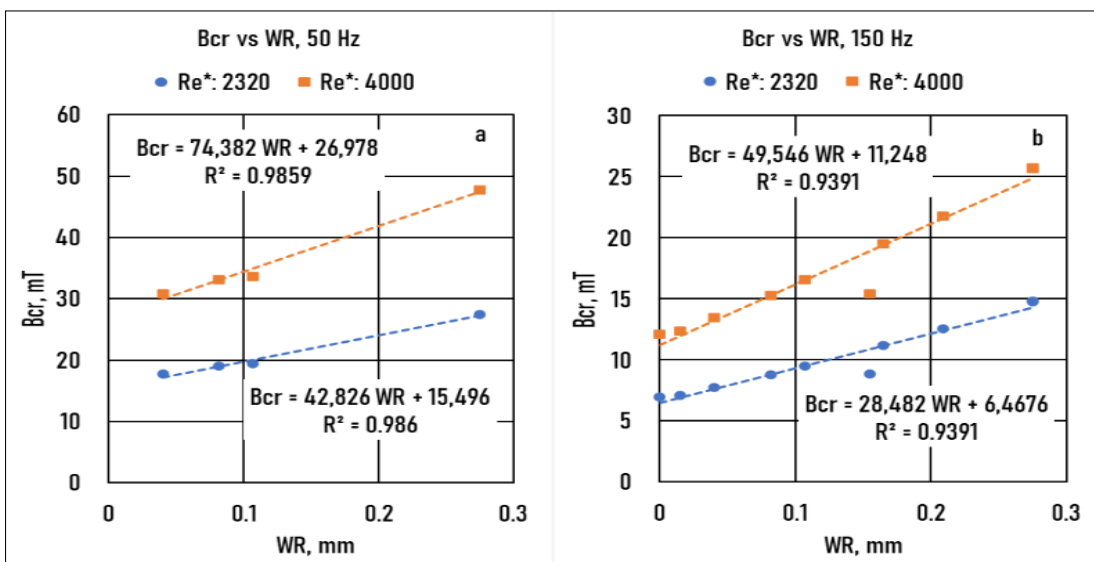
## 5. Összefoglalás

Egy korábbi tanulmányban [1] a PCM-et használva megmutattuk, hogy az olvadék körfrekvenciája lényegesen kisebb, mint a mágneses indukcióé. Abban az esetben egy viszonylag sima felületű teflontégelyt használtunk a kísérletek során. A fal érdessége jelentősen megváltoztathatja a fal súrlódását és az olvadé-káramlás körfrekvenciáját. Az irodalomban található kristályosodási kísérleteknél a tégely anyagának fali érdessége különbözött (durvább) volt, mint a tefloné. Ahhoz, hogy összehasonlíthassuk a különböző kísérletek eredményeit és ellenőrizzük az olvadé-káramlási szimulációkat, ismernünk kell a fal érdességét az egyes kísérleteknél és annak hatását az olvadék körfrekvenciájára.

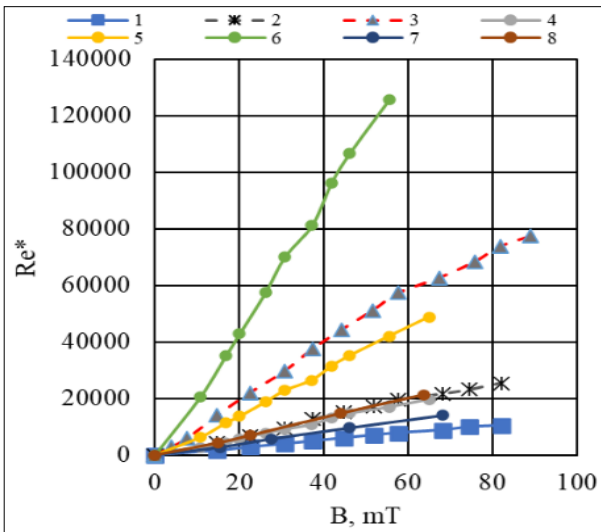
Ahhoz, hogy információnk legyen a fal érdességének hatásáról, két különböző módszerrel (PCM és HMM) határoztuk meg az olvadék körfrekvenciáját a mágneses indukció ( $B$ ) és a forgó mágneses



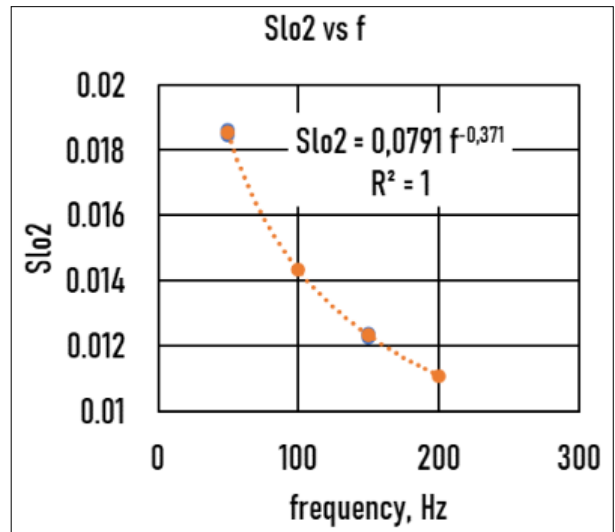
7. ábra. 17–22. minta. a: Mért magasság ( $\Delta h$ ) a mágneses indukció függvényében ( $B$ ). b: Az olvadék körfrekvenciája ( $\omega$ )  $B$  függvényében. c: A valós Reynolds-szám ( $Re$ ) a  $B$  függvényeként. d: A nyomáskompenzációs módszer (PCM) és a magasságmérési módszer (HMM) összehasonlítása



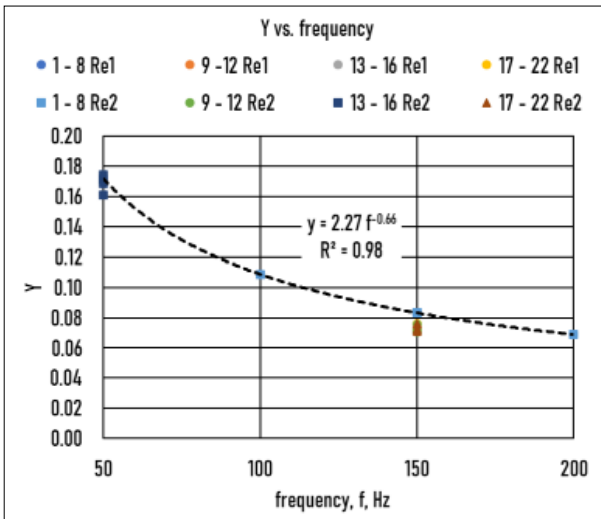
8. ábra. A kritikus mágneses indukció ( $B_{cr}$ ) a fal érdesség ( $WR$ ) függvényében valós Reynolds-számok ( $Re^*$ ) esetén, a:  $f = 50$  Hz, b:  $f = 150$  Hz



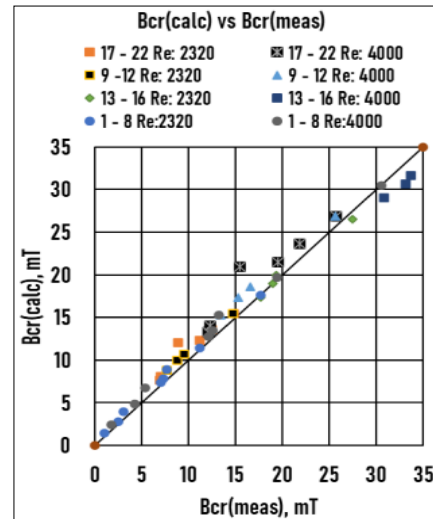
9. ábra. A kritikus mágneses indukciós függvény meredeksége ( $Slo1$ ) ( $B_{cr}$  (fali érdesség ( $WR$ )) és a Reynolds-szám ( $Re^*$ ) függvényében



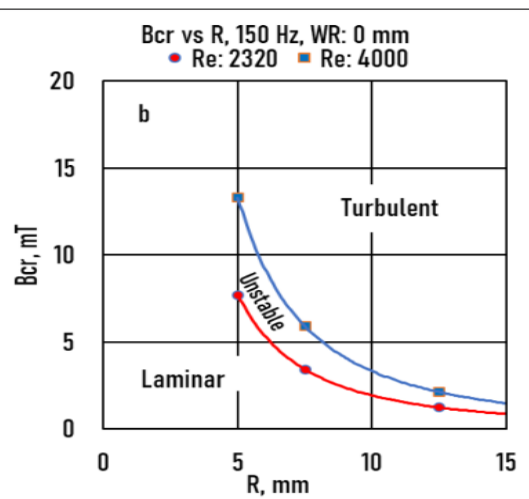
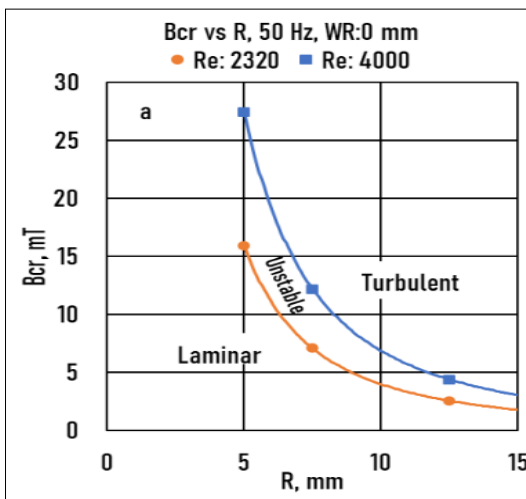
10. ábra. A  $Slo1(Re^*)$  függvény meredeksége ( $Slo2$ ) a frekvencia ( $f$ ) függvényében



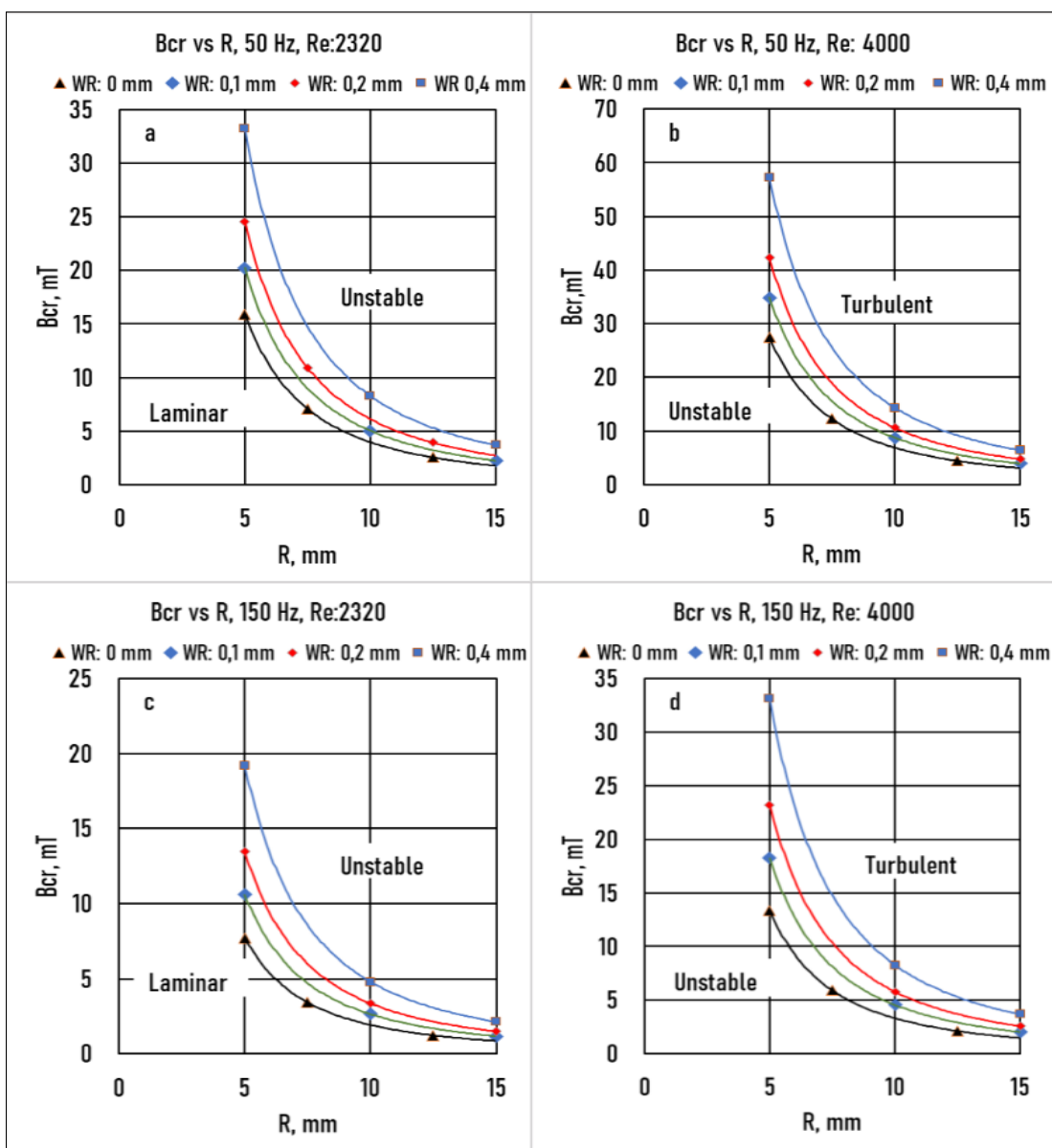
11. ábra.  $\gamma$  a mágnes tér frekvenciájának függvényében. Reynolds-szám ( $Re1 = 3220$ ,  $Re2 = 4000$ )



12. ábra. A számított ( $B_{cr(calc)}$ ) és mért ( $B_{cr(meas)}$ ) kritikus mágneses indukció összehasonlítása



13. ábra. A kritikus mágneses indukció ( $B_{cr}$ ) a minta sugarának ( $R$ ) függvényében, a:  $f = 50$  Hz, b:  $f = 150$  Hz  $WR = 0$  esetén



14. ábra. A fal érdesség ( $WR$ ) hatása a kritikus mágneses indukcióra ( $B_{cr}$ ). a:  $f = 50$  Hz,  $Re = 2320$ ; b:  $f = 150$  Hz,  $Re = 4000$ ; c:  $f = 150$  Hz,  $Re = 2320$ ; d:  $f = 150$  Hz,  $Re = 4000$

mező frekvenciájának ( $f$ ) függvényében. A tégely felhasznált anyagai olajozott és száraz üveg, kétféle ALOX, TEFLON és P150, P100, P60 és P40 érdességű csiszolópapírral borított üveg volt. Az egyes anyagok érdességét lézeres távolságmérővel határoztuk meg. A mágneses indukció függvényében számított  $Re$ -szám alapján a fal érdességét figyelembe véve meghatároztuk a mágneses indukció azon értékeit, amelyeknél az áramlás laminárisról instabilra és instabilról turbulensre változott.

A mért értékek matematikai elemzésével általánosan használható egyenletet állítottunk fel, mellyel a tégely sugara, a forgó mágneses tér frekvenciája és a falsúrlódás függvényében meghatározhatók a kritikus mágneses indukciók, melyeknél az áramlás tisztán lamináris vagy tisztán turbulens.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a „Kristályosodott mikroszerkezet és makrodúsulás kialakulása egyirányú kristályosodás során szabályozott áramlási körülmények között” című ANN 130946 számú projekt támogatásáért.

#### Szimbólumok

$r$ : az olvadékhenger adott pontjának sugara, [mm]  
 $R$ : az olvadékhenger sugara, [mm]  
 $H$ : az olvadékhenger magassága, [mm]  
 $\Delta p_{max}$ : a legnagyobb nyomás  $r = R$ , [Pa]  
 $\rho$ : az olvadék sűrűsége, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\omega$ : körfrekvencia [rad/s]



$g$ : gravitációs állandó, 9,81 [m<sup>2</sup>/s]  
 $h_{in}$ : a szabad felület növekedése  $r = R$ , [mm]  
 $\Delta h$ :  $a$  tégely közepén bekövetkező csökkenés és a falánál mért növekedés közötti különbség, [mm]  
 $f$ : az RMF frekvenciája, [Hz]  
 $WR$ : fali érdesség, [mm]  
 $Re$ : a Reynolds-szám  
 $Re^*$ : kritikus Reynolds-szám lamináris/instabil (2320) és instabil/turbulens átmenetnél (4000).  
 RMF: forgó mágneses mező  
 $B$ : RMF mágneses indukciója, [mT]  
 $B_{cr(meas)}$ : mért kritikus mágneses indukció lamináris/instabil és instabil/turbulens átmenetknél, [mT]  
 $B_{cr(calc)}$ : számított kritikus mágneses indukció lamináris/instabil és instabil/turbulens átmenetknél, [mT]  
 $\Delta B_{cr}$ : a fali érdesség hozzájárulása a kritikus mágneses indukcióhoz, [mT]  
 $A, K_2, K_3, K_4$  és  $K_5$  állandók, és az olvadék fizikai állandóitól függenek (sűrűség, elektromos vezetőképesség, kinematikus viszkozitás)

## IRODALOM

- [1] Kunstreich S. (2003): Electromagnetic stirring for continuous casting – Part 2. Metall. Res. Technol., 100, 1043–1061. <https://doi.org/10.1051/met-al:2003113>
- [2] Stiller J., Koal K., Nagel W. E., Pal J., Cramer A. (2013): Liquid metal flows driven by rotating and traveling magnetic fields. Eur. Phys. J. Spec. Top., 220, 111–122. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2013-01801-8>
- [3] Tzavaras A. A., Brody H. D. (1984): J. Met., 36, 31–37. <https://doi.org/10.1007/BF03338405>
- [4] Rerko R. S., de Groh H. C., Beckermann C. (2003): Effect of melt convection and solid transport on macrosegregation and grain structure in equiaxed Al–Cu alloys. Mater. Sci. Eng. A 347, 186–197. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00592-0](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00592-0)
- [5] Steinbach S., Euskirchen N., Witusiewicz V., Sturz L., Rake L. (2007): Fluid flow effect on intermetallic phase in Al-cast alloys. Trans. Indian Inst. Met. 60, 137–141.
- [6] Mikolajczak P. (2021): Effect of rotating magnetic field on microstructure in AlCuSi alloys. Metals, 11, 1804. <https://doi.org/10.3390/met11111804>
- [7] Li H., Chen J. H., Zhang P., Wang T., Li T. (2015): Effect of rotating magnetic field on the microstructure and properties of Cu–Ag–Zr alloy. Mater. Sci. Eng. A 624, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.11.064>
- [8] Zou J., Lu D. P., Liu K. M., Fu Q. F., Zhou Z. (2018): Influences of alternating magnetic fields on the growth behavior and distribution of the primary Fe phase in Cu-14Fe alloys during the solidification process. Metals 8, 571. <https://doi.org/10.3390/met8080571>
- [9] Lia Y. Z., Manginck-Noël N., Zimmermann G., Sturz L., Nguyen-Thi H. (2019): Comparative study of directional solidification of Al-7 wt% Si alloys in Space and on Earth: Effects of gravity on dendrite growth and Columnar-to equiaxed transition. J. Cryst. Growth. 51320–51329. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2019.02.050>
- [10] Veres Zs., Roósz A., Rónaföldi A., Sycheva A., Svěda M. (2022): The effect of melt flow induced by RMF on the meso- and micro-structure of unidirectionally solidified Al–7wt.% Si alloy Benchmark experiment under magnetic stirring. J. Mater. Sci. Technol. 103, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.06.060>
- [11] Lu Z., Zhang Y., Ren Z., Fautrelle Y., Li X. (2017): Effect of a weak transverse magnetic field on the microstructures in directionally solidified Zn-2.2 at.% Cu peritectic alloy. ISIJ International, 57/1, 84–90. DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-433
- [12] Qin L., Shen J., Feng Z., Shang Z., Fu H. (2014): Microstructure evolution in directionally solidified Fe–Ni alloys under traveling magnetic field. Mater. Lett. 115, 155–158. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.082>
- [13] Yu J., Du D., Ren Z., Fautrelle Y., Moreau R., Li X.: (2017): Influence of an axial magnetic field on microstructures and alignment in directionally solidified Ni-based superalloy. ISIJ International, 57/2, 337–342. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-352>
- [14] Wang L., Shen J., Qin L., Feng Z., Wang L., Fu H. (2012): The effect of the flow driven by a travelling magnetic field on solidification structure of Sn–Cd peritectic alloys. J. Cryst. Growth. 356, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2012.07.014>
- [15] Matan V., Eigenfeld K., Rabiger D., Eckert S. (2009): Grain size control in Al-Si alloys by grain refinement and electromagnetic stirring. J. Alloys Compd. 487, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.08.032>
- [16] Villers B., Eckert S., Michael U., Zouhar G. (2005): The columnar-to equiaxed transition in Pb-Sn alloys affected by electromagnetically driven convection. Mater. Sci. Eng. A 402, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.03.108>
- [17] Fragoso B., Santos H. (2013): Effect of a rotating magnetic field at the microstructure of an A354. J. Mater. Res. Technol. 2(2) 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2012.12.001>
- [18] Wang Y., Zhang L., Chen W., Ren Y. (2021): Three-dimensional macrosegregation model of bloom in curved continuous casting process. Metall. Mater. Trans. B, 52, 2796–2805. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02231-5>
- [19] Zhang H., Wu M., Rodrigues C. M. G., Ludwig A., Kharicha A. (2021): Directional solidification of Al-Si7Fe1 alloy under forced flow conditions: Effect of intermetallic phase precipitation and dendrite coarsening. Metall. Mater. Trans. A, 52, 3007–3022. <https://doi.org/10.1007/s11661-021-06295-5>
- [20] Jiang D., Zhu M. (2016): Solidification structure and macrosegregation of billet continuous casting process with dual electromagnetic stirrings in mold and final stage of solidification: A numerical study. Metall. Mater. Trans. B, 47, 3446–3458. <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0772-0>
- [21] Sun H., Zhang J. (2014): Study on the macrosegregation behavior for the bloom continuous casting: Model de-

- velopment and validation. *Metall. Mater. Trans. B*, 45, 1133–1149. <https://doi.org/10.1007/s11663-013-9986-6>
- [22] Yu H.Q., Zhu M. Y. (2012): Influence of electromagnetic stirring on transport phenomena in round billet continuous casting mould and macrostructure of high carbon steel billet. *Ironmak. Steelmak.*, 39, 574–584. <https://doi.org/10.1179/0301923312Z.00000000058>
- [23] Guan R., Ji C., Zhu M. (2020): Modeling the effect of combined electromagnetic stirring modes on macrosegregation in continuous casting blooms. *Metall. Mater. Trans. B*, 51, 1137–1153. <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01827-7>
- [24] Liu H., Xu M., Qiu S., Zhang H. (2012): Numerical simulation of fluid flow in a round bloom mold with in-mold rotary electromagnetic stirring. *Metall. Mater. Trans. B*, 43, 1657–1675. <https://doi.org/10.1007/s11663-012-9737-0>
- [25] Ren B. Z., Chen D. F., Wang H. D., Long M. J., Han Z. W. (2015): Numerical simulation of fluid flow and solidification in bloom continuous casting mould with electromagnetic stirring. *Ironmak. Steelmak.*, 42, 401–408. <https://doi.org/10.1179/1743281214Y.0000000240>
- [26] Fang Q., Zhang H., Wang J., Liu C., Ni H. (2020): Effect of electromagnetic stirrer position on mold metallurgical behavior in a continuously cast bloom. *Metall. Mater. Trans. B*, 51, 1705–1717. <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01849-1>
- [27] Zhang H., Wu M., Zhang Z., Ludwig A., Kharicha A., Rónaföldi A., Roósz A., Veres Zs., Svéda M. (2022): Experimental evaluation of MHD modeling of EMS during continuous casting. *Met. Trans. B*, 53, 2166–2181. <https://doi.org/10.1007/s11663-022-02516-3>
- [28] Rónaföldi A., Roos A., Veres Zs. (2021): Determination of the conditions of laminar/turbulent flow transition using pressure compensation method in the case of Ga75In25 alloy stirred by RMF. *J. Cryst. Growth*. 564, 12607. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126078>
- Másodközlés:* Rónaföldi Arnold, Veres Zsolt, Roósz András (2024): A lamináris/turbulens áramlás átmenet feltételeinek meghatározása nyomáskompenzációs módszerrel RMF által kevert Ga75In25 ötvözet esetében. *Bányászati és Kohászati Lapok* 157/II. 10–18.
- [29] Scaggs W. F., Taylor R. P., Coleman H. W. (1988): Measurement and prediction of rough wall effects on friction factor—uniform roughness results. *J. Fluids Eng.* 110, 385–391. <https://doi.org/10.1115/1.3243568>
- [30] Flack K. A., Schultz M. P. (2014): Roughness effects on wall-bounded turbulent flows. *Phys. Fluids*. 26, 101305. <https://doi.org/10.1063/1.4896280>
- [31] Li G., Qu Y., Yang Y., Chen R., Zhou Q., Li R. (2020): Effect of mechanical combined with electromagnetic stirring on the dispersity of carbon fiber in the aluminum matrix. *Sci. Rep.* 10, 8106. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64983-5>
- [32] Schultz M., Myers P. A. (2003): Comparison of three roughness function determination methods. *Exp. Fluids*. 35(4), 372–379. <https://doi.org/10.1007/s00348-003-0686-x>
- [33] Nikuradse J. (1950): Laws of flow in rough pipes, NACA Technical Memorandum 1292, Washington.
- [34] Colebrook C. F. (1939): Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transitional region between smooth and rough wall laws. *J. Inst. Civil Eng.* 11, 133–156. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1939>
- [35] Moody L. F. (1944): Friction factors for pipe flow. *Transactions of the ASME*, 66, 671–684. <https://doi.org/10.1115/1.4018140>
- [36] Schlichting H. (1937): Experimental investigation of the problem of surface roughness. NACA TM 823.
- [37] Dvorak F. A. (1969): Calculation of turbulent boundary layers on rough surfaces in pressure gradients. *AIAA J.* 7, 1752–1759. <https://doi.org/10.2514/3.5386>
- [38] Granville P. S. (1987): Three indirect methods for the drag characterization of arbitrarily rough surfaces on flat plates. *J. Ship. Res.* 31, 70–77. <https://doi.org/10.5957/jsr.1987.31.1.70>
- [39] Takeda Y., Kikura H. (2002): Flow mapping of the mercury flow. *Experiments in Fluids*, 32, 161–169. <https://doi.org/10.1007/s003480100296>
- [40] Wolz M. P., Mazuruk K. (2001): An experimental study of the influence of a rotating magnetic field on Rayleigh-Bénard convection. *J. Fluid Mechanics*, 2001, 79–98. <https://doi.org/10.1017/S0022112001005341>
- [41] Brito D., Nataf H. C. (2001): Ultrasonic Doppler velocimetry in liquid gallium. *Exp. Fluids*, 31, 653–663. <https://doi.org/10.1007/s003480100312>
- [42] Boden S., Eckert S., Gerbeth G. (2010): Visualization of freckle formation induced by forced melt convection in solidifying GaIn alloys. *Mater Letter*, 64, 1340–1343. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2010.03.044>
- [43] Rabiger D., Eckert S., Gerbeth G. (2010): Measurements of an unsteady liquid metal flow during spin-up driven by a rotating magnetic field. *Exper. Fluids*, 48, 233–244. <https://doi.org/10.1007/s00348-009-0735-1>
- [44] Wang X., Fautrelle Y., Etay J., Moreu R. (2009): A periodically reserved flow driven by modulated traveling magnetic field: Part I. Experiments with GaIn-Sn alloy. *Met. Mat. Trans. B*, 40B, 82–90. <https://doi.org/10.1007/s11663-008-9176-0>
- [45] Rónaföldi A., Roósz A., Kovács J. (2012): The influence of surface roughness of crucible’s wall on the flow rate of melt stirred during solidification. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 27, 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/27/1/012049>
- [46] Rónaföldi A., Kovács J., Roósz A. (2018): Revolution number (RPM) measurement of molten alloy by pressure compensation method. *Mater. Sci. Forum*. 649, 275–280. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.649.275>
- [47] Song H. (2018): *Engineering Fluid Mechanics*. Jointly published with Metallurgical Industry Press, Springer, ISBN: 978-981-13-0172-8, <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0173-5>
- [48] White F. M. (2002): *Fluid Mechanics*, 4th edition. McGraw-Hill Higher Education, ISBN: 0-07-228192-8
- [49] BYJU’S. What is Reynolds Number? <https://byjus.com/physics/derivation-of-reynolds-number/>
- [50] Nagy Cs., Rónaföldi A., Roósz A. (2013): Comparison of measured and numerically simulated angular velocity of magnetically stirred liquid Ga-In alloy. *Materials Science Forum* 752, 157–166. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.752.157

# A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből

## 3. Átmeneti fémek, alkáliföldfémek, félfémek

### From the Critical Raw Materials Marathon data collections

#### 3. Transition metals, alkali earth metals, semimetals

MÁDAI FERENC PhD, egyetemi docens, intézetigazgató

Miskolci Egyetem

EVANE CESAR JOAO DE CUÑHA, PhD-hallgató, ABDUSSALAM  
AUWAL, MSc-hallgató, TAMMAM ALBAINE, MSc-hallgató, MOHAMED  
AHMAD ABD EL HADI BADAWI, PhD-hallgató, NÉMETH NORBERT  
PhD, egy. docens, FÖLDESSY JÁNOS professzor emeritusz

TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

*A tanulmány az EU-ban kritikusnak minősített nyersanyagok közül néhány fontos félfém és átmeneti fém, valamint két alkáliföldfém helyzetét foglalja össze teleptani előfordulási típusok, globális és európai készletek szempontjából. Míg a kiválasztott félfémek és átmeneti fémek esetében a cél ezek előállítására fém alapanyagként, addig a két alkáliföldfém esetében ezeket nemfémes ásványi nyersanyagként – barit, cölesztin – igényli a gazdaság. A cikkben kitérünk a tárgyalt kritikus nyersanyagok magyarországi ismeretességére, nyersanyagpotenciáljára is.*

**Kulcsszavak:** As, Sb, Bi, Sr, Ba, V, W, Nb, Ta, kritikus és stratégiai nyersanyagok, zöld átállás

*This article summarizes the status of some important metalloids and transition metals, as well as two alkaline earth metals, from the group of raw materials classified as critical in the EU. These CRMs are discussed from the perspective of deposit types, global and European reserves. While the goal for the selected metalloids and transition metals is to produce them as metal raw materials, the two alkaline earth metals are required by the economy as non-metallic mineral raw materials – barite, celestine. The article also addresses the knowledge and raw material potential of the discussed CRMs in Hungary.*

**Keywords:** As, Sb, Bi, Sr, Ba, V, W, Nb, Ta, critical and strategic raw materials, green transition

#### 1. Introduction












A Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezetudományi Karának Természeti Erőforrások Kutatása és Hasznosítása TEKH Szakkollégium 2024-es munkatervében az EU Kritikus Nyersanyagok rendeletének szellemében [1] (Critical Raw Materials Act, CRMA) épül, amelyet 2024. márciusban fogadott el az EU Bizottsága. A szakkollégiumban tevékenykedő hallgatók részben általános, részben hazai információkat dolgoznak fel oktatók irányításával.

A cikksorozatban összefoglaljuk az EU 2023-as kritikus nyersanyaglistáján szereplő, különböző stratégiai és kritikus fémekről szóló ismereteket. A kritikus nyersanyagok (CRM-ek) közé tartoznak átmeneti fémek, félfémek, valamint alkáliföldfémek ipari ásványai is, melyek geológiai forrásai általában magmás vagy üledékes kőzetekhez kapcsolódnak. Az

információk részben a korábbi CriticEl projekt adataira épülnek [2]. Ahol lehetséges, ezeket frissítettük és részletesebb európai információkkal egészítettük ki. A rövid összefoglalók nyilvánosan elérhető adatokra építve mutatják be a CRM-ek földtani, kémiai és technológiai jellemzőit, amelyek szándékaink szerint az érdeklődő olvasók, kutatók és szakmai felhasználók számára szolgálnak majd hasznos információval. Az ismertetéseket adatlapok kísérik, amelyek további részletesebb információt tartalmaznak az egyes nyersanyagokról. A hivatkozott előfordulások adatlapjai folyamatosan készülnek, a kész anyagok megtalálhatók a TEKH Szakkollégium weboldalán [3].

##### 1.1. Az információ forrásai

Az adatgyűjtés során két fő jelentéssorozatot használtunk: elsődleges információforrásként a SCREEN

|   |  |   |   |  |
|---|--|---|---|--|
| <b>V<sup>5+</sup> 23</b><br>Vanádium-ion<br>mint vanadát<br><i>m</i> = 50,942<br><i>r</i> = 0,59<br> | <b>Nb<sup>5+</sup> 41</b><br>Nióbbium-ion<br><i>m</i> = 92,906<br><i>r</i> = 0,70<br> | <b>Ta<sup>5+</sup> 73</b><br>Tantál-ion<br><i>m</i> = 180,948<br><i>r</i> = 0,73<br> | <b>W<sup>4+</sup> 74</b><br>Wolfrám-ion<br><i>m</i> = 183,84<br><i>r</i> = 0,64<br> | <b>W<sup>6+</sup> 74</b><br>Wolfrám-ion<br>mint wolframát<br><i>m</i> = 183,84<br><i>r</i> = 0,68<br> |
|  Egyszerű oxidokat képező kationok   |  Meteoritok Ca-Al-gazdag zárvényaiban dúsuló ionok                                    |   |   |  |
|  Talajban és reziduális üledékekben dúsuló ionok   |  Legalább néhány gerinces élőlény táplálkozásához nélkülözhetetlen ionok              |   |   |  |
|  Anion komplexeket képező kationok   |  Egyszerű szulfidokat képező kationok   |   |   |  |

1. ábra. A vanádium, nióbbium, tantál és wolfrám különböző geokémiai megjelenési formái és tulajdonságai [9]. *m*: atomtömeg, *r*: ionrádiusz

projekt eredményeként született adatlapokat vettük alapul [4], és kiegészítettük ezt az USGS Mineral Commodity Summaries [5, 6] legfrissebb információival. A földtani jellemzéshez is két fő forrást használtunk: az USGS Mineral Deposit Models sorozatot [7] és Dill (2010) alapos áttekintését [8].

Az összefoglaló másik ágaként folyamatosan elkészítjük a hazai CRM-dúsulások szisztematikus leírását. Ezeket a rövid leírásokat adatlapokban szerkesztjük, amelyek tartalmazzák az előfordulások legfontosabb jellemzőit, valamint további linkeket, amelyek a részletesebb adatokat tartalmazó publikációkra, jelentésekre mutatnak. Minden nyersanyagtípust tárgyaló bekezdés végén hivatkozást találhatunk a vonatkozó magyarországi előfordulások adatlapjaira. Azok az előfordulások, amelyek részletesebb adatokat tartalmaznak, irányítószámukkal vannak jelölve a szövegben, például *8400 Ajka*. Ennek ismeretében az adatlapok (a fájl neve az irányítószám) szintén megtalálhatók és letölthetők a weboldalunkról.

## 2. Átmeneti fémek

Az átmeneti fémek a periódusos rendszerben a 3–12. csoportba tartozó elemek, melyek több oxidációs számmal rendelkezhetnek, komplex ionokat is képeznek, gyakran paramágnesesek. Az átmeneti fémek csoportja 40 elemet tartalmaz, többek között a nemesfémeket és a ritkaföldfémeket is.

Ebből a csoportból az EU (2023-as) CRM-listáján számos elem szerepel. Kritikus nyersanyagként: szkandium, nehéz ritkaföldfémek, könnyű ritkaföldfémek, titán, hafnium, vanádium, nióbbium, tantál, wolfrám, kobalt. Stratégiai nyersanyagként: mangán, réz és nikkel. E széles spektrumból a cikkben négy elemet emelünk ki: V, Nb, Ta és W.

A V, Nb és Ta a periódusos rendszer 5. csoportjának elemei, így számos tulajdonságban hasonlítanak

egymásra. Ásványokban 5+ vegyértékkel kationokként jelennek meg, ami a vanádium esetében ez komplex anionként ( $\text{VO}_4^{3-}$ ) alkot vanadátásványokat. Az 5+ ionok ionrádiusza a Nb és Ta esetében igen közeli, ezért ezek oxidokban egymást könnyen helyettesítik. A wolfrám 6+ kationként a vanádiumhoz hasonlóan komplex aniont ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) képez wolframátásványokként, de szulfidokban megjelenhet 4+ kationként is.

Elektronszerkezet szerint a  $\text{V}^{5+}$ ,  $\text{Nb}^{5+}$  és  $\text{Ta}^{5+}$ , valamint a  $\text{W}^{6+}$  a kemény, vagy A-típusú kationok közé tartozik, melyeknél a külső elektronhéj zárt. Ezek az ionok oldatokban, olvadékokban oxigénnel komplex anionokat, illetve oxidokat képeznek. Ezek ásványai málláskor a reziduális üledékekben dúsulnak [9].

A vanádium, nióbbium, illetve wolfrám megjelenik  $\text{V}^{4+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ ,  $\text{Nb}^{4+}$ ,  $\text{Nb}^{3+}$ , illetve  $\text{W}^{4+}$  kationként is, ahol a külső elektronhéjon 1-2 elektron van. Ekkor ezek az ionok oxigénnel vagy kénnel képeznek koordinációt.

### 2.1. Vanádium (V)

A vanádium fém 2017 óta szerepel az EU kritikus nyersanyagok listáján. Elsősorban fémötvözetek, különösen a nagy szilárdságú acél és repülőtechnikai ötvözetek gyártásában használják. Másodlagos alkalmazásai közé tartozik a kémiai iparban katalizátorként, valamint kerámiákban, üvegekben és pigmentekben való felhasználása.

#### Földtani előfordulások

Az ércek négy fő lelőhelytípushoz kötődnek:

- Vanádiumtartalmú titánmagnetit (VTM),
- Homokkőben található vanádium (SSV),
- Agyagpalához kötődő vanádium,
- Vanadátlelőhelyek.

Természetes szénhidrogén- és széntelegek is tartalmazhatnak kiugró koncentrációjú vanádiumot. A

vanádium jelenléte a Föld kérgében mérsékelt, átlagos felső kéregbeli koncentrációja 97 ppm [10], viszont ércnek 0,7–1,5%  $V_2O_5$  tartalommal minősíthető. Jelentős vanádiumdúsulás jelentkezik foszfát-, bauxit-tercekekben.

Az oxidos vanádiumérccek fő gazdaásványa a vanádiumtartalmú magnetit, gabbrótestekben. Mintegy 65 ásvány tartalmaz vanádiumot, de a fő ércásványok a magnetit ( $Fe_3O_4$ ) és az ilmenit ( $FeTiO_3$ ) (elsősorban VTM lelőhelyeken), egyes lelőhelyeken előfordul a patronit ( $VS_4$ ), a vanadinit [ $Pb_5(VO_4)_3Cl$ ] és a karnotit [ $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ] is.

Az előállított vanádium fém mintegy 70%-a a vas-kohászat mellékterméke, 30%-a pedig önálló vanádiumérccek feldolgozásából származik. A leggyakoribb piacon szereplő végtermékek a 98%-os vanádium-pentoxid pehely és az FeV ferro-vanádium ötvözet.

### Globális források és készletek

A fő érciktermelő országok Kína, Dél-Afrika, Oroszország, Brazília.

### EU-források és -készletek

Az EU-ban vanádium ásványvagyont Finnországban, Svédországban és Lengyelországban ismert. Vanádium fémre vonatkozó becslés szerint a teljes ásványvagyont 7,8 Mt, ebből mintegy 5 Mt következtetett és 2,8 Mt felderített, illetve részletesen megkutatott vagon. A lelőhelyek közül jelentősebbek a finn Koitelainen UC és a Terrafame lelőhely, a lengyel Krzemianka, valamint a svéd Haggan és Hörby (főként titántartalmú vasérc) lelőhelyek. A European Mineral Yearbook adatokat nyújt Ukrajnára vonatkozóan is (15 500 tonna  $V_2O_5$  a vanádiumérckekben) [11].

### Nyersanyag-ártrend

A vanádium ára elsősorban az acélpiacon ingadozásokhoz kapcsolódva erősen ingadozik, a  $V_2O_5$  átlagára 20 USD/kg volt 2022-ben [6].

### Magyarországi előfordulások

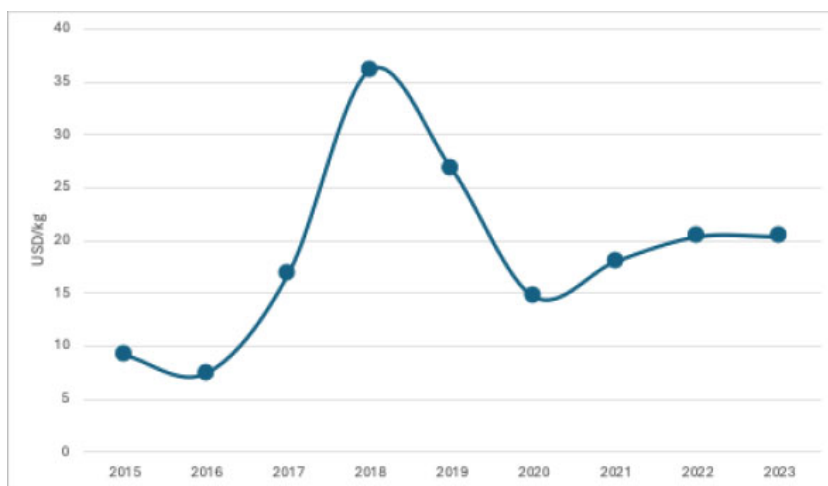
Nem ismert a megkutatott és a nyilvántartott vanádium-ásványvagyont. Számos földtani környezet tartalmaz vanádiumdúsulásokat. A 3323 Szarvaskő titánmagnetit lelőhelye gazdaságilag hasznosítható minőségű  $V_2O_5$ -tartalommal rendelkezik (0,14–0,32%), magas  $TiO_2$ -tartalommal (4–14%) és mérsékelt magas Co-dúsulással. Magyarország bauxitjai jelentős vanádiumtartalommal rendelkeznek (8452 Halimba, 8418 Nyírad, 8082 Gánt, 7822 Nagyharsány). Halimbán az átlagos vanádiumtartalom 590 ppm, a maximumok 850 ppm körül mozognak. A magas vanádiumtartalom itt szintén magas titán- (2–4%  $TiO_2$ ) dúsulással társul. Fekete palához kötődő U-V-Cu indikáció ismert az Uppony és Szendrő paleozoikus alacsony fokú metamorf egységeiben, ahol Cu-vanadát ásványt (volborthit) sikerült kimutatni (3622 Dédestapolcsány). Melléktermékként vehető figyelembe V-tartalom a mecseki uránérccek esetében 7673 Kővágószőlősen (átlagosan 0,36% V és >1% V maximumok, 0,6% V az U-koncentrátumokban). Anomális V-tartalom (ugyanilyen anomális U-tartalommal együtt) ismert a kréta kori barnaszénben 8400 Ajkán (max 0,14% V) és az eocén kori barnaszénben 8052 Bakonycsernyén.

### 2.2. Nióbium (Nb)

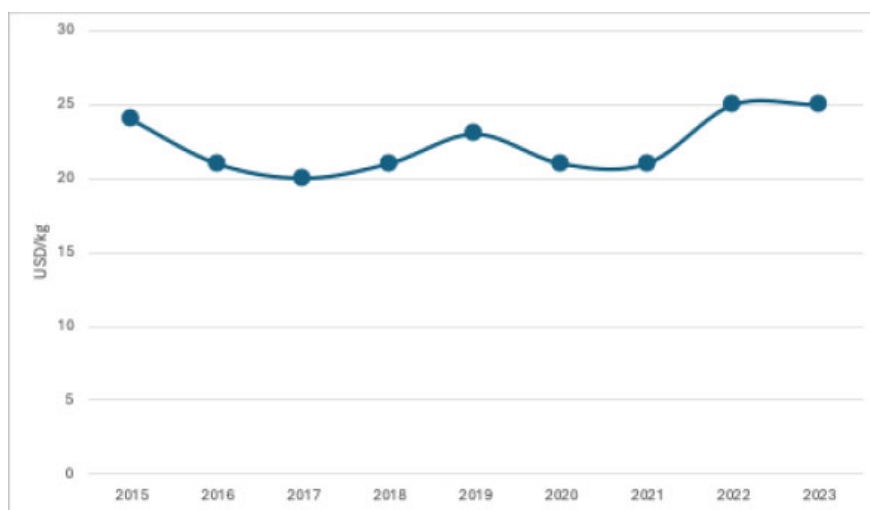
A nióbium 2011 óta szerepel folyamatosan az EU kritikus listáján. Főként nagy szilárdságú acélötvözetekhez használják fel ferronióbium ötvözet formájában.

### Földtani előfordulások

A Nb-ércetek többségben alkáli magmatitokhoz (főként gránitokhoz) és karbonatitokhoz kapcsolódnak elsődleges magmás ércesedés ásványaként (pegmatit ércetek), illetve másodlagos reziduális vagy torlatüledékeként. Ez utóbbiak iparilag jelentősek, mivel a Nb a legtöbb geokémiai környezetben immobilis marad, és a nehézásványokban halmozódik fel.



2. ábra. A vanádium-pentoxid világpiaci árának változása 2015–2023 között [5, 6]



3. ábra. A ferróniobium világpiacon árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

Az ércásványokban a Nb szinte mindig együtt fordul elő a tantállal, amely könnyen helyettesíti a Nb-t hasonló elektronszerkezete és nagyon hasonló ionrádiusza miatt. A fő ércásványok a kolumbit ( $\text{Fe}^{++}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ) és a tantalit ( $\text{Fe}^{++}\text{Ta}_2\text{O}_6$ ) (együttesen: coltanérc) Emellett a nióbbium helyettesítheti a titánt is, például ilmenitben vagy rutilban.

### Globális források és készletek

A legnagyobb regisztrált készletek Braziliában találhatók (16 000 t Nb fém). Jelentős előfordulások találhatók még Kanadában (1600 t) és az USA-ban (170 t), valamint számos afrikai és ázsiai országban, ahol a készletek adatai nem nyilvánosak. Az éves globális elsődleges nióbbiumfém-termelés körülbelül 83 000 tonna (2023), amelyet Brazília (75 000 tonna) ural, ezt követi Kanada (7000 tonna), valamint kisebb mértékben Kongó, Ruanda és Oroszország.

### EU-források és -készletek

Európában nincsenek ismert Nb-lelőhelyek, bár számos kőzetben található Nb-ásványok. Ásványvagyongként nyilvántartják Finnországban (Jokikangas, Katajakangas és Kontioaho lelőhelyek, 13 000 t  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ), Franciaországban (Tréguennec, 1860 t  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) és Portugáliában (Almendra, 350 t  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) [4].

### Nyersanyag-ártrend

Az érceket Nb-oxidokká vagy ferróniobiummá dolgozzák fel; ez utóbbi a legfontosabb nióbbium-alapanyag. Az ára az elmúlt évtizedben kevésbé ingadozott, körülbelül 25 000 USD/t nióbbium fém körül mozogva.

### Magyarországi előfordulások

Magyarországon Nb-dúsulásokat és Nb-t tartalmazó ásványok előfordulását észleltek a Mecsek hegység

fonolitjában (7349 Szászvár, Szamár-hegy, átlagosan 169 Nb ppm, magas Ta-, TREE (összes ritkaföldfém-tartalom) [12], a Keleti Mecsek kőszeneiben (7351 Máza, a hamuban 1000 ppm maximum, magas Ta, TREE) [13], a Velencei-hegységben a gránit és alkáli intrúziókhoz kapcsolódó erekben és telérekben (8092 Pátka, max. 408 ppm, magas TREE) és a Bükk hegység metasomatikus metavulkanitjaiban és sziliklasztos metaszedimentjeiben (3517 Miskolc, Lillafüred, Ti, TREE dúsulással) [14].

### 2.3. Tantál (Ta)

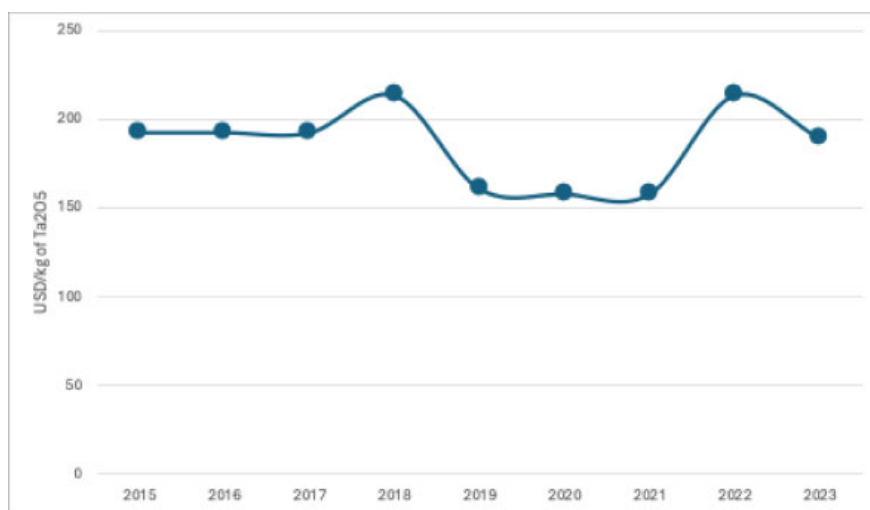
A tantál 2011 óta szerepel az EU kritikus nyersanyagok listáján [15]. Gyakran együtt fordul elő a nióbbiummal. A fémet főként kondenzátorokhoz és más elektronikai alkatrészekhez használják, valamint szuperötvezetekhez a repülőgépiparban.

### Földtani előfordulások

Érci az előzőekben a nióbbiumnál leírt környezetekben, azzal kapcsolódva fejlődtek ki. A tantál gyakran ónnal (kassziterit) is társul a torlatos lelőhelyekben. Az érceken a Ta-koncentráció általában 1-2 nagyságrenddel kisebb a nióbbiumnál. A fő ércásványok itt is a kolumbit és a tantalit. Emellett a Ta helyettesítheti a titánt is, például ilmenitben vagy rutilban. Az érceket Ta-oxidokká vagy kálium-fluorotantalláttá dolgozzák fel hidrofloorsavval végzett kivonási folyamaton során.

### Globális források és készletek

A legnagyobb ismert készletek Kínában, az USA-ban és Braziliában találhatók. Az éves bányászott tantál-fém-termelés össz mennyisége körülbelül 2400 tonna (2023). Az afrikai országok (Kongó: 980 t, Ruanda: 520 t) és Brazília (360 t) a legnagyobb termelők [6].



4. ábra. A tantál-pentoxid (tantalit érben kg Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ra vonatkoztatva) világgpiaci árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

### EU-források és -készletek

Európában egy működő tantálérclelőhely ismert, a Penouta bánya Spanyolországban, amelyik 2022-ben kezdett el termelni (első 8 hónapban 30 t NbTa-dúsítmány). Dúsulások Európában számos más országban ismertek: Finnország, Svédország, Portugália, Spanyolország, Franciaország, Németország, Csehország, Románia.

### Nyersanyag-ártrend

Az utóbbi 10 évből a tantalit érre vonatkoztatott információ alapján a tantál ára aránylag stabil. A tantalit T<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-re vonatkozó 2023-as becsült, átlagos ára 190 USD/kg volt [6].

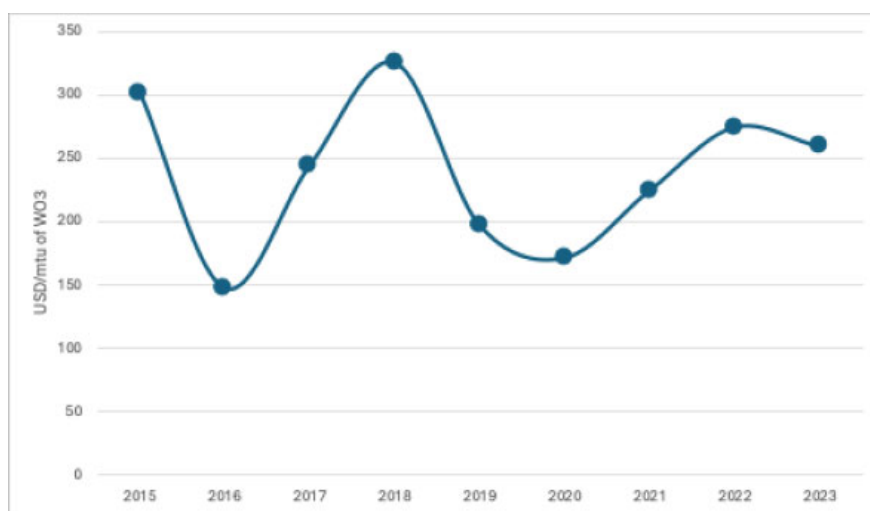
### Magyarországi előfordulások

Magyarországon tantáldúsulásokat és tantált tartalmazó ásványok előfordulását észlelték a Mecsek

hegység fonolitjában (7349 Szászvár, Szamár-hegy, átlagosan 12 ppm Ta, magas Nb, TREE) [12], a Keleti Mecsek kőszeneiben (7351 Máza, a hamuban 20 ppm maximum Ta, magas Nb, TREE) [13], a Velencei-hegységben a gránit és alkáli intrúziókhoz kapcsolódó erekben és telérekben (8092 Pátka, max 8 ppm Ta, magas TREE) és a Bükk hegység metasomatikus metavulkanitjaiban és sziliciklasztos metaszedimentjeiben (3517 Miskolc-Lillafüred, Nb, TREE dúsulással) [14].

### 2.4. Volfrám (W)

Kemény ötvözetet alkotó fém. Nagy keménysége miatt keresett fém, és mert az összes elem közül a legmagasabb az olvadáspontja. Sűrűsége nagy: 19,3 g/cm<sup>3</sup>.



5. ábra. A WO<sub>3</sub>-koncentrátum világgpiaci árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]. mtu of WO<sub>3</sub>; metric ton unit of WO<sub>3</sub> (7,932 kg WO<sub>3</sub> egy tonnában)

## Földtani előfordulás

A volfrám átlagos koncentrációja a felső kéregben 3,3 ppm [10]. A természetben fontos ércforrásai a volfrámit  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$  és a scheelit  $\text{CaWO}_4$  [16]. A scheelit a leggyakoribb volfrámásvány, amelyik a volfrámlelőhelyek körülbelül kétharmadában van jelen [16].

## Globális források és készletek

A globális becsült volfrámérc ásványvagyon össz-mennyisége mintegy 7 millió tonna. A globálisan nyilvántartott kitermelésre alkalmas készlet 3,7 millió tonna [6], a legnagyobb előfordulások Kazahsztánban (48%), Kínában (36%) és Kanadában (6%) vannak. A világtermelés átlaga 2016–2020 között 86 719 t volt, a legfontosabb termelők Kína (83%), Vietnám (6%) és Oroszország (3%).

## EU-források és -készletek

Spanyolország, Portugália, Lengyelország, Szlovákia és Csehország ásványvagyon információi elérhetők a Minerals4EU oldalán [17]. Az EU ismert ásványvagyona körülbelül 500 000 tonna volfrám [18]. Az ipari szakértők szerint több ismert vagy fejlesztésre kész lelőhely található Európában, mint például a Hemerdon lelőhely (Egyesült Királyság), Barruecopardo (Spanyolország) La Parilla (Spanyolország).

Az EU-ban a volfrámérc kitermelése Ausztriában, Portugáliában és Spanyolországban történik, ez körülbelül évente 2140 tonnát jelent, ami a globális kitermelés 2,1%-a [19]. Az EU-ban körülbelül 80 000 tonna volfrámérckészletet azonosítottak [18], ami a világon ismert összes készlet 1,5%-a. Ennek döntő része a három termelő országban összpontosul: Ausztria (10 000 t), Spanyolország (52 000 t) és Portugália (5 100 t).

## Nyersanyag-ártrend

Az utóbbi évtizedben a volfrám-oxid-koncentrátum ára erősen volatilis volt. A jelenlegi átlagár 260 USD/mtu egység (1 mtu egység 7,932 kg  $\text{WO}_3$ -t tartalmaz egy tonnában), azaz 30 USD/kg  $\text{WO}_3$ .

## Magyarországi előfordulások

A történelmi geokémiai elemzési adatok jelentősen alulbecsültek lehetnek, mivel a volfrámásványok el- lenállnak a leggyakrabban alkalmazott savas feltárás- nak. Csak egy előfordulást jegyeztek fel, ez a 2634 Nagybörzsöny, ahol a volfrám Bi és As társaságában fordul elő (a maximális vizsgálati érték 2400 ppm W, az átlagos 295 ppm W).






## 3. Alkáliföldfémek

Szintén kemény vagy A-típusú kationokat képez két elem, a stroncium és a bárium [9], melyek elemként (stroncium), illetve nemfémes ásványi nyersanyag- ként (barit) szerepelnek az EU CRM-listáján [15]. A Sr és a Ba alkáliföldfémek, a periódusos rendszer 2. csoportjában szerepelnek. 2+ töltésű kationokat ké- peznek zárt elektronszerkezettel. Ionrádiuszuk eléggé közeli, ezért egymást és kalciumot is könnyen helyet- tesítenek. Leggyakrabban karbonátokban és szulfá- tokban halmozódnak fel.

### 3.1. Barit

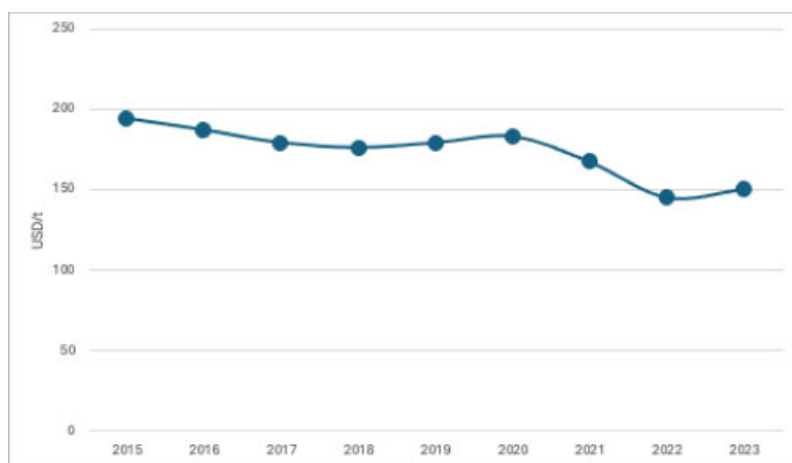
A bárium alkáliföldfém, mely elemi formában nem ta- lálható meg a természetben. Vízben, illetve savakban oldódó vegyületei mérgezőek. Ez nem vonatkozik a baritra, amelyik inert, nem mérgező és vízben szinte oldhatatlan.

A barit 2017 óta szerepel az EU CRM-listáján, és 2018 óta az USA-ban is kritikussá minősítették. Szín- telen, fehér, sárga, szennyeződés esetén barna, sötét, kék színű, üveges fényű, rombos kristályszerkezetű ásvány. Sűrűsége 4,5 g/cm<sup>3</sup>, Mohs-keménysége 3–3,5. Olvadáspontja magas, 1580 °C. Napjainkban a barit iránti kereslet jelentős az olaj- és gáziparban, ami a felhasználás 60%-át teszi ki. Emellett töltőanyagként használja a gumi-, műanyag-, papír-, és festékipar (30%), valamint a vegyipar (10%). Felhasználják nagy sűrűségű beton és vakolat előállításához, orvosi diag- nosztikához röntgen-kontrasztanyagként is. Az EU- ban az olaj- és gázipari termelés a baritfelhasználás több mint a felét tette ki, míg a maradék rész a vegy-

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Sr<sup>2+</sup> 38</b></p> <p>Vanádium-ion<br/>mint vanadát</p> <p><math>m = 87,62</math><br/><math>r = 1,13</math></p>  | <p><b>Ba<sup>2+</sup> 56</b></p> <p>Nióbium-ion</p> <p><math>m = 137,33</math><br/><math>r = 1,35</math></p>  | <p> Tengervízben közepesen gyakori (9.–16.) ionok</p> <p> Tengervízben kevésbé gyakori (17.–22.) ionok</p> <p> Méretük miatt magmás kőzetekben inkompatibilis ionok</p> |
|---|--|--|

6. ábra. A stroncium és bárium geokémiai jellemzői az *An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and their Ions* táblázat [9] alapján.  $m$ : atomtömeg,  $r$ : ionrádiusz





7. ábra. A fűróiszap minőségű barit világti árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

iparban és töltőanyagként került felhasználásra [20]. Az adatok nem változtak jelentősen a 2020-as adatlap adataihoz képest [21].

### Földtani előfordulás

A bárium átlagos koncentrációja a földkéregben 425 ppm. A barittal ( $\text{BaSO}_4$ ) együtt megtalálhatók gyakoribb kísérő ásványok – kvarc, jáspis, szulfidok (galenit, markazit, pirit és szfalerit, kalkopirit), agyagásványok, karbonátok (kalcit és sziderit), és vas-oxidok. Szervesanyag is jelen lehet akár nagyobb arányban is [8]. A barit számos környezetben fordul elő, és többféle földtani folyamat során halmozódik fel, többek között hidrotermális, biogén, evaporitos képződéssel. A lelőhelyeket négy csoportra oszthatjuk [8]:

- Üledékes-réteges,
- Vulkáni-réteges,
- Érkitöltő, üregkitöltés és metasomatikus,
- Reziduális üledékes.

Az üledékes-réteges (szervesanyag-gazdag agyagpala, iszapkő vagy kvarcit) lelőhelyekben sztratiform szulfidkísérő ércesedéssel fordulnak elő. Az ér- és üregkitöltő, illetve metasomatikus típusba tartozó lelőhelyek hidrotermális folyamatokhoz kapcsolódnak. A reziduális barit lelőhelyek gyengén konszolidált összletek, az ilyen lelőhelyekben általában jelen vannak agyagásványok, kvarc és egyéb kőzettöredékek is.

### Globális források és készletek

A barit legnagyobb globális lelőhelyei a dél-kínai Qinling és Jiangnan régiókban és az indiai Cuddapah körzetben található. Az ásványvagyonokra vonatkozó becslések széles skálán mozognak, de a kitermelhető barit mennyisége meglehetősen nagy [6].

### EU-források és -készletek

Három EU ország termelt korábban baritot: Bulgária, Németország és Szlovákia. 2020-ban és 2021-ben

csak Oroszország és Törökország jelentett hozzáférhető közeli baritforrásokat.

### Nyersanyag-ártrend

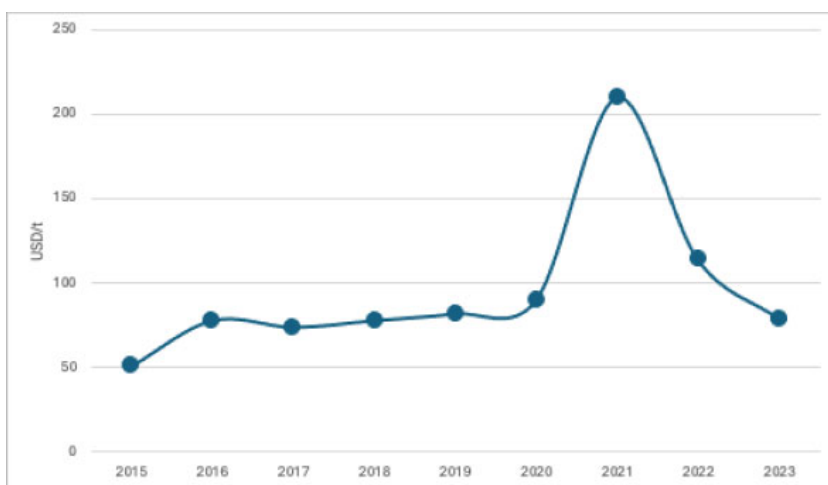
A fűróiszap minőségű barit ára 2023-ban átlagosan 150 USD/tonna volt [6]. A globális baritpiac méretét 2022-ben 1,43 milliárd USD-ra becsülték, és 2023-tól 2030-ig a kereslet várhatóan évente 5,1%-kal növekszik [22].

### Magyarországi előfordulások

Magyarországon számos baritelőfordulás ismert, többek között *3511 Gyöngyösoroszi*, *3245 Recsk*, *3244 Parádfürdő* feltárásaiból. Jelentős dúsulása *3733 Rudabányán* van, ahol a sziderittel együtt az alsó triász rétegsorban rétegzett formában, üledékes eredetüként, illetve későbbi telérkitöltések formájában hidrotermális eredetüként fordul elő. Itt a baritérc átlagminősége 52%  $\text{BaSO}_4$ , ásványvagyona 4,4 millió tonna. Ehhez hasonló, de a barit mennyiségi, minőségi információval nem rendelkező közeli előfordulása *3755 Martonyi*.

### 3.2. Stroncium (Sr)

Alkáliföldfém, amely nagy reaktivitást mutat vízzel és levegővel szemben [23, 24]. A stroncium az EU CRM listán 2020 óta szerepel. Iparilag a stronciumot és különösen annak vegyületeit sokféleképpen használják, többek között az elektromos és elektronikai iparban (mint a foszforok, akkumulátorok, elektromos kondenzátorok és optikai eszközök alkotórészeként), az üvegyiparban, a fémmegmunkáló iparban, a pirotechnikában és az orvostudományban. Cölesztin használható fűróiszapban barithelyettesítőként. Az EU-ban a stronciumot 70%-ban fűróiszapban (cölesztin) hasznosítják, emellett jelentősebb alkalmazása a pirotechnikában és mágnesek előállításánál van (9-9%) [25].



8. ábra. A cölesztin világpiaci árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

### Földtani előfordulás

A stroncium a földkéregben átlagosan 370 ppm koncentrációban van jelen. A legfontosabbak ásványai a cölesztin ( $\text{SrSO}_4$ ) és a stroncianit ( $\text{SrCO}_3$ ). A cölesztin felhalmozódások az alacsony oldhatóságú stroncium-szulfát csapadékképződésével keletkeztek tengervízből, a stroncianit hidrotermálisan vagy másodlagos ásványként cölesztinből alakulhat ki [24].

### Globális források és készletek

A világ össztermelése döntően a következő országokból származik: Spanyolország (34%), Irán (37%), Kína (16%) és Mexikó (11%).

### EU-források és -készletek

A stroncium az EU CRM-listájára azért került fel, mert egyetlen európai forrásként a dél-spanyol bányák (Montevives, Escuzar) állnak rendelkezésre. Körülbelül 3,6 millió tonna cölesztin ásványvagyon ismert Spanyolországban. Európában további források vannak Kelet-Ukrajnában, a jelenlegi háborús övezetben (Novopoltavske, 850 millió tonna nyilvántartott vagyton). A spanyol bányák révén az EU a termelést évi 40 tonnáról 3005 tonnára növelve nettó cölesztinexportáló, 2000 és 2021 között összesen 24345 tonnát exportált.

### Nyersanyag-ártrend

A cölesztin ára 2023-ban átlagosan 79 USD/tonna volt [6].

### Magyarországi előfordulások

Nyilvántartott ásványvagyon nincs, kutatási előzmények nincsenek. Cölesztin ismert *3211 Gyöngyösrózsiból* és a mecseki uránérc bányák meddőjéből (*7673 Pécs*), valamint *3733 Rudabányáról*. Rudabányán jelentős, 1% körüli a baritok stroncium tartalma is.


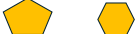





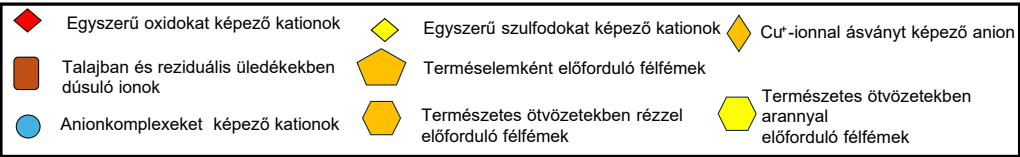
## 4. Félfémek

A félfémek csoportjának behatárolása kémiai szempontból nem egységes. Definíció szerint olyan elemek, melyek tulajdonságai átmenetet képeznek a fémek és a nemfémek között. Közülük ebben a cikkben az arzént, antimont, bizmutot említjük. A természetben megjelennek 3+ vegyértékű kationként, ugyanakkor mindhárom ismert terméselem formában is. Mindhárom megjelenik 5+ ionként is, az arzén és antimon esetében ekkor komplex aniont alkotnak ( $\text{AsO}_4^{3-}$  arzenát,  $\text{SbO}_4^{3-}$  antimonát), valamint 3- vegyértékű anionként, amikor arzenid, illetve antimonid ásványokat alkot. A bizmut geokémiailag sok rokonságot mutat az arzénnal és az antimonnal.

Ásványokban 3+ vegyértékű kationként mindhárom leginkább szulfátok és szulfosók alkotóiként, valamint oxidokként ismert, mállás során immobilis, reziduális talajokban és üledékekben dúsul. Terméselemként rézzel, illetve arannyal alkotnak ötvözetet, arany- és ezüstérc-előfordulások jellemző ásványai, geokémiai nyomjelzői.

### 4.1. Arzén (As)

Az arzén atomszáma 86, tulajdonságait tekintve félfém, fémes és nemfémes tulajdonságokkal is rendelkezik. Közeli rokoneleme az Sb (Antimon). Elemi formában és anionja nagyon mérgező. Az arzént általában káros mellékterméknek tekintik. Az Európai Bizottság általi 2020-as kritikus nyersanyaggá, valamint az USA általi 2021-es kritikus ásványi nyersanyaggá történő besorolása azonban újra felkeltette az érdeklődést az arzén termelése és ellátásbiztonsága iránt. Kereslete növekszik, elsősorban félvezetőkben, növényvédő szerekben és fa tartósítószerekben való felhasználása miatt.

|   |  |   |  |  |   |
|---|--|---|--|--|---|
| <b>As<sup>3+</sup> 33</b><br>Arzén-ion mint arzenát<br>$m = 74,92$<br>$r = 0,69$<br> | <b>As 33</b><br>Arzén mint terméseelem<br>$m = 74,92$<br>$r = 1,48$<br>   | <b>As<sup>3-</sup> 33</b><br>Arzén-ion mint arzenid<br>$m = 74,92$<br>$r = 2,22$<br> | <b>Sb<sup>3+</sup> 51</b><br>Antimon-ion mint antimonát<br>$m = 121,76$<br>$r = 0,90$<br> | <b>Sb 51</b><br>Antimon mint terméseelem<br>$m = 121,76$<br>$r = 1,61$<br> | <b>Sb<sup>3-</sup> 51</b><br>Antimon-ion mint antimonid<br>$m = 121,76$<br>$r = 2,45$<br> |
| <b>Bi<sup>3+</sup> 83</b><br>Bizmut-ion<br>$m = 208,98$<br>$r = 1,20$<br>            | <b>Bi 83</b><br>Bizmut mint terméseelem<br>$m = 208,98$<br>$r = 1,82$<br> | <b>Bi<sup>2-,3-</sup> 83</b><br>Bizmut-ion mint bizmutid<br>$m = 208,98$<br>  |    |  |   |

9. ábra. Az arzén, bizmut és antimon különböző geokémiai megjelenési formái az *An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and their Ions* táblázat [9] alapján.  $m$ : atomtömeg,  $r$ : ionrádiusz

### Földtani előfordulások

Az arzén gyakori szulfidos ércekben, a legtöbbször arzenopirit ( $\text{FeAsS}$ ) vagy enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) formájában. Gyakran társul aranydúsulással arzenopirit vagy pirit formájában. Az arzén önlelőhelyeken is akumulálódhat, különösen pegmatitokban. Epitermális, teletermális higanylelőhelyekben is megjelenhet. Uránérctelepekben arzenopirit vagy más arzéntartalmú ásványok formájában is jelen lehet. Ezenkívül az arzenidek, mint például a nikkelin ( $\text{NiAs}$ ) és a kobaltin ( $\text{CoAsS}$ ) lehetnek jelentős ércösszetevők.

### Globális források és készletek

Az arzén globális termelése arzén-trioxid formájában, körülbelül 60 000 tonna volt 2023-ban [6]. A legfontosabb termelő országok: Peru (27 000 t), Kína (24 000 t), Marokkó (7 500 t), Japán (40 t).

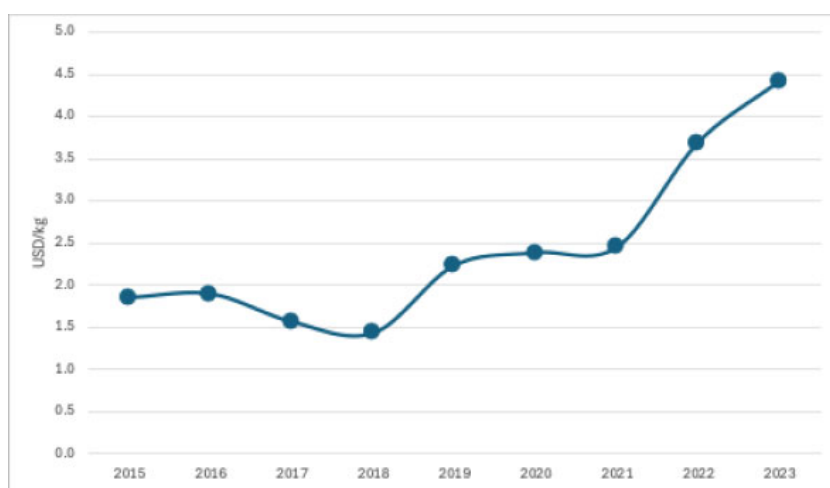
### EU-források és -készletek

Az EU-ban arzént melléktermékként Belgiumban állítanak elő színesfémek pörkölése és kohósítása során [4].

### Nyersanyag-ártrend

A nyersanyag (min. 99% arzéntartalomra) átlagos ára 2015 és 2023 között 2–5 USD/kg között ingadozott, a jelenlegi átlagár 3 USD/kg.

Az arzént elsősorban melléktermékként állítják elő, elsősorban a réz- és aranybányászat során. Ezért piaci dinamikája szorosan kapcsolódik ezen alapfémek termelési szintjéhez és áraihoz. A nagyléptékű bányászati műveletek, amelyek jelentős mennyiségű arzént termelnek melléktermékként befolyásolhatják a piaci kínálatot és ezáltal az árakat.



10. ábra. A fém arzén világpiaci árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

## Magyarországi előfordulások

Az arzén előfordulásai az országban elsősorban a színesfém vagy az arany egykori bányászatához kapcsolódtak. A Mátra hegységben található Lahóca bányája jelentős arzéntermelő hely volt, a rézérc bányászat melléktermékeként. A 19. és a 20. század elején Magyarország a világ egyik vezető arzéntermelője volt.

A legmagasabb As koncentrációkat a Criticel program során a 2634 Nagybörzsöny mintáiban mérték (0,6–2,3% As) (termésarzént és arsenopiritet azonosítottak). A 3245 Recsk Lahóca HS epitermális Cu-Au ércesedés, a 3244 Parádfürdő LS epitermális ércesedés (0,03–0,3% As) enargitot és luzonitot tartalmaz As-ásványként. Jarozittal arsenátokkal cementált, homokkövek ismertek a pliocén fedőrétegben a paleozoos metamorfit kőzetek felett 3786 Irotán.

Az Erdélyi Érchegység felől érkező geokémiai migráció Békés és Csongrád-Csanád megyékben megemelt arzéntartalmat okoz a felszín alatti vízkészletben. Körülbelül 400 közösségi vízmű rendelkezik létesítményekkel, amelyek eltávolítják az arzént az ivóvízből a 10 mikrogramm/liter küszöbérték alá. Lehetőség nyílna arra, hogy a szűrő segédanyagokat és adszorpciós anyagokat regenerálják azáltal, hogy az arzént kereskedelmileg értékes formára különítik el és tisztítják.

### 4.2. Antimon (Sb)

Az antimon 2011 óta szerepel folyamatosan az EU CRM-listáján [15]. Kiemelt fontosságot kap 2024 augusztusa óta, amikor Kína betiltotta az antimon kivitelét [26].

## Földtani előfordulások

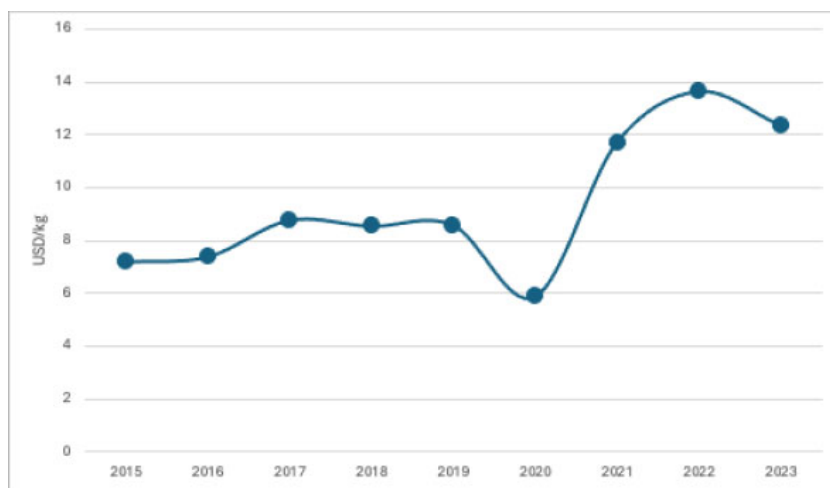
Geokémiailag az antimon a kalkofil elemek közé tartozik, kénnel fordul elő, és ólommal, rézzel és ezüsttel társul. Az önálló antimontepek legfontosabb típusai, érckészleteik alapján:

- Zöldkövesedett rétegekben kifejlődött kvarc-karbonát erek és karbonátos telepek;
- Epitermális arany-antimon telepek

Ezekben a telepekben többnyire az antimonit ( $Sb_2S_3$ ) a fő ércásvány. Az egyszerű kvarc-antimonit-telérés és metasomatikus telepek adják a jelenlegi és a közelmúltban bányászott termelés nagy részét. Ezek különböző hidrotermális rendszerekben alakulhatnak ki, beleértve az orogén aranytelepek periférikus részét, az intrúziókhoz kötődő aranytelepeket, a porfíros réz- és molibdén-előfordulásokat, a polimetallikus mezotermális telérés telepeket és a Carlin-típusú, üledékekben halmozódó aranytelepeket [27]. Az antimon magas koncentrációban fordul elő számos egyéb fémes ásványi lelőhelyen, beleértve a színesfémeket (például réz, ólom és cink) és a nemesfémeket (például arany, ezüst és platina csoport elemei).

## Globális források és készletek

A kínai antimonérc-telepek a világ antimontartalékainak 55%-át teszik ki. Kína antimontermelésének mintegy 85%-a Hunan tartományból származik, főként a gigantikus Xikuangshan telepből. Az antimon globális készletei elsősorban ólom- és cinkérc telepekhez kapcsolódnak. Az antimon fém globális készletét mintegy 1,8 millió tonnára becsülik [6]. A legjelentősebb készleteket Kínában (480 et), Oroszországban (350 et), Bolíviában (310 et), Kirgizisztánban (260 et) tartják nyilván. Ezeken túl Ausztrália, Törökország, Kanada, USA, Tadzsisztán, Pakisztán és Mexikó rendelkezik jelentősebb előfordulásokkal.



11. ábra. A fém antimon világpiacon árának változása 2015 és 2023 között [5, 6]

Az antimon globális átlagtermelése 2016 és 2020 között évi 132 000–164 000 t volt [28]. Hosszú ideje Kína volt a világ fő antimon beszállítója, de termelése a közelmúltban csökkent, 2010-ben a globális termelés több mint 80%-áról 2020-ra körülbelül 46%-ra. Az utóbbi 10 évben Tadzsikisztán lett az egyik jelentős antimontermelő ország.

#### EU-források és -készletek

Európában antimonérc-termelés jelenleg nincs. Hat országról ismert, hogy jelentősebb antimon előfordulásokkal rendelkeznek: Franciaország, Németország, Spanyolország, Finnország, Szlovákia és Görögország.

#### Nyersanyag-ártrend

A 11. ábra az antimon fém árváltozását mutatja 2015–2023 között. Az antimon ára 2011-ben érte el csúcspontját, 16 USD/kg értékkel, majd hosszabb ideig stabilizálódott 8 USD/kg körüli értéken. A fém (min. 99,65% Sb) átlagos ára 2023-ban 12,3 USD/kg volt. Az EU az 2016–2020-as időszakban az EU évente 18 500 tonna feldolgozatlan antimon fémet importált főként Kínából (83%), Vietnamból (4%) és Tadzsikisztánból (4%).

#### Magyarországi előfordulások

Antimonitérc nem szerepel a magyar ásványvagyon-nyilvántartásban. Ásványainak számos hazai előfordulása ismert. Az itt jelzett tartalmak a Criticel program során vett mintákban elemzett maximális értékeket mutatják. A 3245 Recsk Lahóca HS epitermális ércesedés (769 ppm Sb), a 3244 Parádfürdő LS epitermális ércesedés (466 ppm Sb) luzonitot, sztibnitet, tetradritet tartalmaz Sb-ásványként. Ásványtanilag kimutatott, de részletesebben nem megkutatott előfordulások antimonittal a Tokaji-hegység limnokvarcit és kapcsolódó tavi üledékei 3932 Erdőbényén és

3908 Rátkán, 3905 Monokon. Az 8151 Szabadbattyán ólomércesedése is mutat Sb-anomáliát (254 ppm).

#### 4.3. Bizmut (Bi)

A bizmut fém 2017 óta szerepel az EU kritikus listáján, és 2018 óta az Egyesült Államokban is kritikusnak minősül. A bizmut és vegyületei három fő ipari alkalmazásban használatosak, beleértve a vegyipart (főleg gyógyszeripar) 84%, az alacsony olvadáspontú ötvözetek 9% és a kohászati adalékok 7%. Növekvő keresletről számoltak be a félvezetők, termoelektromos és szigetelőgyártás területéről.

#### Földtani előfordulások

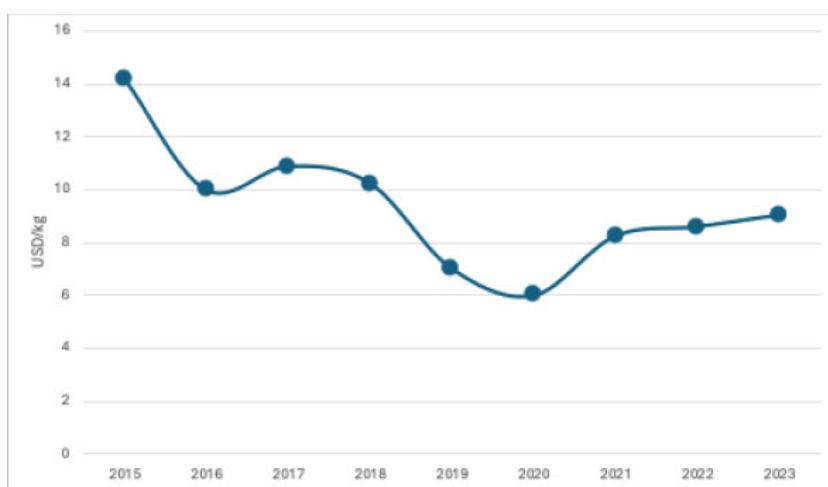
Az elsődleges bizmutban gazdag ércek keletkezése polimetallikus hidrotermális és mezotermális telérekhez kapcsolódik, amelyek mészkáli szubvulkáni és sekély intrúziós környezetekben és kapcsolódó szkarnos telepekben található. A bizmut érctelepekben bizmutinitban és szulfosókban van általában jelen. A galenit fő Bi-hordozó ásványként ismert az ércekben. A bizmut indikátorelem az aranyércesedés kimutatásához.

#### Globális források és készletek

Az ismert bizmut ásványi nyersanyagforrások mintegy 80%-a két ázsiai országban, Kínában és Vietnamban található. Az éves elsődleges bizmutfém-termelés körülbelül 20 000 tonna (2023), melynek több mint 90% ázsiai országokból származik (Kína, Laosz, Japán).

#### EU-források és -készletek

Az EU elsődleges termelése 50 tonna (Bulgária), éves fogyasztása (2021) hozzávetőlegesen 2500 tonna. Európában néhány ismert elsődleges bizmut ásványvagyon található Bulgáriában és Spanyolországban.



12. ábra. A bizmut fém ára a 2015–2023 közötti időszakban az USGS statisztikái szerint. Forrás: [5, 6]

1. táblázat. A magyarországi CRM-előfordulások adatainak összefoglalása

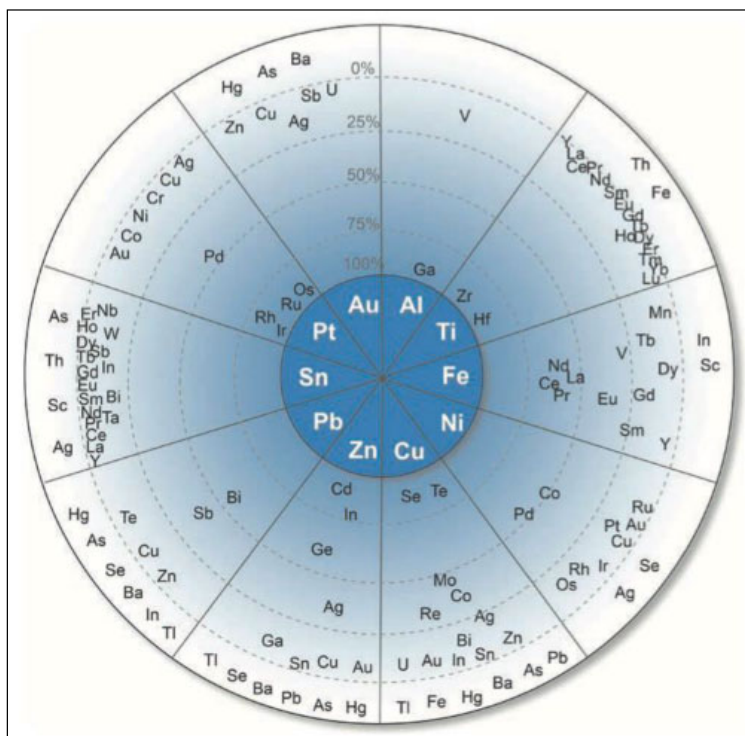
| Elem | Felsőkéreg-átlag, ppm (Rudnick & Gao 2003) | Magyar elemzések maximumai egyedi mintákból  | Magyar adatok ÁV becslésből  |
|------|--|--|--|
| As   | 4,8  | Nagybörzsöny 0,6–2,3%, Recsk-Lahóca 3000 ppm, Parádfürdő 300 ppm,  |  |
| Ba   | 628  |  | Rudabánya, baritérc 252 000 tonna átlagminőség 52% BaSO <sub>4</sub> ,               |
| Bi   | 0,16                                       | Nagybörzsöny 285 ppm   |  |
| Sb   | 0,4  |  | Recsk Lahóca 769 ppm, Parádfürdő 466 ppm, Rudabánya 414 ppm, Szabadbaty-tyán 254 ppm |
| Sr   | 320  |  | Rudabánya, baritércben 1% SrSO <sub>4</sub>  |
| Nb   | 12   | Szászvár 169 ppm, mecseki kőszén pernye 1000 ppm, Pátka 408 ppm  |  |
| Ta   | 0,9  | Szászvár Szamár-hegy 12 ppm, mecseki kőszén pernye 20 ppm, Pátka 8 ppm   |  |
| V    | 97   | Szarvaskő magnetit 3200 ppm (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), Kővágószőlős uránérc 3600 ppm, Ajka barnaszén 1400 ppm |  |
| W    | 1,9  | Nagybörzsöny 295 ppm   |  |

### Nyersanyag-ártrend

A bizmut feldolgozás végtermékének minősége >99,99% Bi fém. A fém piaci ára a 2015–2023 közötti időszakban 6 és 15 USD/kg között ingadozott (12. ábra), és a közelmúltban az Egyesült Államokban átlagosan 4,1 USD/lb áron kereskedtek (2023).

### Magyarországi előfordulások

Nyilvántartott bizmut érc ásványvagyon nincs. Dúsulások több lelőhelyről ismertek: A 2634 Nagybörzsöny jelentős (maximálisan kimutatott Bi 408 ppm, átlagosan 285 ppm, indiummal, arzénnal és volfrámmal társulva). Bizmutot kimutattak a 3245 recski mély-



13. ábra. Fémek társulási kördiagramja. Forrás: [29]

szint PbZn metasomatikus érceiben is, és dúsulások ismertek a 3511 Gyöngyösorsziból.

## 5. Összefoglalás

A tárgyalt kritikus nyersanyagok mindegyike kimutatható Magyarországon, bár többnyire csak indikációkban. Az 1. táblázat az ismert magyarországi adatokat foglalja össze szétbontva azt, hogy mi ismert csak egyedi minták elemzéseiből, illetve miről készült valamikor ásványvagyon-bebecslés is.

A legjobban körvonalazott gazdasági lehetőség a rudabányai barithoz köthető. Itt a barit *in situ* testekben és áthalmazva meddőhányókban is előfordul.

A fémként hasznosítható kritikus nyersanyagok ásványvagyon-értékelésénél fontos szempont, hogy ezek általában nem főelemként jelennek meg ércásványokban, hanem a fő érchozó elemek kísérőjeként. A 13. ábra ezt a kapcsolatot szemlélteti. Az ércásványokban domináns fémek a belső körben vannak, míg a kísérő társfémek földtani előfordulásukban az erősségi kapcsolat csökkenésével, kifelé helyezkednek el.

A félfémek és átmeneti fémek esetében fontos említeni a nagybörzsönyi és a Reck Lahóca-hegyi arany- és színesfém-ércesedések további vizsgálatának szükségességét, illetve modelljeik újraértékelését a kritikus nyersanyagok figyelembevételével.

## Irodalom

- [1] European Union (2024) Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020
- [2] Földessy J. (szerk.) (2014): Basic research of the critical raw materials of Hungary. Milagrossa, Miskolc, 159 p.
- [3] <https://tekh.uni-miskolc.hu/>
- [4] SCRREEN (Solutions for Critical Raw Materials – a European Expert Network) (2023): FACTSHEETS – CRMS 2023. <https://screen.eu/crms-2023/>
- [5] U.S. Geological Survey (2020): Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey, 200 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2020>
- [6] U.S. Geological Survey (2024): Mineral commodity summaries 2024: U.S. Geological Survey, 212 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>
- [7] Stoeser D. B. (ed.) (2000): USGS mineral deposit models Data Series 64. <https://pubs.usgs.gov/publication/ds64>
- [8] Dill H. (2010): The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews*, 100, 1–420. DOI: 10.1016/J.EARSCIREV.2009.10.011
- [9] Railsback L. B. (2003): An Earth Scientist’s Periodic Table of Elements. *Geology* 31(9) 737–740. <https://railsback.org/PT.html#Availability>
- [10] Rudnick R. L., Gao S. (2003): The Composition of the Continental Crust. In: Holland H. D. and Turekian K. K. (eds.), *Treatise on Geochemistry*, Vol. 3, The Crust, Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 1–64.
- [11] Brown T., Gunn G., Sievers H., Liedtke M., Huy D., Homberg D. (2018): Challenges of locating, mining and extracting CRM resources. Deliverable D3.3 of the project SCRREEN, 97 p., issued on 04. 05. 2018. <http://screen.eu/results/>
- [12] Szakáll S. (szerk.) (2014): Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben. Miskolci Egyetem 210 p.
- [13] Kádas M. (1985): A mecseki feketeköszén nyomelem vizsgálatának újabb eredményei. *Földtani Kutatás* 26, 81–82.
- [14] Németh N., Baracza M. K., Kristály F., Móricz F., Pethő G., Zajzon N. (2016): Ritkaföldfém- és ritkaelem-dúsulás a Bükk hegység délkeleti részének vulkáni eredetű kőzetesteiben. *Földtani Közöny* 146(1) 11–25.
- [15] Grohol M., Veeh C. (2023): Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report. Publications Office of the European Union, 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
- [16] British Geological Survey (2011): Mineral profiles – Tungsten. [https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/mineralProfiles/tungsten\\_profile.pdf](https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/mineralProfiles/tungsten_profile.pdf)
- [17] European Minerals Yearbook <http://minerals4eu.brgm-rec.fr/m4eu-yearbook/>
- [18] Bio Intelligence Service (2015): Study on Data for a Raw Material System Analysis. Prepared for the European Commission, DG GROW.
- [19] EU Raw Materials Information System <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/eu-critical-raw-materials>
- [20] <https://www.crmalliance.eu/baryte>
- [21] European Commission (2020): Study on the EU’s list of Critical Raw Materials (2020) Critical Raw Materials Factsheets (Final). [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM\\_2020\\_Factsheets\\_critical\\_Final.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM_2020_Factsheets_critical_Final.pdf) [Letöltve: 2023. 11. 25.]
- [22] U.S. Geological Survey (2020): Mineral commodity summaries 2022
- [23] <https://www.lenntech.com/periodic/water/strontium/strontium-and-water.htm>
- [24] <https://www.crmalliance.eu/strontium>
- [25] U.S. Geological Survey (2020): Mineral commodity summaries 2019
- [26] <https://makronom.eu/2024/08/21/antimon-europai-unio-kina-kritikus-fontossagu-nyersanyagok-makronom-nyersanyag-nacionalizmus-usa/>
- [27] Hofstra A. H., Marsh E. E., Todorov T. I., Emsbo P. (2013): Fluid inclusion evidence for a genetic link between simple antimony veins and giant silver veins in the Coeur d’Alene mining district, ID and MT, USA. *Geofluids* 13(4), 475–493.
- [28] Reichl C., Schatz M. (2022): World Mining Data 2022. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2022.pdf>
- [29] Nassar N. T., Graedel T. E., Harper E. M. (2015): By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances* 1(3) 1–10.

# Az EU kritikus fontosságú nyersanyagokról szóló jogszabálya és néhány kapcsolódó hazai vonatkozása

## EU legislation on critical raw materials and some related domestic aspects

HORVÁTH ZOLTÁN, PhD bányafelügyeleti ügyintéző  
Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Országos Bányakapitányság  
KISS JÁNOS, PhD földtudományi szakreferens  
Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat  
TÖRÖK KÁLMÁN, PhD földtudományi szakreferens  
Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat  
FÖLDESSY JÁNOS professzor emeritus  
Miskolci Egyetem Műszaki Föld-és Környezettudományi Kar

*A 2024. május 3-án jelent meg az EU-s Kritikus Nyersanyag Rendelet (CRMA), amely előtérbe helyezi a kritikus fontosságú nyersanyagokkal kapcsolatos gazdálkodást a kitermelőipartól a feldolgozáson keresztül az újrahasznosításig. A CRMA részletesen foglalkozik többek között a stratégiai fontosságú nyersanyag projektek kiválasztásával, finanszírozási lehetőségekkel, a tagországi kutatási programokkal, az engedélyeztetéssel, az adatbázisok CRMA céljaival összefüggő megosztásával, illetve az európai hatóságok közös munkájával. A cikk röviden bemutatja a CRMA néhány ásványvagyon-gazdálkodást támogató fejezetét. A CRMA hazai végrehajtásának elősegítése érdekében rendelkezésre áll a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságának (SZTFH) és jogelődjeinek ásványvagyon- és bezárt, bányászattal összefüggő hulladékkezelő létesítményeinek nyilvántartása. Emellett az SZTFH és a Miskolci Egyetemen a kapcsolódó – korábbi és jelenlegi – kutatási eredményei is jelentősen hozzájárulhatnak a hazai kritikus fontosságú nyersanyagokkal való gazdálkodáshoz s további kutatási program vagy vállalkozói kezdeményezések megalapozásához.*

**Kulcsszavak:** EU Kritikus Nyersanyag Rendelet, kritikus fontosságú nyersanyagok, ásványvagyon-nyilvántartás, kitermelési hulladék, UNFC, szabályozás

*On 3 May 2024, the EU Critical Raw Materials Regulation (CRMA) was published, prioritising the management of critical raw materials from extractive to processing and recycling sectors. The CRMA deals in detail, among others, with the selection of strategic raw material projects, funding opportunities, research programmes in the Member States, licensing, the sharing of databases relevant to CRMA objectives, and the joint work of European authorities. The article briefly introduces some of the chapters of CRMA that support mineral resource management. In order to facilitate the implementation of the CRMA in Hungary, inventories of mineral resources and closed mine waste facilities managed by the Supervisory Authority for Regulatory Affairs (SARA) and its legal predecessors is available. In addition, the related previous and current results of research activities both the SZTFH and the University of Miskolc can also significantly contribute to the management of critical raw materials in Hungary, and to establish further research programs or entrepreneurial initiatives.*

**Keywords:** EU Critical Raw Materials Regulation, critical raw materials, mineral wealth register, extraction waste, UNFC, regulation



## Bevezetés

Az EU 2008 óta foglalkozik kiemelten az európai országok és az EU-val kereskedelmi kapcsolatban levő más országok kritikus nyersanyagainak helyzetével. 2024. május 3-án megjelent az Európai Parlament és Tanács 2024/1252. számú rendelete (Critical Raw Materials Act, továbbiakban CRMA) [1]. A CRMA az egységes piac és az EU külső partnerségeinek erősségeit és lehetőségeit hasznosítja az EU kritikus nyersanyagellátási láncainak diverzifikálása és ellenálló képességének fokozása érdekében. Emellett javítja az EU kapacitását a zavarok kockázatainak nyomon követésére és csökkentésére, valamint fokozza a körforgást és a fenntarthatóságot [2]. Az Európai Bizottság 2020. évi előrejelzése [3] szerint a kritikus nyersanyagok iránti kereslet drasztikusan megnő, Európa nagymértékben függ az importtól, gyakran kvázi monopolhelyzetű harmadik országbeli beszállítóktól (pl. Kína). Az EU-nak mérsékelnie kell az ellátási láncok ilyen stratégiai függőségeihez kapcsolódó kockázatait. A legutolsó lista 34 kritikus és stratégiai nyersanyagfajtát említ. A háttérben az áll, hogy a kritikus fontosságú nyersanyagok gyakran nélkülözhetetlenek, számos stratégiai ágazat számára (többek között az elektromosautó- és akkumulátorgyártás, a megújuló energiaágazat, a digitális ipar, robotika, telekommunikáció, az űr- és védelmi, illetve egészségügyi ágazat). A cikkünkben röviden bemutatjuk a CRMA célját, felépítését másrészt rövid áttekintést adunk a vonatkozó hazai ásványvagyon helyzetképéről.

## A CRMA célja és felépítése

A CRMA célja a kritikus fontosságú nyersanyagok európai ellátási láncának megerősítése, az uniós behozatalának diverzifikálása a stratégiai függőségek csökkentésével, az ellátásban bekövetkező zavarok jelenlegi és jövőbeli kockázatainak nyomon követése és csökkentését célzó uniós kapacitás javítása, e nyersanyagok szabad mozgásának szavatolása az egységes piacon a környezetvédelem magas szintjének biztosítása mellett, azok körforgásos jellegének és fenntarthatóságának javítása révén.

A CRMA felépítésében követi a hasonló EU-s joganyagok szerkezetét. Az általános rendelkezések és a fogalom meghatározása után a kritikus és stratégiai fontosságú nyersanyagok felsorolását és az intézkedések hatályát tartalmazza. Megtalálhatók a CRMA-ban a stratégiai fontosságú nyersanyagprojektek kiválasztásával, finanszírozásával kapcsolatos rendelkezések. A CRMA kitér a kritikus fontosságú nyersanyagok ellátási láncainak összehangolt nyomon követésére, illetve a stratégiai fontosságú nyersanyagok stratégiai készletei összehangolásának ellenőrzésére. Rendelkezések olvashatók a piacai körforgásos

jelleg és a környezeti lábnyom csökkentésére. Fontos a harmadik országokkal folytatott stratégiai partnerség azonosítása és az együttműködési keret meghatározása. A szöveges részt hat részletező melléklet egészíti ki.

A Bizottság pénzügyi forrást is biztosít a kritikus fontosságú nyersanyagok értéklánca területén megvalósított projekteknek az Európai Nyersanyag-szövetség (European Raw Materials Alliance, a továbbiakban ERMA) [4] támogatásával.

A szabályozási rendszerrel kapcsolatban a CRMA konkrét engedélyezés könnyítő vagy eljárástechnikai módszereket nem ír elő, sokkal inkább olyan általános szempontokat, illetve kötelezettségeket nevesít, amelyekkel kapcsolatban a tagországok hatóságainak kell a saját szabályozási rendszerüknek megfelelően intézkedéseket hozniuk a CRMA-ban foglalt célértékek határidőre történő elérése céljából. A CRMA túlmutat a kitermelő iparon, rendelkezik a feldolgozó és újrahasznosító ipar terén is a célok elérése érdekében. E cikkben elsősorban az ásványvagyongazdálkodást érintő témaköröket választottuk ki.

## Stratégiai projektként való elismerés kérelmezése és engedélyeztetése

A stratégiai projektek közérdekűnek tekintendők, mert a stratégiai fontosságú nyersanyagok ellátásbiztonságának garantálása döntő jelentőségű. A nyersanyagprojektek elismerését stratégiai projektként a projektgazdának kell kérelmeznie a Bizottságnál. Az uniós jogban előírt kötelezettségek sérelme nélkül az Unión belüli stratégiai projekteknek a lehető legnagyobb nemzeti jelentőségű státuszt kell biztosítani, és azokat az engedélyezési eljárások során ennek megfelelően kell kezelni. A tagállamoknak ésszerűsített és kiszámítható engedélyezési eljárást kell alkalmazniuk a stratégiai projektekre. E célból a stratégiai projekteknek nemzeti szinten elsőbbségi státuszt kell adni, ezáltal biztosítva a gyors adminisztratív ügyintézés és sürgősségi eljárást. A tagországi teljes engedélyeztetés a kitermeléssel járó stratégiai projektek esetében nem lehet több, mint 27 hónap, a feldolgozással vagy újrafeldolgozással járó stratégiai projektek esetében pedig 15 hónap a határidő (CRMA 11. cikk, 1. bekezdés).

## Nemzeti feltárási programok

A CRMA 5. szakaszának 19. cikke szól a nemzeti feltárási programokkal kapcsolatos kötelezettségekről.

2025. május 24-ig minden tagállam kidolgoz egy, a kritikus fontosságú nyersanyagok és azok hordozó ásványai általános feltárására vonatkozó nemzeti programot. E nemzeti programokat legalább öt évente felül kell vizsgálni, és szükség esetén aktualizálni kell. Ezeknek tartalmazniuk kell az Unió kritikus

fontosságú nyersanyagainak lelőhelyeire vonatkozó, rendelkezésre álló információk gyarapítását célzó intézkedéseket. Ilyen intézkedések többek között a kritikus fontosságú ásványi nyersanyagok megfelelő léptékű feltérképezése. A tagállamok nyilvános, szabadon hozzáférhető weboldalon térképeket tesznek hozzáférhetővé a kritikus fontosságú nyersanyagokat tartalmazó ásványanyag-lelőhelyekre vonatkozó alapinformációkkal.

### Adatbázisok

A CRMA több cikkben rendelkezik a nemzeti adatbázisok létrehozásáról. Az ilyen adatbázis tartalmazza majd a hasznosítás előmozdítása szempontjából releváns összes információt, különösen az ásványi nyersanyag-kitermelésből származó hulladékot kezelő létesítményben található kritikus fontosságú nyersanyagok mennyiségét és koncentrációját. Az információkat nyilvánosan hozzáférhetővé kell tenni. Az adatbázist úgy kell kialakítani, hogy a lehetséges projektgazdák könnyen azonosíthassák azokat a létesítményeket, amelyek a gazdaságilag életképes, hasznosítás szempontjából jelentős potenciállal rendelkeznek. A CRMA 19. cikke szerint a tagországok földtani intézeteit vagy az általános feltárásért felelős illetékes nemzeti hatóságait tömörítő, kritikus fontosságú nyersanyagokkal foglalkozó európai testület állandó alcsoportja megvitatja többek között a nemzeti programok eredményeinek tárolására szolgáló integrált adatbázis létrehozásának lehetőségét. Ezenkívül a tagállamoknak 2027 végéig intézkedéseket kell elfogadniuk a kritikus fontosságú nyersanyagok ásványi nyersanyag-kitermelésből származó, hulladékból történő hasznosításának előmozdítása érdekében.

### Hazai lehetőségek feltárása és feladatok a kritikus és stratégiai fémek csoportjában

#### Ásványvagyon-nyilvántartás

Számos elsődleges ásványi nyersanyagról, illetve potenciális másodlagos nyersanyagként értelmezhető bányászati hulladékról létezik állami nyilvántartás, azonban az EU-s kritikus fontosságú nyersanyaglista összes elemére nincs adat, így nyilvántartott vagyon sincs.

Hazai viszonylatban elsősorban a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóság (SZTFH) Országos Bányakapitányságának ásványvagyon-nyilvántartása meghatározó szerepet tölt be mint szükséges adatbázis. Az SZTFH az illetékes, az ásványvagyonról, annak minőségi és mennyiségi változásáról mérlegszerű nyilvántartást vezet a jogelődjei révén 1953 óta [5]. Ez a mérlegszerű nyilvántartás a kutatási zárójelentéseket elfogadó és bányabezárásra vonatkozó hatósági határozatokon, illetve az ásványvagyon

mennyiségében és minőségében bekövetkezett évenkénti változásokra (termelés, kutatás, átminősítés stb.) vonatkozó kötelező bányavállalkozói adatszolgáltatáson alapul. Ebben az alábbi gazdaságilag számottevő nyersanyagok szerepelnek.

*Bauxit:* 256 lelőhely (kb. 1600 készletszámítási tömb) nagyrészt a Dunántúli-középhegységben és környezetében, 79,8 millió tonna összesített kitermelhető vagyonnal. A 3/2023. (II. 8.) SZTFH rendelet kivette a bauxitot koncesszióköteles nyersanyagok közül, ami elősegítheti a bauxitok kutatását és kitermelését. Külön említendő egyes bauxitok ritkaföldfém-, kobalt-, galliumtartalma [6].

*Barit:* Két – részben leművelt – lelőhely Rudabányai-hegységből. A kitermelést a rudabányai vassércbánya végezte az 1980-as évekig. A visszamaradt összvagyon a nyilvántartások szerint 21,5 millió m<sup>3</sup>. Legutóbb 2016-ban indult egy kutatás, amelynek eredményeként 2021-ben a bányavállalkozó kutatási zárójelentést nyújtott be, amelyet a Bányafelügyelet elfogadott. Jelenleg bányatelek-megállapítási eljárás folyik.

*Kokszolható szén (fekete kőszén):* 20 lelőhely (több mint 1100 készletszámítási tömb) szerepel az ásványvagyon-nyilvántartásban, valamennyi a Kelet-Mecsekben. A nyilvántartott kitermelhető vagyon 1915,3 millió tonna. Ennek bizonyos hányada kokszolható minőségű. Jelenleg a felszíntől mért 200 méteres mélységig az előfordulás nem minősül zártnak, tehát nem szükséges koncesszió kiírása a kutatásához. Helyenként jelentős a kritikuselem-tartalma is (ritkaföldfémek, Nb, Ta, Hf, Be, Ge, Ga) [7] Jelenleg csak a Pécs-Vasas bányában termelnek évi néhány ezer tonnát.

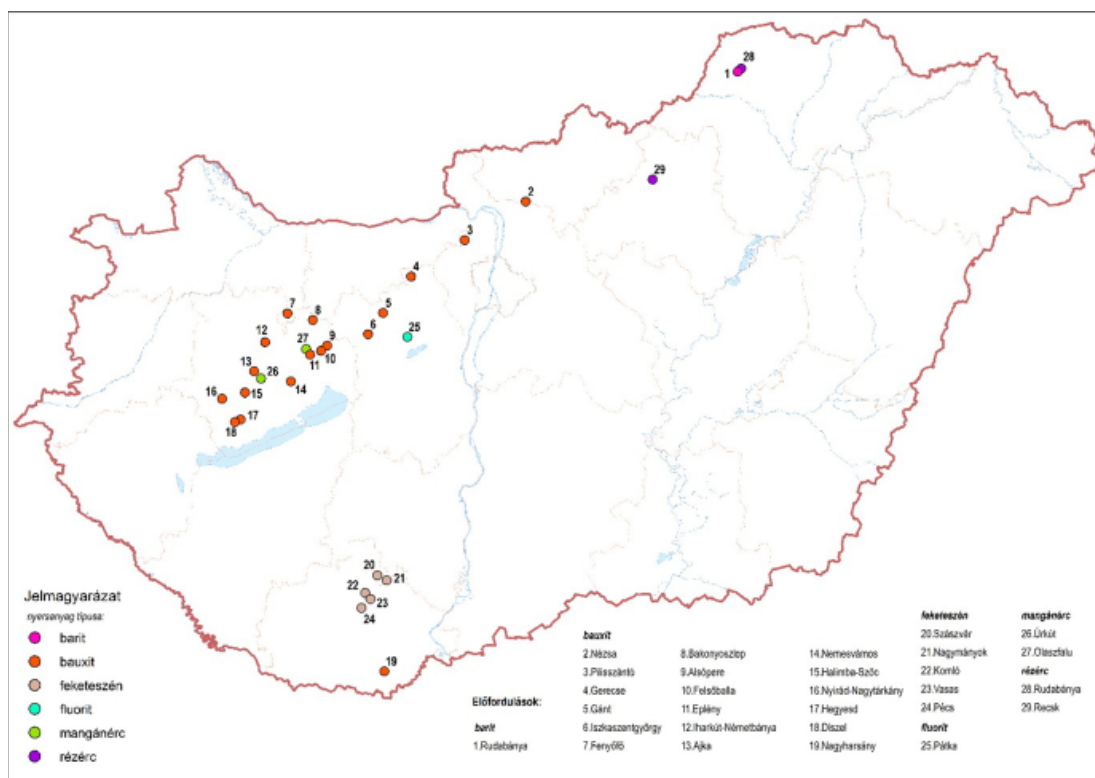
*Réz:* Az ásványvagyon-nyilvántartásban 5 rézérc-lelőhely szerepel Recsk és Rudabánya térségében 726,5 millió tonna összesített kitermelhető vagyonnal. Ezek európai viszonylatban is a jelentősebbek közé tartoznak. 2016-ban elkészült a „Recsk II. rézérc koncesszióra javasolt terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentése”, koncessziós pályázati kiírások eddig nem eredményeztek megvalósuló befektetést. Az előfordulás együttes számos kritikus nyersanyagnak minősülő egyéb elemdúsulást tartalmaz (például Re, Sb, As, Co, W platinafémek) [8], ezek eloszlása és értéke nem ismert.

*Mangán:* Hat mangánérclelőhely (112 készletszámítási tömb) szerepel az ásványvagyon-nyilvántartásban, a Bakony területén. Az összes kitermelhető mangánércvagyon 51,98 millió tonna. Az eplényi bánya az 1970-es évekre nagyrészt kimerült, a 2016-ban bezárt úrkúti bánya területén azonban számottevő vagyon maradt vissza. Mindegyik lelőhelyen komoly, de nem kutatott elemdúsulás is kapcsolódik a mangánérccekhez (pl. ritkaföldfémek, kobalt).

*Hazai földtani szolgálati és egyetemi kutatási eredmények*

Az SZTFH földtani-geofizikai kutatást végző jogelődjei (MÁFI, ELGI, MFGI) együttműködve a bányafelügyeleti jogelőddel (MBFH), majd integráltan az MBFSZ keretei között 2014 óta folyamatosan vizsgálják a hazai ritkaföldfém-, majd kritikusnyersanyag-potenciált. Az SZTFH-ban a Földtani Szolgálat folytatja ezt a munkát. Elsősorban bezárt ércbányák ércmintáinak, illetve meddőhányók, zagyatározók geokémiai vizsgálata történt meg, de egyéb, a kritikus fontosságú nyersanyagokhoz kapcsolódó indikációról is újabb eredményeket sikerült kimutatni. 2014-től fontosabb kutatási területek: Eplény (nem dúsítható oxidos mangánérc és karbonátos mangánérc), Gyöngyösoroszi (ólom-cinkérc), Recsk-Lejtakna (enargitos rézérc), Recsk-Lahóca (nemesfémérc), Rudabánya (pátvasérc, barnavasérc és ankerit), Pátka (ólom-cinkérc), Martonyi (vasérc), Cserszegtomaj (pirit), Balaton-felvidék–Bakonyalja (vörösgyagy), Bükkalja (homokminták), Gyöngyösoroszi érc, Bükkösd (homokbánya), Pécs-Nagyárpád (felhagyott homokbánya Zr-Ti-RFF pozitív anomáliákkal, Egyházasgergei Homok Formáció, Tari Dácittufa limonitosodott részei, Nógrád és Borsod-Abaúj-Zemplén megyei fiatal homokok, illetve a karancsi andezitbánya hidrotermás eredetű ólom-cink érc telérjeinek és meddőjének ezüst-, kadmium- és antimon-dúsulásai. 2019-ben a nagy-

börzsönyi ércesedés archív mintáinak mikroszkópos leírása, röntgendiffrakciós, ICP OES- és ICP MS-vizsgálatai készültek el. 2021-ben részletes átfogó helyzetkép készült el a hazai kritikus nyersanyagokról. 2022-ben a vizsgálatok igazolták a Mecsek-alja-zóna kistekély metamorf ércesedését és az annak lepusztulásából keletkezett recens torlatos arany-előfordulásokat a K-Mecsekben. A miocén törmelékes kavicsanyag érces mintáiban a Bi és az Au termésként és önálló fázisokként van jelen. A Mecsek-alja-zóna metamorfítjaiban a Ti és Zr mennyisége kimagasló, valamint enyhébb Ga-, Ni- és RFF-dúsulás is jellemző. A Tokaj-hegységi lítiummérések közül a Rátka és Mád közötti tavi üledékekben sikerült kimutatni bízhatóan magas értékeket. A recski archív minták vizsgálata szerint a Lahóca-Lejtakna ércesedése nyomelemekben gazdagabbnak tűnik, de a mélyszinten is vannak bízható jelek egyes elemek esetében (Se, Li, Mo). A szarvaskői érceperidotit-minták újvizsgálata az archív Ti- és V-elemzések megbízhatóságát demonstrálta. 2023-ban mintegy 100 Tokaj-hegységéből származó minta elemzése alapján a legnagyobb lítiumkoncentrációt az egyik erdőbényei fúrásban mérték (Erdőbénye-165). A fúrásban vizsgált tavi törmelékes-vulkáni összlet lítiumtartalma a fúrás alja felé egyértelműen növekszik, amiért a terület perspektivikusnak tűnik. A jövőben mélyebb fúrások archív anyagának mérésével ellenőrizhető az itt kapott tendencia és az, hogy a mélység



**1. ábra.** Kritikus fontosságú nyersanyag-tartalmú ásványi nyersanyag-előfordulások az ásványvagyonnyilvántartás szerint (SZTFH-adatok, készítette: Barczikayné Szeiler Rita)

felé további növekedéssel a lítium eléri-e a gazdasági szempontból is érdekes koncentrációt.

Részletesebb eredmények az SZTFH és jogelődjeinek Adattárában található éves jelentésekben olvashatók (2014–2022), illetve a legutolsó jelentésben [9]. Kritikus fontosságú nyersanyagokkal kapcsolatos előfordulásokat az 1. ábra mutatja.

#### *Kritikus nyersanyagok alapkutatása (Critical) program*

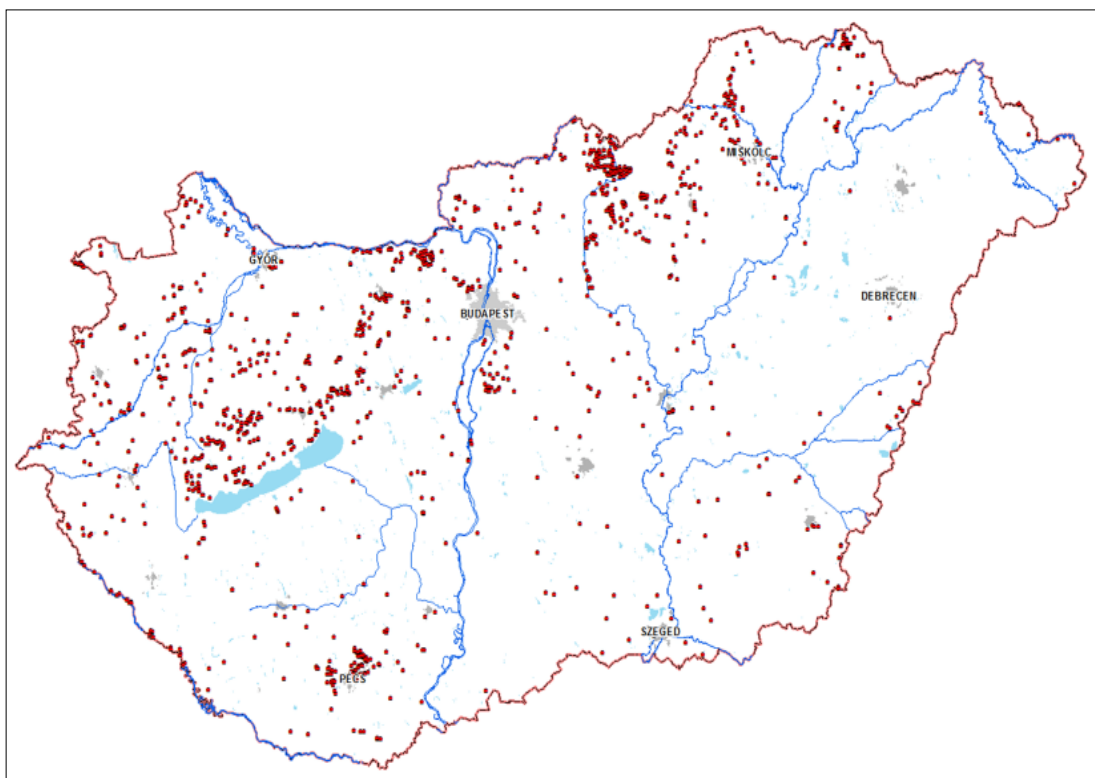
A hazai lehetőségek felmérésében a szakmai szolgálatok mellett a Miskolci Egyetem 2012–2014 között futott Critical programja tette meg az első lépéseket az elsődleges és másodlagos források alapkutatás jellegű vizsgálatával, melynek eredményeit egy 10 kötetes monográfiásorozat foglalja össze [10]. Számos egyéb kritikus nyersanyag jelenléte ismert a határainkon belül, de ásványvagyonbecslésre alkalmas kutatási adatok nincsenek. Ilyen például berillium, fluorit, gallium, germánium, kobalt, ritkaföldfémek, grafit, foszfátok. Ezek megismerésére korábban felmérés készült.

Az akkor 14 nyersanyagra kiterjedő felmérés jelenlegi 34 kritikus és stratégiai nyersanyagok földtani lehetőségeinek számbavételére törekvő felbővítésében a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Kara Természeti Erőforrások Kutatása és Hasznosítása Szakkollégium tagjai 2023 óta tevékenykednek [11–13].

#### **Potenciális másodlagos nyersanyagok: bányászati hulladékok**

A SZTFH bányafelügyeleti (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, röviden: MBFH) és földtani (Magyar Állami Földtani Intézet, MÁFI), illetve geofizikai (Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, röviden ELGI) kutatási jogelődjeinek együttműködése keretében – a 2006/21 Bányászati Hulladék Direktíva implementációja nyomán – 2011-ben elkészült a bezárt bányászati hulladékkezelő létesítmények nyilvántartása (BHKL), amelyet jelenleg az SZTFH Földtani Szolgálat szervezeti egysége vezet [14]. Ez a nyilvántartás bár a meddők és zagytározók környezeti kockázatának besorolása céljából készült, a Földtani Szolgálat éves projektjeinek köszönhetően folyamatosan olyan adattartalommal bővül, amely a kritikus fontosságú nyersanyag-potenciál azonosítására alkalmas lehet.

A nyilvántartás 1217 objektumot tartalmaz, 313 objektum geokémiai elemzésével, amelyeket elsősorban környezeti kockázat értékelési céllal gyűjtöttek össze. A kritikus fontosságú nyersanyagokkal összefüggésbe hozható elemzések száma ~5000. Mintegy 30 objektum ismert a nyilvántartás szerint, ahol kritikus fontosságú nyersanyag van jelen. A BHKL nyilvántartásához kapcsolódó geokémiai adatbázis lekérdezőfelületén, a nehézfémek, ritkafémek és a kritikus elemek adatai találhatóak. A nyilvántartott objektumokat a 2. ábra mutatja.



2. ábra. Bányászati hulladékkezelő létesítmények a BHKL nyilvántartása szerint (Kiss János)

Az SZTFH részt vesz a „Geológiai Szolgáltatások” c. EU-s projektben (101075609-GSEU-HORIZON-CL5-2021-D2-02), amely az európai földi erőforrások korszerű rendszerezésével foglalkozik, illetve támogatja a CRMA EU-tagországi végrehajtását. Az SZTFH szakemberei jelenleg 5 objektummal foglalkoznak a bezárt hulladékkezelő létesítmények közül, melyek között van erőművi pernye-, titán-, cirkónium- és galliumtartalommal, mangánbánya meddőhányó mangán-, ritkaföld- és kobalttartalommal, illetve a bauxit feldolgozása során képződött 3 vörösiszap-tározó ritkaföldfém-, továbbá titán- és galliumtartalommal.

### A hazai szabályozás és a CRMA viszonya

A CRMA rendeletként általános hatállyal bír anélkül, hogy át kellene ültetni a nemzeti jogba. Emellett, a konkrét jogszabály-összehasonlításnál és -alkalmazásnál felmerülhetnek olyan kérdések, amelyek vonatkozhatnak többek között a jogszabály építőkövét alkotó fogalmakra, vagy a CRMA-ban előírt eljárásügyi kötelezettségekre.

Az CRMA több cikkében határozza meg, hogy a stratégiai projekteket az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága (UNECE) által készített Erőforrás Osztályozási Keretrendszer (UNFC 2019) [15] szerint kell értékelni, de ennek használatát a tagországokra bízta. A hazai „ásványvagyon” és „ásványkészlet” fogalmak harmonizáltak a CRIRSCO (2019) [16] fogalmakkal, illetve a legfontosabb UNFC osztályozási kategóriákkal megtalálhatók a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól szóló 20/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet 1. mellékletében.

A „Stratégiai jelentőségű nyersanyag” kifejezés a Kormány 402/2021. (VII. 8.) Korm. rendeletében [17] szerepel. E rendelet 1. melléklete 16féle termékcsoporthoz azonosít, amelyek különböző építőipari ásványi nyersanyagokat (pl. kvarchomok, kavics, zúzottkő) és sokféle építőiparban stratégiai fontosságú egyéb terméket tartalmaznak (pl. vas és acél anyagú termékek, illetve ezek hulladékai). Amennyiben stratégiai fontosságúvá válnak a CRMA-ban szereplő kritikus fontosságú nyersanyagok, a hazai ásványi nyersanyagok és potenciális másodnyersanyagok (meddő, zagytározók, erőművi pernye) részletesebb kutatása, illetve innovatív technológiával a hasznosítása támogatja az iparstratégiai megfontolásokat is (pl. akkumulátorgyártás). Ez nincs összhangban az EU 2023. évi listájával, e téren harmonizációra van szükség.

Magyarországon a zárt területté nyilvánításról szóló 3/2023. (II. 8.) SZTFH-rendelet [18] szerint 1. § (1) bekezdés szerinti ásványi nyersanyagokra „zárt terület” Magyarország területe. Ezek az ásványi nyersanyagok a következők: szénhidrogének, ér-

cek (a bauxit kivételével), kőszenek. Szilárd ásványi nyersanyagok vonatkozásában egyes lignit- és lignit II.- (ortho-lignit) előfordulások (pl. Nógrád és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye közigazgatási területén található lignitek a természetes felszíntől mért 200 méteres mélységig terjedő földkéregregrészen) nem minősülnek zárt területnek. Áttekintésre érdemes, hogy a jelenlegi szabályozás keretei között hogyan lehet könnyíteni és ösztönözni a kritikus fontosságú nyersanyagok kutatását, illetve kitermelését, majd hasznosítását összhangban a CRMA célkitűzéseivel.

### A hazai kritikus ásványi nyersanyagok telepeinek feltárása

Számos gazdaságosnak ígérkező lehetőség körvonalazódott az előzetes vizsgálatok során. Ezek valóra váltásához kutatási befektetések szükségesek, részben az állam, részben hazai vagy külföldi befektetők részéről. A magas kockázati szint csak magas elérhető nyereség lehetőségével kompenzálható, ehhez földtani ismeretesség mellett kedvező gazdasági és jogi környezet megteremtése szükséges. Az Európai Újjáépítési és Fejlesztési Bank (EBRD) tőkebefektetési programmal segíti kritikus fontosságú ásványi nyersanyagokra irányuló földtani kutatásokat, illetve a bányászati-technológiai értékelést [19].

### Összefoglalás

A 2024. május 23-tól hatályos Kritikus Nyersanyag Rendelet (CRMA) előtérbe helyezi a kritikus fontosságú nyersanyagokkal kapcsolatos gazdálkodást a kitermelőipartól a feldolgozáson keresztül az újrahasznosításig.

A CRMA rendelkezései szerint fokozódni fog az együttműködés az EU felelős testületei és az tagországok nyersanyagokért felelős minisztériumai, hatóságai, földtani szolgálatai között, amelynek keretében tapasztalatmegosztásra és a földtani, illetve kritikus fontosságú nyersanyagok részletesebb kutatásával, továbbá kitermelésével kapcsolatos lehetőségek is feltárhatók lesznek. Az egyetemekre is fontos szerep hárul a hazai és nemzetközi kutatások révén a döntés-előkészítő anyagok készítésében, illetve az innováció támogatásában az ipari szereplők részére.

Az SZTFH is részt vesz a CRMA végrehajtásának támogatásában a „Földtani Szolgáltatások Eurónak” c. EuroGeoSurveys projekttel, amely 2022–2027 között fogja össze a felelős európai hatóságok munkáját. A Miskolci Egyetem is több mint 10 éve foglalkozik a kritikus fontosságú nyersanyagok kutatásával, ami hozzáadott értéket jelent a CRMA végrehajtásához.

A hazai kritikus fontosságú nyersanyag-potenciál megítélése több oldalról közelíthető, és sokrétű feladat lenne, de a bemutatott ásványvagyon-nyilvántar-

tásban szereplő közel 400 lelőhely, a bezárt bányászati hulladék-nyilvántartásban szereplő, kritikus fontosságú nyersanyagokkal összefüggésbe hozható mintegy 30 objektum (fekete kőszén, mangán, színes érc, barit), az egyéb, kutatások tárgyát képező területekkel együtt jól szemléltethetik, hogy sok kritikus fontosságú nyersanyagot tartalmazó vagy potenciálisan tartalmazó terület ismert. Mivel a korszerű ásványvagyon-gazdálkodásban nemcsak a földtani adottságok és a hasznosanyag koncentrációjának ismerete szükséges, hanem gazdasági, technológiai, környezetvédelmi, továbbá társadalmi tényezők figyelembevétele is, a kritikus fontosságú nyersanyagokkal való gazdálkodás stratégiai szemléletű komplex megközelítést igényel. Ehhez jó alapot biztosítanak az ásványvagyon-gazdálkodás szabályozási környezetének hatályos joganyagai, de szükséges a környezetgazdálkodást, természetvédelmet, területfejlesztést is érintő szabályozás figyelembevétele is. Ösztönzésekkel és erőforrásokkal lehet erősíteni a kutatást a későbbi kitermelési és hasznosítási lehetőségek felmérése érdekében. A már ismert nyersanyag-indikációk alapján kimondható, hogy a kritikus ásványi nyersanyagokkal nem pusztán az EU-s törvényi megfelelés miatt, de alapvető társadalmi érdekek megvalósulása érdekében is érdemes foglalkozni.

## Irodalom

- [1] [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401252](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252)
- [2] [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_1661](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661)
- [3] [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs\\_for\\_Strategic\\_Technologies\\_and\\_Sectors\\_in\\_the\\_EU\\_2020.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf)
- [4] <https://erma.eu/>
- [5] <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas>
- [6] Szabó Cs., Má dai V., Márkus I. (2014): Ritkaföldfémek dunántáli bauxitjainkban. In: Szakáll S. (szerk.) Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben. Criticel Monográfia sorozat 5. Milagrossa, Miskolc, pp. 131–158.
- [7] Horváth R. (2014): Mecseki feketekőszénekhez köthető ritkaföldfém anomáliák. In: Szakáll S. (szerk.) Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben. Criticel Monográfia sorozat 5. Milagrossa, Miskolc, pp. 159–170.
- [8] Földessy J. (szerk.) (2014): Basic research of the strategic raw materials in Hungary. 159 p. Criticel Monográfia sorozat 10. Milagrossa, Miskolc.
- [9] Török K. (2023): 2023. Éves zárójelentés I. Kritikus ásványi nyersanyag potenciál (például ritkaföldfémek, lítium) vizsgálata. SZTFH Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest, 324 p.
- [10] [https://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/?p=criticel\\_monografia\\_sorozat](https://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/?p=criticel_monografia_sorozat)
- [11] Földessy J., Má dai F. (2023): Bevezető egy új sorozathoz: Kritikus és stratégiai nyersanyagok az Európai Unióban és Magyarországon – multimédia-adatgyűjtemény építése a Miskolci Egyetemen. OMBKE Bányászati és Kohászati Lapok 156, 25–30.
- [12] Badawi Mohamed, Leskóné Majoros Livia, Evane César João de Cuiña, Elyas Haddad, Ahmad Saifo, Samuel Ayipa Arthur, Rayhan Aldizan Farrenzo, Földessy János (2024): A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből 1. Az akkumulátorgyártáshoz használt kritikus ásványi nyersanyagok rövid áttekintése. OMBKE Bányászati és Kohászati Lapok 157/1, 31–40.
- [13] Balassa Csilla, Pataky Csilla, Antal Krisztián, Tátrai Csaba, Gyenes Iván, Eteraf Hasan, Földessy János (2024): Critical Raw Materials Hungary Data Collection 2. Minor element enrichments in certain sedimentary mineral formations. OMBKE Bányászati és Kohászati Lapok 157/2, 25–31.
- [14] Kiss János (2023): <https://www.mbfisz.gov.hu/en/hatosagi-ugyek/nyilvantartasok/bezart-banyaszati-hulladakezelelo> [Benne linkelve: Kiss és Jordán (2020): Inventory and risk classification of closed mine waste facilities for Hungary (Version №4), valamint KML állományok]
- [15] United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2019. United Nations Publication, ECE Energy Series 61., Geneva, United Nations. 20 p. Online: [https://unece.org/sites/default/files/2023-10/UNFC\\_ES61\\_Update\\_2019.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2023-10/UNFC_ES61_Update_2019.pdf)
- [16] CRIRSCO Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards 2019. International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves, November 2019. 79 p. Online: <http://www.criresco.com>.
- [17] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2100402.kor>
- [18] <https://njt.hu/jogszabaly/2023-3-20-8K>
- [19] <https://www.ebrd.com/news/2024/ebrd-and-eu-to-mobilise-up-to-100-million-for-critical-raw-materials-investments.html>



## **BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK**

**Az Országos Magyar Bányászati és  
Kohászati Egyesület lapja  
ALAPÍTOTTA PÉCH ANTAL 1868-BAN**

*„Lektorált lap” – MTA Magyar Tudományos Művek Tára  
Indexeli az EBSCO Publishing, Inc.*

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI  **metso** KÉPVISELET



**3B Hungária Kft.**

H-8900 Zalaegerszeg, Wlassics Gyula u. 13. • Tel.: +36 92/549-033  
info@3bh.hu • www.3bh.hu

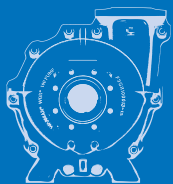


## **WEIR Minerals Sand Wash Plant**

A global market leader providing trusted technology and services  
which make your operations more productive and profitable



# Hat vezető iparági termék.



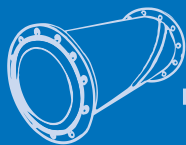
Warman®  
zagyszivattyúk

+



Cavex®  
hidrociklonok

+



Linatex®  
tömlők

+



Enduron®  
rosták

+



Linatex®  
gumi

+



Isogate®  
szelepek

=



## Egy Megbízható Forrás.

A Weir nagy szakértelemmel megtervezett homokmosó berendezései kis helyigényűek és a Weir saját világszínvonalú gépegységeiből épülnek fel melyek igen magas kopásállóságú anyagokból készülnek ezért hosszú élettartam mellett maximális kinyert hasznos homok mennyiséget garantálnak.

Mindez kiegészül a Weir elkötelezett terméktámogatás csapatával, projekt mérnökeivel, szervízálózatával, egyszerű kopóalkatrész hozzáféréssel nem csak Magyarországon, de a világ 170 pontján...

**A döntés az Ön kezében van.**

Tudjon meg többet weboldalunkon: [sandwashplant.weir](http://sandwashplant.weir)

Copyright © 2020, Weir Minerals Australia Limited. All rights reserved. 202003/AU1114

**WEHR**  
Minerals



# Különleges hulladékok feldolgozási lehetőségei a nagyolvasztóban

## Special waste processing profitabilities in the blast furnace

DR. HÁRI LÁSZLÓ, PHD  
nyug. okl. kohómérnök, Dunaújvárosi Egyetem  
E-mail: harilaszlo50@gmail.com



*A nyersvasgyártás során a több évszázada vasércből, salakképzők és kokszt segítségével folyékony nyersvasat állítanak elő. A nyersvasgyártás és általában a kohászat hőtechnikai szimulációs módszerei lehetővé teszik számos hulladék hasznosítása sikerességének előrejelzését. A kohászat eddig szűklátókörűen, általában a belső üzemi viszonyainak vizsgálatára alapozva élt a reciklási lehetőségeivel – az acélhulladék és a reve kivételével –, és többnyire eltekintett a gazdaság egyéb iparágaiban keletkező hulladékok felhasználásától. A publikáció négy nem vastartalmú, különlegesnek számító hulladék műszaki-gazdasági analizisét mutatja be, ezzel is kibővítve a vállalaton kívüli szférában keletkező hulladék, köztük a veszélyes hulladék nyersvasgyártásban való felhasználhatósági lehetőségét.*

**Kulcsszavak:** hulladék, azbeszt, üveg, magnezittégla

*For centuries, pig iron has been produced from iron ore using slag formers and coke to produce liquid pig iron. Thermal simulation methods of pig iron production and metallurgy in general make it possible to predict the success of the disposal or recovery of many wastes. So far, the metallurgy has made use of its recycling potential in a narrow way, generally based on an examination of its internal operating conditions, and has largely refrained from using waste from other industries in the economy, with the exception of steel scrap and steel scale.*

*The publication has taken advantage of this opportunity. The paper presents examples of the techno-economic analysis of four non-ferrous, so-called special wastes, thereby extending the scope of the potential of waste, including hazardous waste, from the external sector to the production of pig iron.*

**Keywords:** waste, asbestos, glass, magnesite bricks

### 1. Bevezetés

A nagyolvasztó hagyományos felhasználási helye a nagy vastartalmú, általában oxidos hulladékoknak, mint pl. a reve vagy a köszőrüiszap. Klasszikusan ide tartoznak az olyan belső hulladékok, mint a szál-lópor, a nedves porleválasztói iszapok vagy újabban a pácolósori savregenerációból származó vasoxid. Ezen anyagok Fe-tartalmával ferrumot lehet meg-takarítani, amivel csökkenthető a megvásárolt vasérc mennyisége. Nem tartozik a cikk témájához az acél-gyártás során reciklált fémes állapotú vas- és acél-hulladék.

A nyersvasgyártás nem fémes alapanyagai kö-zött hagyományosan a mészkő és a dolomit képezi a salakképzést magas CaO- és MgO-tartalmukkal. A

vertikumban keletkező, a salakképzéshez felhasználható hulladék mennyisége viszonylag csekély, viszont az ipar egyéb területein számos olyan hulladék van, melynek fő komponensei a nyersvasgyártási salak négy fő oxidjából állnak. Ezen anyagok bizonyos csoportjai szintén felhasználhatók.

### 2. A nagyolvasztói ártalmatlanításra szánt hulladékok jellemzése

Az alábbiakban az azbeszt, az üveg és a magnezittég-la hasznosításának műszaki-gazdasági feltételeit te-kintjük át. Magyarországon a különleges hulladékok nagyolvasztói kezelésére kevés példa van. Ennek oka a nyersvasgyártás stratégiai működtetése témájában kialakult hatósági és üzemi tanácstalanság.

Az 1945 óta inséges ércellátásától a 80-as évek közepéig áthúzódó egyre javuló betétviszonyok és az ezekkel járó egyre impozánsabb termelékenységi mutatók a 80-as, 90-es évek végére több középvezetőben azt a sarkalatos véleményt alakították ki, hogy „nincs szükség a szemétre a nyersvasgyártásban”. A szemétként aposztrofált hulladékok ebben az esetben az addig ismert olyan hulladékokat jelentették, mint például a kohászati vertikumokban képződő acélműi salak, forrasztósalak, halnai hulladékok, hengerműi reve vagy a külső források által kínált mész hulladék, galvániszap-hulladékok vagy bizonyos kommunális hulladékok. Ezeknek a betétanyagoknak az időnkénti kényszerű felhasználása, a többféle betét megjelenésével megnövelte a betét összegyűjtésének idejét és ingadozóvá tette a nyersvas minőségét. Az előbbi esetekben sokkal egyszerűbb volt az üzemeltetés oly módon, hogy évi egy vagy két, viszonylag nagy Fe-tartalmú ércfésülésből kialakított betéttel dolgozott a nagyolvasztó. A 80–90-es években már aktív szerepet játszó környezetvédelmi felügyelőségek szakismerte nem tette lehetővé az aktív szerepvállalást abban, hogy elősegítsék a különböző vállalatoknál keletkezett hulladékok más üzemekben történő feldolgozását. Mégis, a 90-es évektől a vállalkozói kapcsolatok fejlődésével egyre közismertebbek lettek a különböző termelői helyeken képződő hulladékmennyiségek, illetve ezek minősége, és országszerte elfogadottá vált az az elv, hogy „a hulladék nem szemét, hanem másodnyersanyag”. A másodnyersanyag a hulladék újrahasznosítása során keletkező olyan nyersanyag, amelyből új termék állítható elő. Előnye, hogy csökkenti a kitermelt természetes, elsődleges erőforrások mennyiségét, így a kitermelés okozta környezetszennyezést, nem okoz tájsebeket, és általában az is igaz, hogy a másodnyersanyagból energiatakarékosabban és olcsóbban lehet a készterméket előállítani. A másodnyersanyagok hasznosításában a nyersvasgyártásnak kiemelt szerepe lehet. Az alábbiakban vizsgált négy anyag is ilyen lehetőségeket kínál.

### 2.1. Az azbeszttermékek vizsgálata

Az azbesztásványok többféle változata két nagy csoportba sorolható: a szerpentinek csoportja lemezszilikátokat képez, az amfiból-azbesztek pedig a láncszilikátok csoportjába tartoznak.

- A legismertebb szerpentinásvány a *krizotil*, más néven *fehér azbeszt*. Képlete  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , (vagy  $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ ). Könnyű, igen nagy finomságú szálakra osztható. A színe fehér, sötét, sárgás. A szál puha, simulékony, magas tépőszilárdsággal rendelkezik, rugalmassága jó. Szövésre kiválóan alkalmas. A szerkezete kötegelt szálak (fibrillek), melyek rendkívül vékonyak (kb. 0,000015–0,00004

mm) és ezért csak elektronmikroszkóppal láthatók. Összehasonlításként az emberi haj kb. 0,04 mm vastagságú. A fibrillek üreges testű szálak, lúgálló képességük igen jó, a saválló képességük azonban gyenge.

- Az amfiból-azbesztek alkálimentes és alkáli-tartalmú fajtákra oszthatók. A *krokidolit* (kék azbeszt) képlete  $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  durva szálakból áll, szövésre kevésbé alkalmas. Az amozit (barna azbeszt) képlete  $(\text{Mg}, \text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ . A krokidolit kevésbé alkalmas szövésre, mint a krizotil, az amfiból-azbeszt többi fajtáját pedig csak mérsékelten vagy egyáltalán nem lehet szőni.

Az azbesztásványoknak alapvetően két ipari felhasználási formája van. A szórt vagy kis kötőanyag-tartalmú azbeszt 80–95%-ban tartalmaz azbesztásványokat. Szigetelésre, laboratóriumi felszereléseknél (azbesztháló), kályhák, radiátorok és kazánok környezetében azbesztlapként, továbbá fékpofákban alkalmazzzák.

Az azbesztcement 5–10% azbeszttet tartalmaz cementbe ágyazva, a cement rugalmasságát, stabilitását és kémiai ellenállását javítja. Leggyakoribb megjelenési formája a sík és hullámpala, valamint az eternitcső [1].

Az azbesztek további jellemző felhasználási területei a kábelek, épületek tűzvédelmi anyagai, védőruházat; kemencék, fűtőberendezések hőszigetelése; fűtőberendezéseknél és kocsik sebességváltója. Használták a tömítéseknel és súrlódó berendezéseknél, az elektromos berendezésekben szigetelésre, gyógyszeriparban korrózió elleni védelemre, radioaktív sugárzás elleni védelemre az atomiparban, a cementiparban rugalmasságot, stabilitást és kémiai ellenállást javító adaléknak. Az azbeszttartalmú termékek száma a világon a közelmúltban elérte a 3000-et. A világ azbeszttermelésének és felhasználásának 90%-át a krizotil teszi ki [1].

A felhasznált azbeszt különböző formái különböző mértékben bomlanak le (rostokra) és jutnak be a környezetbe.

A szórt azbeszt cementtel vagy vízüveggel van felületekhez kötve, a kötés hamar előregedik, a lemálló azbesztszálak már a szél hatására levegőbe kerülnek. Az azbesztcementben az ásvány jól megkötött formában van jelen. Az azbesztszálak csak az anyag szétmorzsolásakor kerülhetnek a levegőbe.

Közismert, hogy a 1997-ben több európai országban betiltották az azbeszt felhasználását, kereskedelmét. A végleges uniós tiltásra 2004-ben került sor. Magyarországon az azbeszttartalmú termékek veszélyes hulladéknak minősülnek, amelyeket csak szakvállalatok távolíthatnak el, illetve kezelhetnek.

Magyarországon 2005-ben elindult a Nemzeti Azbesztmentesítési Program, melynek keretében a hulladékok lerakása történik meg. A jelenlegi álláspont szerint a szórt azbeszt eltávolítandó, az eternittermek pedig csak csere vagy meghibásodás révén válnak veszélyes hulladékká.

Magyarországon, mint szerte a fejlett országokban, az azbeszttartalmú hulladék a veszélyes hulladékok csoportjába tartozik, és begyűjtése, szállítása, valamint feldolgozása felügyelőségi engedélyhez kötött.

## 2.2. Az üveghulladékok áttekintése

Az üveghulladékokról ismeretes, hogy azok a síküvegek és öblösüvegek használata közben keletkeznek. A csomagolási üvegek körforgására a betétdíj kezelése van a legnagyobb hatással, melynek révén a már használt üvegek a forgalmazóhoz kerülnek vissza. Az üveghulladékok egy része, színe szerint válogatva, a gyártókhöz kerül vissza. Bizonyos kis mennyiségű üveg veszélyes hulladékként a veszélyes hulladéklerakókba kerül. Ez a mennyiség potenciálisan a nagyolvasztókba, salakgyártásra felhasználható lenne, ha a többletsalak hasznosításából adódó bevétel fedezné a ráfordításokat. A nyersvasgyártásban általa nem takarítható meg egyéb alapanyag, sőt minden kg  $\text{SiO}_2$  nagyolvasztóba adagolása további 1,1 kg CaO beadagolását kíván meg. Az így keletkezett többletsalak megolvasztása további jelentős energiaráfordítást igényel. Ez a mellékjelenség már jól ismert volt a nyersvasgyártók részéről a nagy  $\text{SiO}_2$ -tartalmú ércek kohósításánál is, ezért nem meglepő, hogy általában a szakma sokáig idegenkedett a hulladékok felhasználásától.

## 2.3. Magnezittégla-hulladék

A magnezittégla-hulladék a vaskohászat tipikus belső hulladéka. Képződési helye az acélmű, ahol az üstök használt oldalfali béléséből képződik. Ugyanez érvényes a körkeverő bélésére is. Új állapotában a magnezittégla tiszta anyag, kb. 98%-ban MgO-ból áll. Ismeretes, hogy a salakzónában kátránnyal átítattott téglákat használnak, és az is, hogy a használat alatt a téglákba bediffundálnak a salak alkotói, ezért a használt téglák valamelyest dúsulnak Fe, Mn és Si elemekben. Ez nem akadályozza meg az anyagukban való hasznosítást. Magnezithulladék keletkezik a közbenső üstök maradék béléséből is. A nem szennyezett hulladéktéglák egyéb hasznosítási módja lehet az őrlést követően masszaként is. Az öntödékben az őrlött téglát Hadfield-acél gyártásához formázóanyagként is felhasználható. Nem utolsósorban az őrlött téglákat a kibocsátó acélmű is felhasználhatja salakképzőnek. A nyersvasgyártásban való alkalmazását lehetővé teszi, hogy a nagyolvasztói salakban MgO-hordozóként

használható fel, ami által a szokásosan használt dolumit kiváltható.

## 3. A hulladékok alapanyag-kiváltó képességének vizsgálata

Bármely hulladék nagyolvasztóban való felhasználása során az alábbi elvárásokat támasztja az átvevő:

1. A hasznosításra szánt hulladék fő komponense minél nagyobb mértékben mutasson hasonlóságot a nagyolvasztóban felhasznált ércek vagy salakképzők valamely komponensével, mivel ez képezi a felhasználás alapját.
2. A hulladék ne tartalmazzon a nyersvas minőségére káros elemeket (S, P).
3. A felhasználni kívánt hulladék kohósítása ne járjon nagy energiafelhasználással.
4. A hasznosításra szánt hulladék ne tartalmazzon a nagyolvasztó falzatának tartósságát csökkentő (pl. Na, K, Zn) vagy az egészségre káros komponenseket (pl. Pb, Ba). Az utóbbi csoportba tartoznak a radioaktív és a rákkeltő anyagok is.

A hulladékok hasznosítása során elvárjuk, hogy annak fő komponense nagyrészt egyezzen meg a felhasznált, azaz helyettesítendő ásványi alapanyagokéval, ugyanis ez képezi a helyettesítés alapját.

A nagyolvasztóban történő hulladékfelhasználás jellegzetessége, hogy a hulladékok és betétanyagok tömegcseréje azonos mennyiségű komponens (pl. CaO) hulladékkal való bevitelén és ugyanennyi, különféle egyéb betétanyagokban jelen levő komponensének az elegyből való kihagyásán alapul. Ez biztosítja, hogy az elegy kiválasztott komponensének összetétele nem változik.

A nyersvasgyártásban történő hulladékfelhasználás további sajátossága az, hogy a legfontosabb komponensmérlegek állandósága mellett nem biztosított az össztömeg állandósága sem, ami egyébként a hőegyensúly feltétele. Ebből következően, ha az egyéni tömegű hulladékkal kiváltott betétanyag tömege egynél kisebb és nagyobb is lehet, akkor a nagyolvasztóba adagolt koksztömegét is ennek megfelelően, a hőállapot egyensúlyának megőrzése érdekében változtatni kell.

A hulladékfelhasználás elvének fenti rövid felvázolása után érthető, hogy a hulladékfelhasználás tervezése, a hulladékkal kiváltott betétanyagok és salakképzők, valamint a koksztömegének meghatározása olyan anyag- és hőmérlegen alapuló modell kidolgozását igényli, mely biztosítani tudja a nagyolvasztó működéséhez elengedhetetlenül szükséges nyersvas- és salakösszetételt, valamint a hőegyensúlyt.

1. táblázat. A felhasznált és a helyettesített alapanyagok vegyi összetétele (m/m%)

| Anyag         | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | Egyéb |
|---------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-------|
| Eternit       | 3                              | 25               | 6                              | 55  | 7   | 3     |
| Szórt azbeszt | 1                              | 40               | 1                              | 10  | 37  | 11    |
| Üveg          | 0                              | 71               | 1                              | 16  | 0   | 12    |
| Magnezittégla | 2                              | 4                | 1                              | 1   | 90  | 2     |
| Mészke        | 1                              | 1                | 0                              | 54  | 1   | 43    |
| Dolomit       | 1                              | 1                | 0                              | 32  | 20  | 46    |

A hulladékok felhasználásának gazdasági feltevése az, hogy a felhasznált anyag átvételi díja és a többletsalak értékesítéséből származó árbevétel összege fedezze az olvasztási ráfordításokat és a hasznot. Az olvasztási ráfordítások alatt elsősorban a tüzelőanyag-költségeket kell érteni, másrészt az anyagcserék miatti a költségek eredőjét. Ez utóbbi az alapanyag-helyettesítés révén akár pozitív szaldójú is lehet. Ha a hulladék bevétele csak kismértékű helyettesítéssel vagy egyenesen jelentős többletráfordítással jár, akkor az anyagcserék általában negatív szaldójúak.

Az alábbiakban áttekintjük azokat a származtatott alapanyag- és hulladékjellemzőket, melyek alapján hozzávetőleg megítélhetők a hulladékbevitelnek köszönhető cserearányok. Ennek alapvető feltétele a kémiai összetétel ismerete. Ezt mutatja az 1. táblázat.

Az elővizsgálatokat a következő nagyolvasztói salakkritériumok alapján végezzük:

- A salak bázikusága (B): CaO/SiO<sub>2</sub> = 1,1
- A salak MgO-tartalma: MgO = 10%

Az alábbiakban mindegyik anyagra kiszámoljuk az ún. szabad CaO- és a szabad MgO-tartalmat, mely a helyettesítés nettó igényét és kapacitását mutatja. Ennek képlete:

$$\text{CaO}^* = \text{CaO}\% - B \cdot \text{SiO}_2\%, \quad (1)$$

$$\text{MgO}^* = \text{MgO}\% - s \cdot \text{MgO}_{\text{sal}}\%. \quad (2)$$

A fenti képletekben a *B* a nagyolvasztósalak bázikuságát jelenti, az *s* pedig az 1 kg hulladékból keletkező kohósalak tömegét.

A pozitív CaO\* a hulladékban CaO-felesleget jelent, mely előrevetíti az elérhető mészke-megtakarítás lehetőségét, ugyanakkor pl. a negatív MgO\* MgO-hiányra utal, mely adott esetben dolomitpótlással biztosítható.

A továbbiakban meghatározzuk az egyes hulladékok mészke- és dolomithelyettesítő képességét. A legegyszerűbb esetben az *i* hulladékkal kiváltott mészke-megtakarítás az alábbi képlettel számítható, pl. eternithulladék esetére:

$$\Delta M_{(\text{eternit})} = \frac{\text{CaO}_i^*}{\text{CaO}_M^*} = \frac{28}{53} = 0,528.$$

A dolomitmegtakarítás 1 kg eternithulladék felhasználásakor a fenti esettel analóg módon:

$$\Delta D_{(\text{eternit})} = \frac{\text{MgO}_i^*}{\text{MgO}_D^*} = \frac{-3}{15} = -0,20.$$

A helyzet bonyolultságát mutatja, hogy a dolomit CaO-tartalma miatt a mészke- és dolomitmegtakarítás számítása összefüggő rendszert képez, ezért az iménti egyváltozós modell helyett minimum kétváltozós, vagyis egy, az CaO\*-ot és egy MgO\*-ot tartalmazó egyenletrendszerrel kell számolni. Ennek alapján az egy kg eternithulladékkal megtakarított mészke és dolomit mennyiségét a következő egyenletrendszer adja:

$$\text{CaO}_{\text{eternit}}^* = \Delta M \cdot \text{CaO}_M^* + \Delta D \cdot \text{CaO}_D^*,$$

2. táblázat. Az egyes hulladékok szabad CaO- és MgO-tartalma, illetve az egy kg hulladékkal elérhető salakképző megtakarítás

| Hulladék      | CaO* | MgO* | Δmészke | Δdolomit |
|---------------|------|------|---------|----------|
| Eternit       | 28   | -3   | 0,671   | -0,245   |
| Szórt azbeszt | -34  | 28   | -1,804  | 1,987    |
| Üveg          | -62  | -10  | -0,812  | -0,613   |
| Magnezittégla | -2   | 80   | -3,285  | 5,552    |
| Mészke        | 53   | 1    | -       | -        |
| Dolomit       | 31   | 15   | -       | -        |

**3. táblázat.** Az anyag- és energiamérlegeken nyugvó kibővített alapanyag ráfordítások (kg/kg<sub>hulladék</sub>). A ráfordítástöbbslet pozitív érték, a megtakarítás negatív

| Kiváltott anyag | Mészke | Dolomit | Kokszpor | Kohókoksz | Többsletalak |
|-----------------|--------|---------|----------|-----------|--------------|
| Eternit         | -0,67  | 0,24    | -0,04    | 0,12      | 0,72         |
| Szórt azbeszt   | 1,80   | -1,98   | 0,01     | 0,18      | 1,10         |
| Üveg            | 0,81   | 0,61    | 0,10     | 0,31      | 1,90         |
| Magnezittégla   | 3,28   | -5,55   | 0,00     | 0,00      | 0,00         |

$$\text{MgO}_{\text{eternit}}^* = \Delta M \cdot \text{MgO}_M^* + \Delta D \cdot \text{MgO}_D^*,$$

$$28 = \Delta M \cdot 53 + \Delta D \cdot 31,$$

$$-3 = \Delta M \cdot 1 + \Delta D \cdot 15.$$

Az egyenletrendszer megoldása:  $\Delta M = 0,671$  és  $\Delta D = -0,245$ . Ennek alapján az egy kg eternittal 0,671 kg mészke takarítható meg, és az ugyanakkor abban mutatkozó MgO-hiányt további 0,245 kg dolomittal kell pótolni. Az utóbbi logika szerint számított megtakarításokat a vizsgált négy hulladékra a 2. táblázat utolsó két oszlopa mutatja.

A 2. táblázat néhány kiválasztott hulladék mészke- és dolomithelyettesítő képességét mutatja. A felhasznált anyagok vegyi összetételére jellemző, hogy az vasat vagy vasoxidokat nem tartalmaz, ezért valamennyi hulladék vasérc-helyettesítő képessége zérus. Az egyéb helyettesítő képességek sorából kiemelkedik a magnezittégla esete mely mutatja, hogy az 1 kg MgO-tartalmú téglá felhasználásával 5,553 kg dolomitásvány takarítható meg, ugyanakkor 3,285 kg többsletmészke felhasználása válik szükségessé.

A fenti helyettesítő képességek értéke olyan alapérték, mely a tüzelőanyagok járulékos mennyiségének figyelembevételével még bővül, sőt a koksz hamutartalmának tekintetbevételével további másodlagos mészkeszükségletekkel egészül ki.

A hulladékhasznosítás modellezésének egyik alapvető kérdése, azoknak a körülményeknek a meghatározása, melyeknek keretében a hulladékok műszaki-gazdasági hatásait értékelni szeretnénk. Az értékelés akkor következetes, ha csak a vizsgált anyag hatásait mutatja. Ez megköveteli az input és az output jellegű változók elkülönítését, az inputanyagok bizonyos értékeinek állandó értéken tartását, vagyis a *ceteris paribus* elv érvényesítését.

Esetünkben elkerülhetetlen a zsugorítószalagon felhasznált kokszpor és a nagyolvasztói kohókoksz bevonása az anyagcsere értékelésébe. A zsugorításhoz felhasznált mészke és dolomit bontása 4250, ill. 1966 kJ/kg<sub>CO2</sub> reakcióhő fedezését kívánja meg, illetve ezek megtakarításakor az ezzel arányos kokszpor nem kerül felhasználásra. Mivel a vasércet zsugorításakor karbonátokat használunk fel, ezek kiváltása karbonát-

mentes egyéb hulladékokra kokszpor-megtakarítást is jelent.

A hulladékfelhasználás egy másik energetikai vetülete a nagyolvasztóba kerülő salak mennyiségének kérdése. Az eredetileg használatos mészke és dolomit minden egy kg-jából kb. 0,56 kg nagyolvasztósalak keletkezik, ugyanez az érték a hulladékok esetén közel 1 kg. A hulladékfelhasználás tehát általában salakmennyiség növekedéssel jár, ami *ceteris paribus* a kohókoksz mennyiségének növekedését vonja maga után. A hatások halmozódását mutatja az, hogy a többsletkokszmennyiséggel megnő a mészkeigény is.

A helyzet bonyolultságából egy olyan anyagi-energetikai modell kialakítása segít kijutni, mely az összes anyag kölcsönös hatását tömeg- és energiamérlegekbe foglalva fejezi ki. A modell kibővítésével a CaO- és MgO-ekvivalencia mellett biztosítani kell a zsugorítói és a nagyolvasztói hőekvivalenciát is. A szerző által kidolgozott komplex zsugorítói és nagyolvasztói elegyszámítás biztosítja a felhasznált hulladékok anyag- és energia ekvivalenciájának pontos meghatározását. Az anyag- és energiamérlegeken alapuló modellszámítás eredményeit a 3. táblázat mutatja, mellyel a 2. táblázatban ismertetett anyagmegtakarítások bővülnek – és némileg módosulnak is.

#### 4. A hulladékfelhasználás gazdaságossága

A nagyolvasztóban a hulladékhasznosítással érintett anyagok közül a helyettesítéssel kiváltott mészke és dolomit a legolcsóbb betétanyagok között található, amelyeknél 10–15-ször drágább az anyagcsere szintén érintett kokszpor és a kohókoksz. A hulladékok általában helyben képződnek, fuvar költségük is csekély, az ásványi mészke és dolomit pedig általában más régiókból kerül a kohóműbe, ezért a továbbiakban a bekerülési árakkal számolunk.

A veszélyes hulladékokat a lerakóművek kilogrammonként kb. 100 Ft-ért veszik át. Egy kezelési engedéllyel rendelkező nagyolvasztómű által felkínált 40 Ft/kg-os átvételi ár nyilván versenyképes lehetne a lerakóművekkel szemben.

Esetünkben olyan rendszer gazdaságosságát vizsgáljuk, melyben olcsó – a speciális nagyolvasztói követelményeknek is megfelelő – hulladékokkal nyomon követhetjük a salakképzőket és a tüzelőanyagokat

**4. táblázat.** Az egyes hulladékok kohósításának az anyagcseréből származó részleges ráfordítása és megtakarítása (Ft/kg<sub>hulladék</sub>). Megjegyzés: a negatív előjel kiadás

| Anyagok          | Mészke | Dolomit | Kokszpor | Koksz | Eredő érték |
|------------------|--------|---------|----------|-------|-------------|
| Egységár (Ft/kg) | 7,0    | 7,0     | 60,0     | 90,0  | –           |
| Eternit          | 4,7    | –1,7    | –2,4     | –10,8 | –10,2       |
| Szórt azbeszt    | –12,6  | 13,9    | 0,6      | –16,2 | –14,3       |
| Üveg             | –5,7   | –4,3    | –6,0     | –27,9 | –43,9       |
| Magnezittégla    | –23,0  | 38,9    | 0,0      | 0,0   | 15,9        |

érintő betétköltség változásokat. Ebben a rendszerben az adott hulladéokra vonatkozó gazdasági megtakarítások forrásait az egységárak, a hulladék-cserearányok, az energiamegtakarítások és a termelt többletsalak értékesítése képezik.

A vizsgált esetben vas- vagy vasoxid-tartalmú hulladék nem szerepel a választékban, ezért a redukációs hatások állandónak tekinthetők. A megtakarított összes koksz a fűtőkoksz funkcióból származik.

Az árakat illetően nem tekinthetünk el az adott gazdasági viszonyoktól és az egyébként már kialakult árviszonyoktól. Ebben a tekintetben döntő a hulladékok szokásos ártalmatlanítási díja. A másik fontos tényező a hulladékok anyagi értéke, amely egyébként nem azonos a hulladék forgalmi árával. A nagyolvasztómű számára fontos érték a hulladék kohósítási ráfordításait és előnyeit tükrözi a beszerzési árával párhuzamosan. Az érték kifejezésére megfelel az átvételi küszöbár, mely azt a maximális kínálati árat jelenti, amelynél a hulladék felhasználása a nagyolvasztómű számára éppen nullszaldós. A tényleges átvételi ár és a küszöbár különbsége a fajlagos haszon.

A továbbiakban megvizsgáljuk a hulladékok nagyolvasztói felhasználása során a kohósítással elérhető megtakarítást azon árviszonyok mellett, amikor az átvételi ár a hulladék ártalmatlanítási díja, a belső hulladék ára 5 Ft/kg, a kokszpor és kohókoksz 60, ill. 90 Ft/kg, a termelt salakot pedig 10 Ft/kg áron értékesítik. Az erre vonatkozó részeredményeket a 4. táblázat mutatja.

A 4. táblázatban az egyes költségtételeket a 3. táblázatban szereplő megtakarítások és a 4. táblázat első sorában feltüntetett egységárak szorzatából képeztük. Ahogy látszik, az eternit-, azbeszt- és az üveghulladék csere-ráfordítás egyenértékeinek szaldója negatív. Ezen anyagok kohósítása a részleges értékelés szerint ráfizetéssel járna. Egyedül a magnezittégla hulladéknak kohósítása kecsgetet haszonnal.

A továbbiakban a nettó csereegyenértékekre alapozott értékelést egészítjük ki a termelt salak értékesítéséből származó árbevétellel és a hulladékok átvételi árával. Az 5. táblázatban közölt végleges adatok szerint a hulladékhasznosítás végleges (eredő) haszna erősen függ a hulladék minősítésétől, mivel a veszélyes hulladék magas átvételi díja jelentősen javítani tudja a kohósítás gazdaságosságát. Amennyiben a veszélyes hulladéknak minősülő azbeszthulladékok átvételi árát az ártalmatlanítási díjban határozzuk meg, az egyéb hulladékokét kb. 5 Ft/kg-ban, akkor az 5. táblázatban található bruttó kohósítási haszonnal számolhatunk. Az adatokból látszik, hogy a vizsgált négy hulladékból, három haszonnal ártalmatlanítható a nyervegyártás körülményei között, a fajlagos anyag- és energiaráfordítás alapján becsülve.

A táblázat utolsó oszlopa arról tanúskodik, hogy a vizsgált hulladékok nagy része jelentős haszonnal lenne kohósítható. A veszélyes hulladékok közül a haszon nagy részét az átvételi díj biztosítaná. Az acélműi szférában keletkező nem veszélyes hulladéknak

**5. táblázat.** Az egyes hulladékok kohósításának teljes haszna (Ft/kg). A negatív érték veszteséget jelent

| Hulladék      | Anyagcsere értéke | Többletsalak értéke | Átvétel díja | Eredő haszon |
|---------------|-------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Eternit       | –10,2             | 7,2                 | 40           | 37,0         |
| Szórt azbeszt | –14,3             | 11,0                | 40           | 36,7         |
| Üveg*         | –43,9             | 19,0                | 40           | 15,1         |
| Üveg**        | –43,9             | 19,0                | 5            | –20,0        |
| Magnezittégla | 16,0              | 0,00                | –5           | 11,0         |

\* veszélyes hulladék; \*\* normál hulladék

számító magnezittégla, pl. 5 Ft/kg belső előkészítési ráfordítás mellett is gazdaságosan dolgozható fel.

A nagy SiO<sub>2</sub>-tartalmú normál üveghulladék csak veszteséggel lenne kohósítható, melynek szaldója kb. 20 Ft/kg átvételi ár esetén lenne közel nullszaldós. Ilyen mértékű dotáció veszélyes üveghulladékok kohósításakor fordulhatna elő, mint pl. vegyszeres öblös-üvegek vagy szélvédők esetén [3].

A nagy CaO- és MgO-tartalmú azbeszthulladékok jelentős haszonnal dolgozhatók fel, még a szokásosnál alacsonyabb átvételi ár mellett is.

Megállapítható, hogy mind a négy hulladék eredményesen reciklálható a termelési folyamatba. A reciklálás a legelfogadottabb szóhasználat szerint a hulladék közvetlen visszavezetése hasznosításra, a keletkezés helyére vagy a termelés valamely más, a hulladék eredetétől eltérő területére [4].

Az eljárás a hulladékkezelési eljárásoknak az *anyagában történő hasznosítás* kezelési kategóriájába esik, mely a hulladékfeldolgozási piramis fejlettebb formái közé tartozik, szemben a jelenleg alkalmazott lerakással. Az anyagában történő hasznosítás során a hulladéknak meghatározzák a jól azonosítható komponenseit, és a hulladék hasznosításával kinyerik belőle azokat az anyagokat, amelyeket új termékek előállításához használnak fel. Esetünkben az azbeszt hasznos komponensei biztosítják a nagyolvasztósalak szükséges összetételét. Ez az új termék a nagyolvasztósalak, a nyersvasgyártás mellékterméke, melyből granulált formában főleg cement készül, salakkő formában pedig utak, gátak elkészítéséhez használható. Az ajánlott technológia egyáltalán nem tekinthető hígításnak, mivel ebben az esetben nem a kibocsátási határértékek kijátszásáról van szó, hanem nyersanyagok együttes adagolásáról.

Az OHT szerint a kb. 2030-ig kitartó azbesztmentesítési terv évente 100 000 t azbeszthulladék lerakásával számol. Ez a tömeg a jelenlegi salakmennyiség 1/4-ét teszi ki. Az ebből származó többletbevétel évente kb. 5 Mrd Ft lenne. Az átolvasztás alatt az azbeszt már 700 °C körül elveszti speciális molekuláris szerkezetét és beolvad az alapsalakba [2].

A vertikumban képződő és veszélyes hulladéknak nem számító elhasznált magnezittégla kohósítása szintén igen jövedelmező. A felhasználáshoz szükséges előkészítés egyszerű aprításból és osztályozásból áll. A fokozott felhasználás egyedüli gátja az, hogy éves szinten kevés a rendelkezésre álló téglahulladék.

## 5. Összefoglaló

Az Európa különböző térségeiben ciklikusan megjelenő dekonjunkturális időszakok alkalmával a kohászati üzemeknek célszerű lenne áttekinteniük azokat a hulladékokat, melyeket hasznosítási célból időszakosan a munkarendjükbe illesztve javíthatnák rentabilitá-

sukat. A külön vagy együtt adagolással feldolgozott hulladékok termelésbe iktatása megőrzi a berendezés hőállapotát, megakadályozhatja az elbocsátásokat és fedezheti a rezsiköltségeket.

Figyelembe véve az ország gazdasági helyzetét, hulladékgazdálkodási céljait és az egyes régiók adottságait, a nagyolvasztókban történő, hulladékfeldolgozás is igen perspektivikusnak ígérkezik, mivel a kb. 6000 t/nap alapanyag-igényű, nagy termelékenységű berendezésekben még 1–2% feldolgozási arány is napi 60–120 tonna, azaz évi 20–40 ezer t anyag potenciális ártalmatlanítását tenné lehetővé. Ennek kihasználása mintegy évi 0,7–1,4 Mrd Ft többletbevétel biztosítása csak az azbesztféleségek hasznosításával. Összehasonlításképpen a dorogi és a győri hulladékégetőművek éves kapacitása a porokból, iszapokból, szilárd és folyékony hulladékok veszélyes és nem veszélyes anyagok teljes listájából 50 ezer t, ill. 10 ezer t.

A termikus berendezésekkel jól felszerelt kohászati vállalatok szakemberei általában tartózkodnak a hulladékok hasznosításától – rossz beidegződés alapján ez számukra idegen anyag. Hazánkban a hulladékkezeléssel foglalkozó vállalatok zöme begyűjtéssel és lerakással foglalkozik. Az anyagában hasznosítást végző vállalatok száma kevés, jó néhányuktól megvonták a működési engedélyt is. Ilyen körülmények között nem véletlen, hogy legfontosabb hulladékok vagy elhasznált termékek maradékanyagai a hazai feldolgozás helyett külföldre vagy a hulladéklerakóba kerülnek. Ezek elsősorban értékes fémeket tartalmaznak.

A kohászat lehetőségei tehát sok esetben lehetőséget kínálnak a hulladékok anyagában történő hasznosításra a megfelelő hulladékmenedzsment rendszer kialakítása után. Ez utóbbi szervezet feladata a meglévő termikus berendezés adottságaihoz illeszkedő hulladékféleségek kiválasztása, feldolgozásuk műszaki-gazdasági elemzése.

A már meglévő kohászati berendezések feleslegessé teszik pl. a költséges új égetőművek megépítését vagy hulladéktárolók kialakítását. Ezért célszerű lenne, hogy a kohászat vagy a kohászati módszerek és a hulladékgazdálkodás nemzetgazdasági szinten is találkozzanak. Tanácsos akár a nagyolvasztóművek, akár az acélművek számára áttekinteni a számukra kedvező különleges anyagokat és azok közül a műszaki-gazdaságilag legkedvezőbbeket bevonni a gazdálkodási körükbe.

## IRODALOM

- [1] Hanvai Zsombor: Azbeszt szakmai tájékoztató füzet. Magyar Azbesztmentesítők Szövetsége
- [2] II. OHT, 2013, p. 181
- [3] Loacker árlista
- [4] [https://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Ujrafeld\\_.htm](https://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Ujrafeld_.htm)

# A fosszilis tüzelő- és üzemanyagokból eredő légköri CO<sub>2</sub>-feldúsulás elemzése, annak jövőbeli kiszámíthatósága és az ebből levonható következtetések

## Atmospheric CO<sub>2</sub> from fossil fuels and combustibles: analysis of the enrichment, the future predictability of it and the conclusions to be drawn

ID. NOVÁK SÁNDOR  
nyug. bányamérnök



*A dolgozat témája a globális felmelegedést elsődlegesen okozó légköri szén-dioxid-koncentráció növekménye és a fosszilis üzemanyagok felhasználása közötti matematikai összefüggés vizsgálata. Az elvégzett számításokból adódik az – időben állandónak mutatkozó – szén-dioxid-elnyelődési arányszám alkalmazásával – a jövőbeli fosszilis felhasználás függvényeként – prognosztizálható a légköri CO<sub>2</sub> százalékos alakulása. Javaslatot teszünk a globális kitermelési korlátozások ütemezésével a globális felmelegedés lefékezésére, a klímakatasztrófa elhárítására.*

**Kulcsszavak:** elemzés, CO<sub>2</sub>-dúsítás, fosszilis tüzelőanyagok

*In this study, I describe the effects of fossil fuel combustion, (which results CO<sub>2</sub> concentration increase in the atmosphere) with the usage of the mathematical differential equation used in mine ventilation. By applying this method, I came to the conclusion, if in a short period of time (approx. 10 years) the emission would be reduced to 1/3 of the current level, atmospheric carbon-dioxide concentration would fall below 400 ppm and could be stabilized around 370 ppm in the longer term. This way, hopefully, irreversible global warming processes would not trigger, which are threatening currently, because of the concentration is reaching to 500 ppm.*

*The fact that a significant global warming has not yet occurred is due to the large terrestrial climate control systems, by the melting of the Antarctic ice caps that formed about 8 million years ago and the Arctic ice caps which formed 2 million years ago – with causing a latent heat sink of 79.4 kcal/kg of melting.*

*We are currently experiencing the most severe melting in recent times, about 420 billion tonnes of ice per year, of which about 280 billion tonnes came from the Arctic (Greenland). The present melting trend looks like that the ice will disappear from the Arctic within 10 years. Currently there is still 2.6 million km<sup>3</sup> of ice in the Arctic and about 29 million km<sup>3</sup> in the Antarctica.*

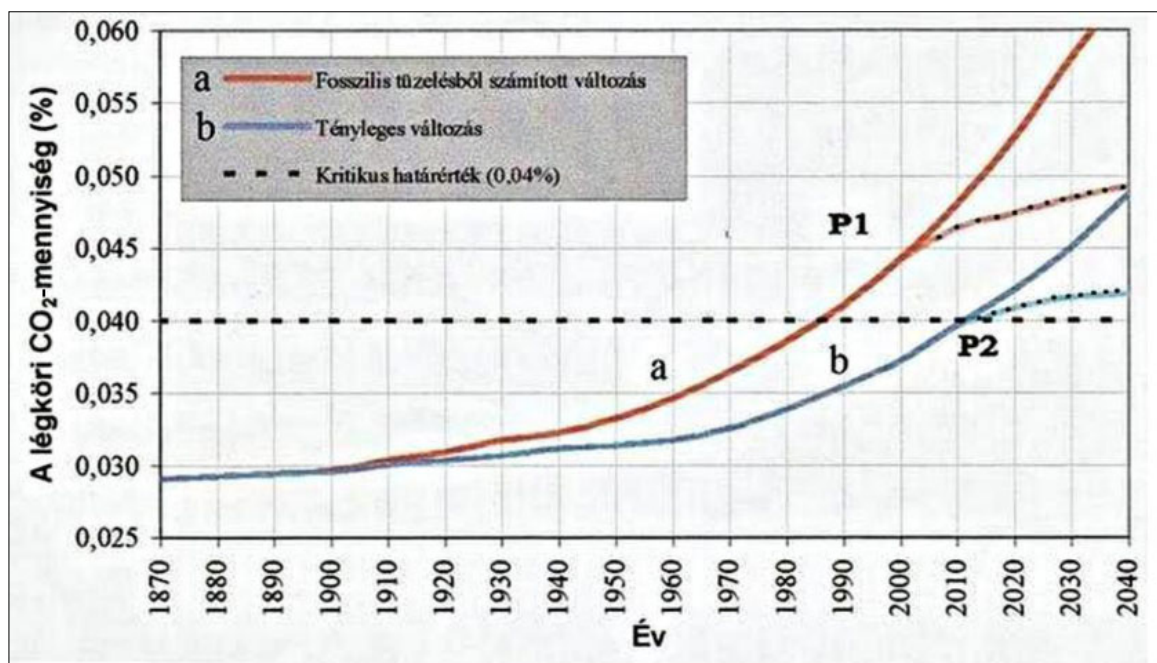
*If we were to limit the use of fossil fuels now – hopefully in time – based on possible UN agreements, we would have a good chance of protecting the biosphere (and ourselves) and avoiding a global warming catastrophe.*

**Keywords:** analysis, CO<sub>2</sub> enrichment, fossil fuels

Előző, 2000-ban elkészült tanulmányomban [1] elemeztem a globális fosszilis energiakorlátozás bevezetésének szükségszerűségét, amelyet véleményezésre eljuttottam dr. Mészáros Ernő és dr. Pető Szilveszter professzorokhoz. Az ő ajánlásuk alapján elküldtem az akkori Környezetvédelmi Minisztériumba, ahonnan levélben jelezték a tanulmányban foglaltakkal való elvi egyetértésüket.

Az abban a tanulmányban közölt ábrán a fosszilis alapú szén-dioxid-kibocsátásból számított (280 ppm + fosszilis CO<sub>2</sub> ppm), ill. a mért (tényleges) légköri CO<sub>2</sub>-növekményt 2000-ig a valós adatok alapján, a 2000-tól 2040-ig várható értékeket pedig az eddigieket és a várható növekményt figyelembe véve – csak statisztikai elemzéssel – szerkesztettem meg (1. ábra). Erre alapozva javasoltam a szén-dioxid-kibocsátás





1. ábra.

radikális és sürgős lecsökkentésének szükségességét 2001 és 2010 között – évi 10%-os lépésekben – mintegy egyharmad részre (az ábrán pontozott görbeszakaszok), hogy a légköri CO<sub>2</sub> 0,04% körül stabilizálódjon.

A globálissá vált pénzuralmi világrendszer a gyorsan mélyülő környezeti-ökológiai problémákat képtelen kezelni, orvosolni. Az IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change [6]) statisztikai elemzések-jelentések alapján összeülő, klímavédelmi ENSZ-konferenciák sem hoztak eredményeket. Pedig a számok és tények a globális felmelegedésről, és az időjárás szélsőségek fokozódásáról szólnak [4].

Az IPPC-tanulmányok a fosszilis felhasználásától függő CO<sub>2</sub> %-os mennyiségének jövőbeli alakulását szintén statisztikai elemzések alapján számolják. Az elemzések petagramm (pg) nagyságrendű (1 pg = 10<sup>15</sup> g = 10 milliárd tonna) számításokon alapulnak. Jelen tanulmányban ezt közvetlenül a légköri CO<sub>2</sub>-tartalom %-os formában (ppm-ben) való jelenlétével, ill. alakulásával vizsgálom. (1 ppm = 1 milliommód résznek – a légkör 0,0001%-ának megfelelően, 7,75 milliárd tonna CO<sub>2</sub>-t jelent [1], és 1 pg = 1,29 ppm.)

A statisztikai elemzéseken alapuló előrejelzés a jövőbeli légköri CO<sub>2</sub>-növekményt azon az alapon számolja, hogy ez az elmúlt években a fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátás hányad része volt. Mivel ez átlagosan 0,4-ed részre tehető, ezt úgy értelmezik, hogy a természeti CO<sub>2</sub>-kibocsátás is az eredeti (XIX. század végi) 280 ppm 0,4-ed része lehet, azaz mintegy 116 ppm/év, ami a jelenlegi 4,5 ppm körüli fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátás 116/4,5 = 25-szöröse. Ez tévesen azt sugallja, hogy a fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátás az éghajlat alakulásában sem lehet perdöntő tényező, azaz nem sürgős a korlátozás.

Ennek a nagy globális tévedésnek nemcsak a valóság (gyors felmelegedés), de a tudományos légköri mérések is ellentmondanak, amelyek – bár tág határok között – 50–200 éves légköri CO<sub>2</sub>-tartózkodási időt mutatnak ki. A tartózkodási időknél mért nagy különbségek a mérési helyek és az időpontok változóságából adódhatnak. De értelemszerűen a világátlag csak ebbe a 50–200 év közötti intervallumba eshet, szemben IPPC által tévesen kalkulált 2,5 évvel.

A fosszilis energiahordozók növekvő felhasználásából adódóan a légkör szén-dioxid-tartalma a XX. század eleji 0,028%-ról mára 0,042%-ra (280 ppm-ről 420 ppm-re) nőtt. A földtörténeti közelmúltban – 1,8 millió éve, a pleisztocénben, a glaciális és interglaciális időszakokban – a sarki fúrási jégmintákban talált légbuborékok radiokarbonos elemzése alapján ez csak 0,008–0,028% között ingadozott.

A maihoz hasonlóan magas (gyorsan növekedő) CO<sub>2</sub>-%-okat a földtörténeti korszakváltások idején fellépő nagy klímaváltságot, globális kihalásokat idejére jeleznek a radioizotópos elemzések – pl. 200 millió éve, a Kamp idején, Triász–Júra határon – 500–2000 ppm [3]. Sajnos jelenleg gyorsan közeledünk az 500 ppm-es határhoz.

A jelen tanulmányban az elmúlt évtizedekben mért légköri CO<sub>2</sub>-növekményt a fosszilis felhasználás függvényeként matematikai (nem statisztikai) alapokon elemzem. Ehhez szükség van a szén-dioxid átlagos légkörben való tartózkodási idejére, amelyre a mérések (nagy szórással) 50–200 évet jeleznek. A számítások kiinduló alapja, hogy például átlagos 100 éves tartózkodási idő esetén az éppen légtérben lévő CO<sub>2</sub>-nek évente 1/100 része távozik, nyelődik el aszsimiláció, kiázás stb. formájában.

A szén-dioxid légköri tartózkodási idejének (vagyis az elnyelődési arányszámnak) a pontosítására, annak időbeli változásainak vagy változatlanságának bizonyítására alkalmasnak kínálkozott a BKL-ban megjelent tanulmányomban közölt (4) differenciálegyenlet [4]. A számításokhoz felhasznált fosszilis kitermelési adatok, ill. a légköri CO<sub>2</sub>-% (1960 és 2020 közötti) alakulását pedig a BKL közleményei és a Mauna Loa Obszervatórium mérései alapján vettem figyelembe.

Az említett (4) egyenlet [4]:

$$y = \frac{V}{Q} \left[ M_{di} - \frac{M_{di} - (Q/V)y_0}{\exp\{(Q/V)x\}} \right]. \quad (4)$$

Ezzel az egyenlettel a bányabeli diffúziós (parciális szellőztetésű) légterekben üzemelő dízelgépek mérgező gázainak az ABBSZ-ben előírt felhígításához szükséges friss légmennyiséget számíthatjuk ki. Az egyenlet felhasználható bármely térbeli és időbeli dimenzionális intervallumban (itt a légkör, ill. év), és a CO<sub>2</sub>-gázra vonatkoztatva is, ha a  $V/Q$  (tisztulási arányszám) és az  $M_{di}$  (gázképződés) az adott időintervallumban változatlan, vagy közel az. Esetünkben az ismeretlen a  $V/Q = Z = T$  a tartózkodási idő meghatározásához. A fenti képletben szereplő mennyiségek:

- $y$  és  $y_0$  a vizsgált folyamat végén, ill. elején bent lévő gáz mennyisége – itt a légkörnél ppm-ben. (1 ppm CO<sub>2</sub> = a légköri gáz – levegő – 1 milliommód része, azaz 0,0001%-a = 7,75 mrd tonna CO<sub>2</sub>) [5].
- $V$  a térség térfogata és  $Q$  a befűtatott friss levegő mennyisége (m<sup>3</sup>/s). A légkörnél a képletben csak ez (a  $V/Q$  elnyelődési arány) az ismeretlen – pl. ha a CO<sub>2</sub> légköri tartózkodási ideje ( $T$ ) 100 év:  $V/Q = Z = 100$ .
- $M_{di}$  az egységnyi idő (sec) alatt keletkezett (pl. kipufogott) gáz mennyisége. A légkörnél a vizsgált 10 éves időszakokban (dekádokban) keletkező CO<sub>2</sub> éves átlagmennyisége ppm-ben. Itt az  $M_{di} = M_{di1} + M_{di2}$ , ahol
  - $M_{di1}$  a 10 éves fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátások éves átlaga ppm-ben [5].
  - $M_{di2}$  a természetes éves CO<sub>2</sub>-kibocsátás, amikor az ipari korszak előtti légköri CO<sub>2</sub>-tar-

alom csak 280 ppm volt, és a mostani CO<sub>2</sub>-kibocsátást is változatlanak tekintjük, így 280/Z-nek vesszük.

- $x$  az idő (sec). Itt év, a vizsgált időszak adott 10 éve:  $t$  (idő).

A fentieknek megfelelően behelyettesítve, a (4a) egyenlet:

$$y = Z \left[ M_{di1} + \frac{280}{Z} - \frac{M_{di1} + (280/Z) - (1/Z)y_0}{\exp\{t/Z\}} \right]. \quad (4a)$$

A  $V/Q = Z$  meghatározását eredményező számításokat 1960-tól 2020-ig 10 éves ciklusokra (dekádokra) vonatkoztatva végeztem el. A  $Z/10$ -ed rendű (exponenciális jellegű) egyenletből az ismeretlen  $Z$ -t közelítő számításokkal határozhatjuk meg, mivel az  $\exp\{t/Z\}$  tényezőbe a bizonytalan 50–150 év közötti  $Z$  értékeket 10-es léptékekben behelyettesítve, az egyenlet egyszerű elsőfokúvá válik, és alulról, illetve felülről közelítve pedig az egyenletekből számított  $Z$  értékek alapján pontosíthatunk.

Azért célszerű 10 éves időszakokkal számolni, mivel ezen belül a CO<sub>2</sub>-kibocsátást ( $M_{di1}$ ) még jó közelítéssel átlagosnak vehetjük. Másrészt feltételezhetjük, hogy ilyen kis időn belül nem változott az elnyelődés, azaz a tisztulási arány,  $Z$  sem. Harmadrészt az  $\exp\{(Q/V)t\}$  számítása így egyszerűvé válik.

Az éves fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátást az adott évtized átlagából számolhatjuk [5]. Például a 2010-es években a 2016-os évvel számolva:

*szén:* 4,8 mrd SKE t (tonna);

*kőolaj:* 6,1 mrd SKE t;

*földgáz:* 3,9 mrd SKE t;

*összesen:* 14,8 mrd SKE t.

(1 SKE t = 1 t 7000 kcal-s, azaz 29,3 GJ-os feketeszen)

Az 1 t 8150 kcal-s tiszta feketeszen elégeceskor 3,65 t CO<sub>2</sub>; 1 t átlagosan 10000 kcal-s kőolajból 3,2 t CO<sub>2</sub>; 1 t átlagosan 11000 kcal-s földgázból 2,25 t CO<sub>2</sub> keletkezik.

Az energiahordozók átlagos energiatartalma és CO<sub>2</sub>-kibocsátása, valamint a felhasználási arányok alapján az 1 SKE t-ra jutó súlyozott, átlagos CO<sub>2</sub>-

**1. táblázat.** Az 1960 és 2020 közötti 6 dekád adatai

|                 | 1.<br>1960–1970 | 2.<br>1970–1980 | 3.<br>1980–1990 | 4.<br>1990–2000 | 5.<br>2000–2010 | 6.<br>2010–2020 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $y_0$ (ppm)     | 317             | 324             | 337             | 353             | 373             | 390             |
| $y$ (ppm)       | 324             | 337             | 353             | 373             | 390             | 413             |
| $M_{di1}$ (ppm) | 1,8             | 2,2             | 2,6             | 3,4             | 3,74            | 4,2             |
| $M_{di2}$ (ppm) | 280/Z           | 280/Z           | 280/Z           | 280/Z           | 280/Z           | 280/Z           |

kibocsátás 2,27 t. Azaz, a 2010-es években:  $14,8 \cdot 2,27 = 33$  mrd t/év-vel (4,4 ppm) számolhatunk.

Az  $y_0$  és  $y$  a vizsgált évtized eleji, ill. végi légköri  $\text{CO}_2$ -tartalmak: a Mauna Loa-i Observatórium mérései alapján [5].

A közelítő számítások elvégzéséhez célszerű az  $\exp\{(Q/V)t\}$  értékeket az 50–150 éves tartózkodási idő  $T$  (10 éves léptékben) és a  $t = 10$  évnek megfelelően kiszámítani. Azaz,  $e^{10Z} = 1,22; 1,181; 1,155; 1,135; 1,12; 1,105$  (ahol  $T = 50; 60; 70; 80; 90; 100$  év).

A számításokat a (4a) egyenlet felhasználásával (szükség esetén 100 év feletti tartózkodási időkre is) el kell végezni.

Számítási metódusként itt csak az 1980–1990 közötti ciklusidőre vonatkozó  $Z$  meghatározást mutatjuk be. Mivel – 80 és 50 éves tartózkodási időkkel számolva – ezek  $Z$ -re még elég jelentős mínusz, ill. plusz értékeket adtak – (73,5 és 55,7 év, azaz, –6,5 és +5,7 év). Így el kell végezni a  $Z = 70$  és  $Z = 60$  tartózkodási időre vonatkozó számításokat is:

a)  $Z = 70$  évre, behelyettesítve az ismert  $y, y_0, M_{di} = M_{di1} + M_{di2}$  értékeket:

$$353 = Z \left[ 2,6 + \frac{280}{Z} - \frac{2,6 + (280/Z) - (337/Z)}{\sqrt[3]{e}} \right];$$

$$\sqrt[3]{e} = 1,155,$$

$$353 = 2,6Z + 280 - 2,25Z - 242,4 + 292$$

$$\rightarrow Z = 66,8 \text{ év}$$

b)  $Z = 60$  évre számolva:

$$353 = Z \left[ 2,6 + \frac{280}{Z} - \frac{2,6 + (280/Z) - (337/Z)}{\sqrt[6]{e}} \right];$$

$$\sqrt[6]{e} = 1,181,$$

$$353 = 2,6Z + 280 - 2,2Z - 237,1 + 285,3$$

$$\rightarrow Z = 62 \text{ év}$$

Így a számítások alapján  $Z = 66,8$ -at és  $62$ -t kapunk, és az átlag  $(66,8 + 62)/2 = 64,4$  évnek vehető.

Ugyanezzel a metódussal másik három (2, 4, 6) ciklusidőszakokra is ilyen 60 év körüli érték adódott.

A 2., 3., 4., 6. számú ciklusidőkből a közelítéssel számolt  $(58,2 + 64,4 + 63,25 + 56,5)/4 = 242,35/4 = 60,6$ , ill. a számítógépes megoldással kapott 59,9 átlagérték alapján, jó közelítéssel  $Z = 60$ -nal számolhatunk. Az ezzel visszszámolt  $y$  értékek pedig jól egyeznek, csak max. 1 ppm-mel tértek el a valós (mért) értékektől (1. táblázat).

A 60-as évekre az egyenlet nem volt alkalmazható – nem adott közelítő értékeket. Ez abból adódhat, hogy a légköri  $\text{CO}_2$ -növekedés mértéke csak pár éves késéssel követte a felgyorsuló fosszilis  $\text{CO}_2$ -kibocsátás növekedési ütemét (mellékelt ábrák) – „Gaia ráfékezett”. A 2000–2010 közötti időszakokra pedig a számítások szerint  $Z$  értéke csak 45,3 év körülnek adódott. Ez a  $\text{CO}_2$ -kibocsátás növekedési ütemének jelentős mérséklődéséből származhatott, amire a Gaia [2] még negatív visszacsatolással ráerősített.

Érdekes módon az 1960–1970, ill. 2000–2010 között jelentkező „tisztulási” javulások nem húzódtak át a következő évtizedekre, így nagy valószínűséggel ezek viszonylag rövid ideig (max. pár évig) tartó változásokból adódtak, és nem módosították a hosszú távú tisztulási szabályt.

A 2010–2020-ra a számolt  $Z$  érték már újból 60 év körül volt. Ezt állandó értéknek elfogadva a természet (évenként)  $280/60 = 4,67$  ppm/év, azaz  $4,67 \cdot 7,75 =$

2. táblázat. A  $\text{CO}_2$ -elnyelődési arányszám ( $Z$ ) közelítő számításához (A táblázatban feltüntetjük a számítógépes szoftverrel kiszámolt értékeket is)

| $Z$ értékek \ ciklusidők (ppm) \ (évek)              | 1. 1960–1970            | 2. 1970–1980 | 3. 1980–1990 | 4. 1990–2000 | 5. 2000–2010 | 6. 2010–2020 |
|--|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $y_0$ és $y$   | 317 324                 | 324 337      | 337 353      | 353 373      | 373 390      | 390 413      |
| Az évtized átl. fosszilis $\text{CO}_2$ -kibocsátása | 1,8                     | 2,2          | 2,6          | 3,4          | 3,74         | 4,4          |
| $Z$ alsó érték                                       | Nem működik az egyenlet | 55,25        | 62           | 61,7         | 43,5         | 54,2         |
| $Z$ felső érték                                      | Nem működik az egyenlet | 61,1         | 66,8         | 64,8         | 47,2         | 58,7         |
| $Z$ átlagérték                                       | –                       | 58,2         | 64,4         | 63,25        | 45,3         | 56,5         |
| Számítógépes szoftverrel [7]                         | –                       | 57           | 65           | 59,5         | 50           | 58           |
| $Z = 60$ -nal számolt $y$ -k                         | 327,6                   | 337,2        | 352          | 372          | 394,8        | 412,9        |
| Valós és a számolt $y$ értékek különbsége            | –3,4                    | 0,2          | 1            | 1            | –4,8         | 0,1          |

3. táblázat. A légköri CO<sub>2</sub>-tartalom jövőbeli alakulása (ppm-ben)

|  |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Évszám                                   | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  | 2025  | 2026  | 2027  |
| Jelenlegi CO <sub>2</sub> -kibocsátással | 413   | 415,2 | 417,3 | 419,4 | 421,5 | 423,5 | 425,5 | 427,4 |
| Évi 10%-os csökkentéssel                 | 413   | 414,8 | 415,8 | 416,4 | 417   | 417,2 | 417,2 | 416,6 |
| Évszám                                   | 2028  | 2029  | 2030  | 2040  | 2050  | 2060  | 2070  |       |
| Jelenlegi CO <sub>2</sub> -kibocsátással | 429,4 | 431,3 | 433,1 | 450   | 464   | 476,4 | 486,6 |       |
| Évi 10%-os csökkentéssel                 | 416,2 | 415,2 | 414,4 | 408   | 402,6 | 397,8 | 393,6 |       |

36,2 mrd t CO<sub>2</sub>-t „termel”. A fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátás pedig 2015–2016 között 4,4 ppm volt (azaz 4,4·7,75 = 34,1 milliárd t), ami mára már közel azonos a hosszú távon változatlanul vehető természeti kibocsátással. (Ez gyökeresen különbözik az IPCC [6] elemzésektől, amely szerint az antropogén CO<sub>2</sub>-kibocsátás csak töredéke (1/25 része) a természeti kibocsátásnak, azaz, a 60 éves tartózkodási idővel szemben, tévesen csak 2,5 évvel számol!) Így a jelenlegi éves összes CO<sub>2</sub>-kibocsátás  $M_{di} = M_{di1} + M_{di2} = 4,67 + 4,4 = 9,07$  ppm-nek adódik.

Adott CO<sub>2</sub>-kibocsátás ( $M_{di}$ ) és a számított elnyelődési arány ( $Z$ ) esetén a légköri CO<sub>2</sub>-tartalom addig növekszik, ameddig az elnyelődő gáz mennyisége nem egyezik meg a kibocsátással [1]. Így a jelenlegi aszimptota (határérték):  $y_{max} = (V/Q)M_{di} = Z \cdot M_{di} = 60 \cdot 9,07 = 544,2$  ppm-nek adódik.

Ha a fosszilis üzemanyagok elégetése a jelenlegi szinten maradna, a légköri CO<sub>2</sub>-tartalom 30–40 év alatt már 0,05% közelébe, a természetes állapot közel duplájára növekedne (2. ábra). A maihoz hasonlóan gyorsan változó és magas CO<sub>2</sub>-százalékokat a nagy kihálások idején, a korszakhatárokon (közetréteg-változások) mutatnak ki a paleontológusok radioizotópos vizsgálatai [3]. Gondolni kell a kapcsolódó, a felmelegedést erősítő pozitív visszacsatolási folyamatokra: a légköri páratartalom növekedésére, az olvadó permafrosztból és a tengeri üledékből elszökő, ill. kiszabaduló szénhidrogének, CO<sub>2</sub> és freonok hatására. Hosszabb távon pedig a fogyó sarki jégsapkák (a nagy földi klímaszabályzók) olvadásából adódó (79,4 kcal/kg-os) látens hő és a tengervíz felmelegedéséből adódó hőelnyelődés (negatív visszacsatolások) gyengülésére [2]. Ezzel egyidejűleg az erdőirtások, az elsivatagosodás, az állóvizek, tengerek elszennyeződéséből adódóan bekövetkezhet a CO<sub>2</sub>-elnyelődés csökkenése is.

Nagyon veszélyessé és megállíthatatlanná válhat az É-szibériai fagyott permafroszt talajok (a tundra) olvadásával a légkörbe kiszabaduló sokszáz milliárd tonnányi üvegházhatású gáz megjelenése (CO<sub>2</sub> és freonok).

Az, hogy eddig még jelentős globális felmelegedés nem következett be, a nagy földi klímaszabályzó rendszereknek, a kb. 8 M (millió), majd 2 M éve kialakult hatalmas földszarki jégsapkáknak köszönhető. Az Antarktisz kb. 29 M km<sup>3</sup> (1992-ben még 35 M), Grönland + Északi-sarkon kb. 2,6 M km<sup>3</sup> (1992-ben még kb. 4 M) [8]. A jég olvadásánál, ill. a víz fagyásánál jelentkező hatalmas (79,4 kcal/kg) elnyelt, ill. leadott látens hő szabályozta a földi klímát (negatív visszacsatolással) a növényi-állatvilági egyensúlyozását. Az elmúlt 2 millió évben a légköri CO<sub>2</sub>-százalék – a sarki jégfúrás mintákban található légbuborékok elemzése szerint – 0,018–0,028% között mozgott a glaciális és interglaciális ún. Milankovics (100 ezer éves) ciklusokban.

A számításokon alapuló elemzésből is az adódik, hogy – 10 év alatt, évente 10%-kal – kb. a jelenlegi 1/3-ára kellene csökkenteni a fosszilis + természeti energiahordozók kitermelését, hogy a légköri CO<sub>2</sub> mielőbb 0,04% alá kerüljön.

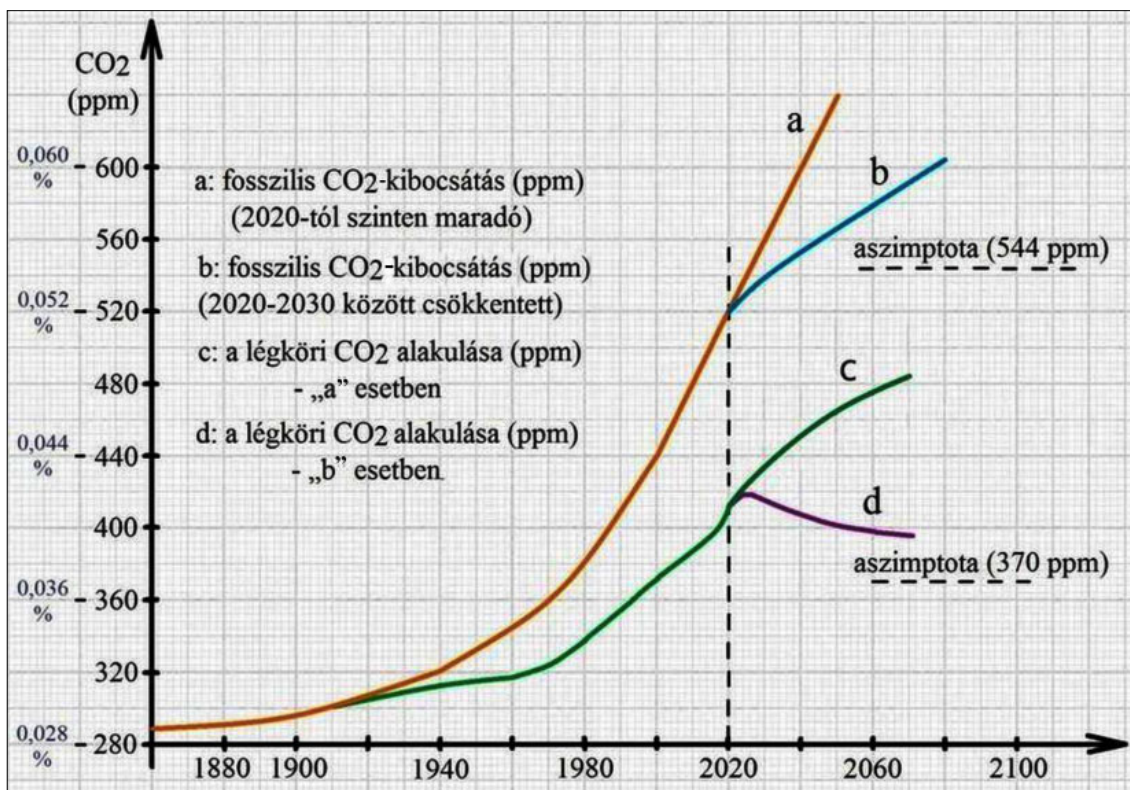
A táblázat elkészítéséhez (4a) egyenletet használtam fel. Kiindulásként a jelenlegi összes fosszilis kibocsátás ( $M_{di} = M_{di1} + M_{di2} = 4,4 + 4,67 = 9,07$  ppm); a jelenlegi légköri CO<sub>2</sub>-tartalom ( $y_0 = 413$  ppm); a kiszámolt tisztulási arány ( $Z = 60$ ); és  $t = 10$  év (azaz  $e^{t/z} = \sqrt[6]{e} = 1,181$ ). Ezen adatok felhasználásával az egyenlet:

$$y = Z \left[ M_{di} - \frac{M_{di} - (y_0/60)}{1,181} \right].$$

Az egyenletből 10 évre ( $t = 10$ ) kiszámolt  $\Delta y$  értékváltozásokkal kell számolni.

Az éves kibocsátáscsökkentések miatt – a 2020–2030 időszakra – a változást is 1 éves lépésekben kell kiszámolni. Mivel a kiszámolt  $y$  értékek 10 évre vonatkoznak, a vizsgált egy-egy évre csak az  $y_1 - y_0 = \Delta y$  érték 1/10 részével kell számolni, azaz  $y_1 = y_0 + \Delta y/10$ -zel.

A 2. ábrán látható grafikonok 2020-ig az eddigi adatok, 2020-tól pedig a fosszilis CO<sub>2</sub>-kitermelés alakulásának függvényeként – a fenti számításoknak megfelelően – mutatják be a légköri CO<sub>2</sub> jövőbeli ala-



2. ábra.

kulását. (Az ábra adatai jó közelítéssel alkalmazhatók a jelenleg számolható, 2024-től 2034-ig tartó csökkentésre is.)

Ezt a beláthatatlanul veszélyes kísérletet tovább folytatni nem lenne szabad – a fenyegető pozitív visszacsatolások miatt sem [2]. Nem tudjuk, hol a küszöb! Halogatásra nincs idő, ezt tükrözi az EU-bizottság közelmúltban kiadott előirányzata a 2050-ig való 0 kibocsátási értékre történő lecsökkentésről. De hogy ez még hatásos legyen, késedelem nélkül már 2024-től meg kellene kezdeni, radikális évi 10%-os csökkentéssel, azaz 2034-re 1,5 ppm-re (11,3 mrd t CO<sub>2</sub>-re). A további csökkentés szükségességéről az időszak végéig lehetne dönteni. Így 2034-re az összes CO<sub>2</sub>-kibocsátás csak 1,5 + 4,67 = 6,17 ppm lenne.

A légköri CO<sub>2</sub>-% 2026-ig még így is 420 körüli ppm-re növekedne, és csak ezt követően (2060-ra) csökkenne a számított 400 ppm alá. De ez a csökkenés (javulás) a számítottnál akár 10–20 ppm-mel is több lehet, azaz gyorsabban közelíthet az egyensúlyi helyzethez (aszimptotához). Ez történhetett „Gaia” negatív visszacsatolások ráségítésével az 1960-as és a 2000-es években. Remélhetőleg az időjárási szélsőségek is gyengülnek, visszaszeliődülnének.

A dinamikus (téli–nyári) egyensúly pedig az  $y_a = (V/Q)M_{di} = Z \cdot M_{di} = 60 \cdot 6,17 = 372$  ppm körül állna be (aszimptota).

Ha a bizonytalanabb eredményű és ellenőrizhetőségű, 20 évig tartó évi 5%-os csökkentéssel számolunk (2024-től 2044-ig 4,4-ről 1,58 ppm-re), akkor is

1/3 részére esne vissza a fosszilis CO<sub>2</sub>-kibocsátás. Ebben az esetben 2032-re 423 ppm-re növekedne, majd ezt követően csak 2070-re csökkenne 400 ppm alá a légköri CO<sub>2</sub>-tartalom. Ilyen globális szintű energiapolitika – kitermelési és felhasználási korlátozás – csak szigorúan ellenőrzött és szankcionált, nemzetközi (ENSZ) egyezményen alapulva valósulhatna meg.

## IRODALOM

- [1] Novák Sándor: Tervjavaslat a gyorsuló légköri változások, a globális felmelegedés lefékezésére, a katasztrófa elhárítására (kézirat, 2001).
- [2] James Lovelock: Gaia halványuló arca – Utolsó figyelmeztetés (2019).
- [3] Pálfy József: Kihaltak és túlélők (2000); 200 millió éves történet (A Föld a Triász–Júra határon). Akadémiai székfoglaló előadás (2013).
- [4] Novák Sándor: A dízelgépek kipufogógázainak felhígításához szükséges légmennyiség meghatározása BKL Bányászat, 141. évf., 2008/5. sz.
- [5] A légköri CO<sub>2</sub>-tartalom – a hawaii Mauna Loa Observatórium mérése – és a fosszilis eredetű (globális) CO<sub>2</sub>-kibocsátás számai (ppm-ben) a BKL Bányászati Lapokban található adatok alapján.
- [6] IPCC – Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (1988-ban alakult az ENSZ égisze alatt).
- [7] A számítások a Microsoft Math Solver szoftver segítségével történtek.
- [8] Greendex szemle 2023 ápr. 23; Earth System Science Data folyóirat 2024. július.

## Szerzői életrajzok

**HÁRI LÁSZLÓ** 1974-ben metallurgus üzemmérnöki, 1979-ben okl. kohómérnöki oklevelet szerzett a Miskolci Egyetem jogelődjén. PhD tudományos fokozatát 1989-ben védte meg. Munkahelye 33 évig a Dunaujvárosi Főiskola és 11 évig a Dunaferri volt. Előbbi munkahelyén fizikai-kémia, nyersvasgyártás és acélgártás tárgyakat oktatott, a Dunaferriben műszaki fejlesztéssel és környezetvédelemmel foglalkozott. Jelenleg nyugdíjas. Kutatási területe a fizikai kémia kohászati alkalmazásai, elegy- és betétszámítások, hulladékok felhasználási területeinek vizsgálata.

**NOVÁK SÁNDOR** 1961-ben szerzett bányaművelő mérnöki diplomát Miskolcon, a NME-en. Munkahelye mindvégig Kincsesbányán, a Fejér Megyei Bauxitbányák Vállalatnál volt. 1961-től üzemmérnök, bányamester, üzemszervező, majd 3 évig külfejtési (Gánt, Felsőkincses) üzemvezető volt. 1973-tól a József III–Rákhegy II (endogén tűzveszélyes), majd a Bitó II (meleg karsztvízes) bányaüzemeknél szellőztetési felelős és tűzvédelmi-szellőztetési csoportvezető volt. Eközben bányamentőállomás-vezetői posztot is betöltött. 1990-ben vonult kordedvezményes nyugdíjba. 1962-től tagja az OMBKE-nek. Az 1990-es évektől foglalkozik a fosszilis energia-hordozók elégetéséből eredő légköri CO<sub>2</sub>-feldúsulásnak – mint a globális felmelegedés elsődleges okozójának – problémáival.

**RÓNAFÖLDI ARNOLD** címzetes egyetemi tanár, a HUN-REN – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport tagja, a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet munkatársa.

**ROÓSZ ANDRÁS** kohómérnöki diplomáját a Miskolci Egyetemen 1968-ban szerezte. Széchenyi-díjas, Gábor Dénes életműdíjas magyar kohómérnök, egyetemi tanár, a magyar úranyag tudományi program irányítója, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a műszaki tudomány doktora. A Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyész-mérnöki Kar Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Fémteni és Képlékenyalakítási Intézeti Tanszékének professor emeritusa.

**SVÉDA MÁRIA** a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa.

**VERES ZSOLT** a HUN-REN – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport tagja, a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet docense.

**MÁDAI FERENC** PhD, egyetemi docens, intézetigazgató, Miskolci Egyetem

**EVANE CESAR JOAO DE CUÑHA** PhD-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**ABDUSSALAM AUWAL** MSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**TAMMAM ALBAINE** MSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**MOHAMED AHMAD ABD EL HADI BADAWI** PhD-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**NÉMETH NORBERT** PhD, egy. docens, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**FÖLDESSY JÁNOS** professzor emeritus, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

**HORVÁTH ZOLTÁN** PhD bányafelügyeleti ügyintéző, Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Országos Bányakapitányság

**KISS JÁNOS** PhD földtudományi szakreferens, Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat

**TÖRÖK KÁLMÁN** PhD földtudományi szakreferens, Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat

# ADÓ 1%

Tisztelt Tagtársak!

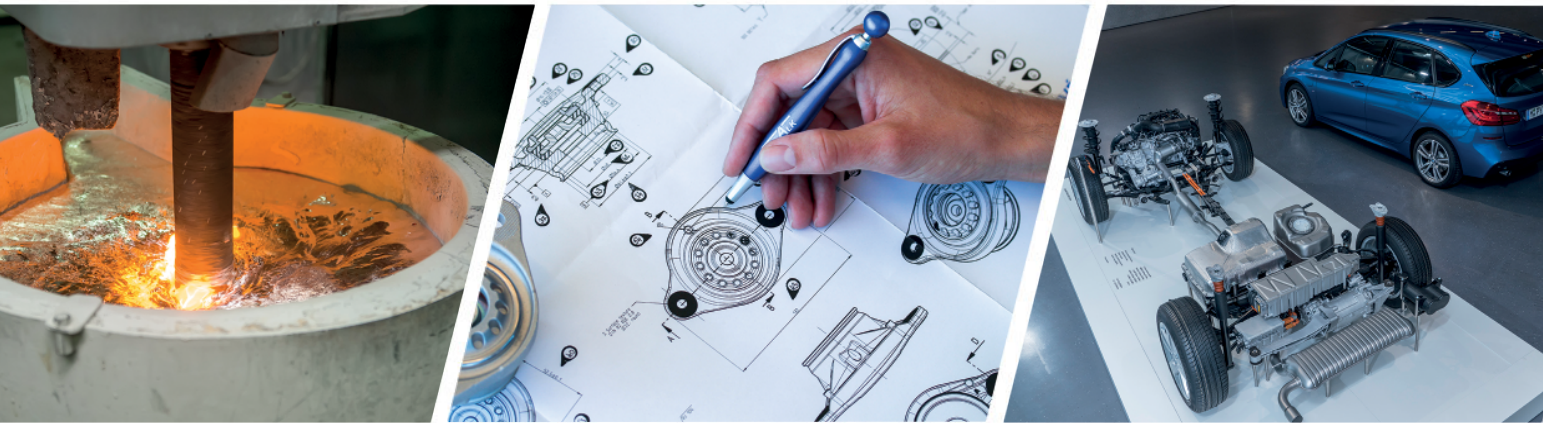
Köszönjük tagtársainknak az idei SZJA 1%-os felajánlásokat.

Egyesületünk részére 1.250.640,- Ft-ot utalt a NAV.



Jó szerencsét!

# FÉMALK



A FÉMALK ZRT. MÁR  
**TÖBB MINT HARMINC ÉVE**  
MEGHATÁROZÓ SZEREPLŐJE  
AZ AUTÓIPARNAK.

**CSATLAKOZZ  
CSAPATUNKHOZ!**

**[WWW.FEMALK.HU/KARRIER](http://WWW.FEMALK.HU/KARRIER)**