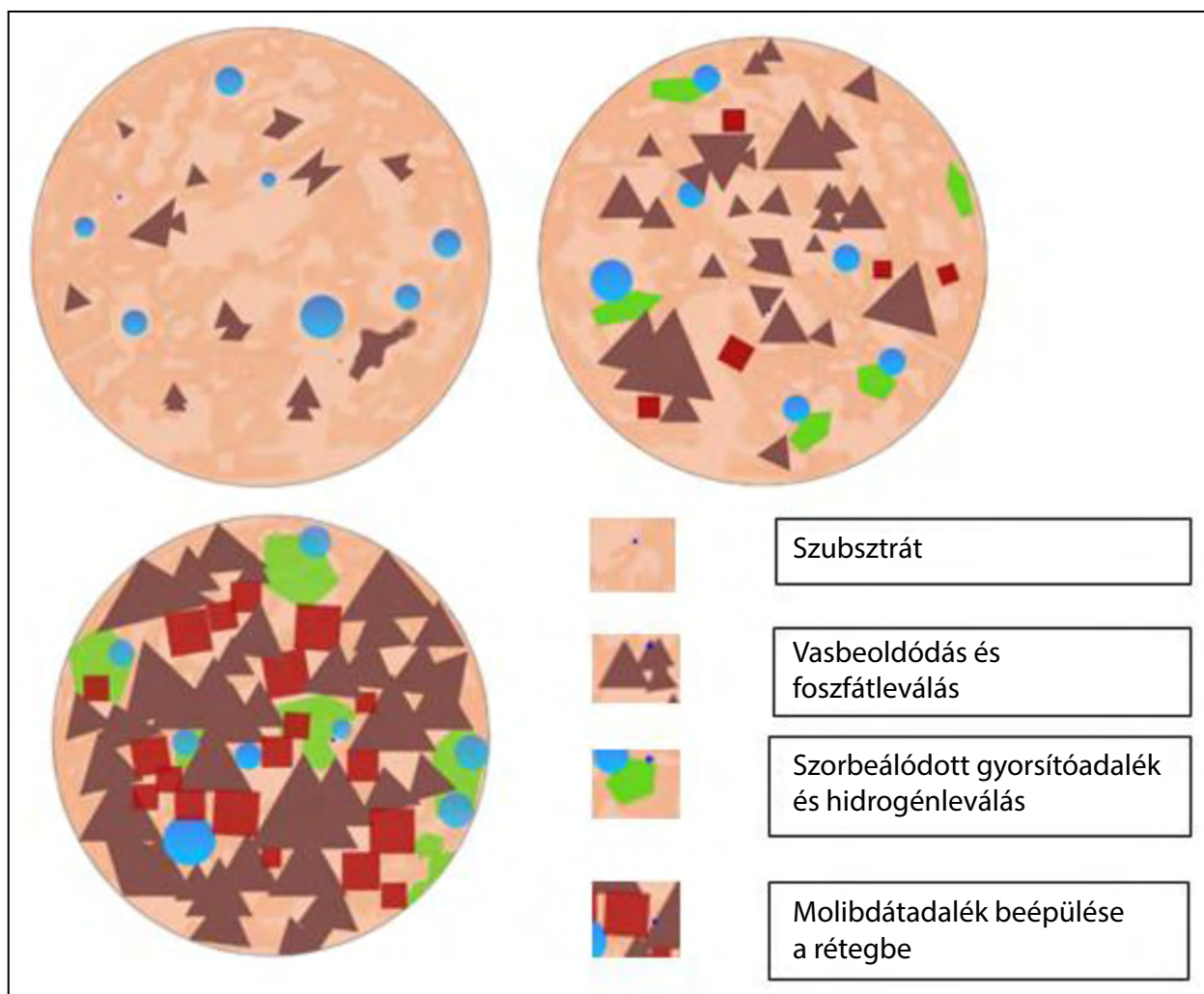




A vasfoszfát-molibdát-réteg kiépülésének szemléltetése



FROM THE CONTENTS

115TH ASSEMBLY OF DELEGATES OF THE HUNGARIAN NATIONAL MINING AND METALLURGICAL ASSOCIATION .. 2

ANDRÁS ROÓSZ: Publication of Open Access articles ... 9

ARNOLD RÓNAFÖLDI, ZSOLT VERES, ANDRÁS ROÓSZ: Determination of the conditions of laminar/turbulent flow transition using pressure compensation method in the case of Ga75In25 alloy stirred by RMF ... 10

OMASZTA ISTVÁN: Thoughts on Evans' model of rock fission ... 19

CSILLA BALASSA, CSABA TÁTRAI, CSILLA PATAKY, IVÁN GYENES, KRISZTIÁN ANTAL, HASAN ÉTERAF, JÁNOS FÖLDESSY: Critical Raw Materials Hungary Data Collection. 2. Minor element enrichments in certain sedimentary mineral formations .. 25

MÓNICA NAGYNÉ FEKETE, TAMÁS ISTVÁN TÖRÖK: Evolution of phosphate-containing conversion layers in surface treatment: iron phosphating with molybdate additive ... 32

BOCZ ANDRÁS, KISS BALÁZS, MÁRKUS DÉNES, NARANCSIK ZSOLT, VAINEL VIKTOR: Conversion of elongation values .. 45

ANNA BELLA GALYAS: The effect of hydrogen content on the energy content that can be transferred through the natural gas transmission network ... 51



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,
Székács 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

AZ ORSZÁGOS MAGYAR BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI EGYESÜLET 115. KÜLDÖTTGYŰLÉSE.	2
ROÓSZ ANDRÁS: Nyílt hozzáférésű tanulmányok közlése	9
RÓNAFÖLDI ARNOLD, VERES ZSOLT, ROÓSZ ANDRÁS: A lamináris/turbulens áramlás átmenet feltételeinek meghatározása nyomáskompenzációs módszerrel RMF által kevert Ga75In25 ötvözet esetében	10
OMASZTA ISTVÁN: Gondolatok Evans közethasítási modelljéről	19
CSILLA BALASSA, CSILLA PATAKY, KRISZTIÁN ANTAL, CSABA TÁTRAI, IVÁN GYENES, HASAN ETERAF, JÁNOS FÖLDESSY: Critical Raw Materials Hungary Data Collection 2. Minor element enrichments in certain sedimentary mineral formations [A Kritikus Nyersanyagok Magyarország Adat- gyűjteményből. 2. Ritkaelem-dúsulások értékelése egyes üledékes nyersanyag előfordulásainkban]	25
NAGYNÉ FEKETE MÓNKA, TÖRÖK TAMÁS: Foszfáttartalmú konverziós rétegek evolúciója a felületkezelésben: vasfoszfátózás molibdátadalékkal	32
BOCZ ANDRÁS, KISS BALÁZS, MÁRKUS DÉNES, NARANCSIK ZSOLT, VAINEL VIKTOR: Nyúlásértékek átszámítása	45
GALYAS ANNA BELLA: A hidrogéntartalom hatása a földgázszállító hálózaton átszállítható energiatartalomra vonatkozóan	51

(for English titles see B2 page)

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

Címlapon: A vasfoszfát-molibdát-réteg kiépülésének szemléltetése
(Publikáció a 32. oldalon)

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával jelenik meg.

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 115. Küldöttgyűlése

115th Assembly of Delegates of the Hungarian National Mining and Metallurgical Association

2024. május 11-én megtartotta ülését az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 115. Küldöttgyűlése. Az eseménynek Budapesten a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságának díszterme adott helyet.

The Hungarian National Mining and Metallurgical Association held its 115th Assembly of Delegates on May 11, 2024. The event took place in the hall of the Supervisory Authority for Regulated Activities in Budapest



Szavaznak a 115. Küldöttgyűlés résztvevői

A 115. Küldöttgyűlést *dr. Hatala Pál* nyitotta meg, majd a tanácskozás résztvevői elénekelték a nemzeti Himnuszt. Ezután az elnök köszöntötte a Küldöttgyűlés résztvevőit, az Egyesület tagságának küldötteit, a tiszteleti tagokat és pártoló tagokat, a Miskolci Egyetem képviselőit, az ország egyetemének, Valéa Bizottságainak képviselőit, a társszervezetek képviselőit, a hatóságok képviselőit, a meghívott vendégeket. Külön köszöntötte *dr. Tardy Pál*, exelnököt, a Szeniorok Tanácsának elnökét, *Rabi Ferencet*, a Bánya-, Energia- és Ipari Dolgozók Szakszervezetének elnökét, *Zelei Gábort*, a Magyar Bányászati Szövetség ügyvezető főtítkáráját, valamint *dr. Debreczeni Ákost*, az OMBKE Felügyelőbizottságának elnökét. Külön megköszönte *dr. Bíró Marcellnek*, az SZTFH elnökének, hogy lehetővé tette, hogy a 115. Tisztújító Küldöttgyűlés méltó környezetben végezhesse munkáját.

Az elnök felolvasta *dr. Pataki Attila* tiszteleti tag neki írt levelét, melyben lemond mind egyesületi, mind tiszteleti tagságáról.

Ezt követően *dr. Hatala Pál* elnök, egészségügyi indokokra hivatkozva bejelentette lemondását az egyesületi elnöki pozícióról, kérve a küldöttgyűléstől annak tudomásul vételét. A tanácskozás a bejelentést



Dr. Hatala Pál és dr. Szombatfalvy Anna

tudomásul vette. A levezető elnöki tisztelet *dr. Szombatfalvy Anna* alelnök vette át, és megköszönte az elnöknek a tagság nevében is az elnöksége alatti hat év áldozatos munkáját, amit az Egyesületért folytatott.

Ezután *Rabi Ferenc*, a Bánya-, Energia- és Ipari Dolgozók Szakszervezetének elnöke köszöntötte a Küldöttgyűlést, az egész bányásztársadalom nevében.

Ezt követően *Hollósi László*, a Mandátumvizsgáló és Szavazatszámoló Bizottság elnöke átadta a hitelesített jelenléti íveket és bejelentette:

- ❑ az Egyesület szavazati jogú küldötteinek száma: 134 fő,
- ❑ a határozatképességhez szükséges küldöttek száma (50% +1 fő): 68 fő,
- ❑ a hitelesített jelenléti ívek alapján jelen lévő küldöttek száma: 82 fő,
- ❑ ami több, mint ami a határozatképességhez szükséges.

Az alelnök megállapította, hogy a 115. Küldöttgyűlés *határozatképes*. Ezt követően az alelnök a következő személyeket javasolta a 115. Küldöttgyűlés tisztségviselőinek.

Mandátumvizsgáló és Szavazatszámoló Bizottság:

- ❑ *Farkas György*, okl. kohómérnök
- ❑ *Gábrisné Konrád Anikó*, okl. gázipari mérnök
- ❑ *Hollósi László*, földmérő (elnök)

Jelölőbizottság:

- ❑ *Németh László* okl. bányamérnök (elnök)
- ❑ *Hajnáczy Tamás* okl. bányamérnök
- ❑ *Hajnal János* okl. kohómérnök
- ❑ *Katkó Károly* okl. kohómérnök
- ❑ *Nagyné Halász Erzsébet* okl. kohómérnök
- ❑ *Id. Ősz Árpád* okl. olajmérnök
- ❑ *Dr. Török Tamás* okl. kohómérnök

Határozatszövegező Bizottság:

- ❑ *Dr. Pintér Richárd*, okl. kohómérnök (elnök)
- ❑ *Dencs László* okl. olajmérnök
- ❑ *Dr. Fegyverneki György*, okl. kohómérnök

Jegyzőkönyv készítője: Pintér Mária, egyesületi titkár

Jegyzőkönyv-hitelesítők: Boross Péter okl. kohómérnök, *Huszár László* okl. bányamérnök.

A tisztségviselőkről szóló javaslatokat a Küldöttgyűlés egyhangúlag megszavazta.

Ezután a Küldöttgyűlés egyhangúlag elfogadta a meghirdetett Napirendet (1. sz. melléklet: [lásd itt.](#))

Hagyományainkhoz híven a Bányász Himnusz hangját hallgatva, a küldöttgyűlés résztvevői megemlékeztek az előző küldöttgyűlés óta *elhunyt tagtársainkról*. (Az elhunytak listáját a 2. számú melléklet tartalmazza. [Olvasható itt.](#))

Az alelnök bejelentette, hogy mivel a Bányászati Szakosztály április 20-i tisztújító küldöttgyűlésén a többség nem választotta meg alelnöknek *Kárpáti Lászlót*, aki ezért arra a következtetésre jutott, hogy nem kívánja a továbbiakban képviselni a szakosztályt az elnökségben. Az április 25-i szóbeli lemondását

május 6-án írásban is megerősítette. *Dr. Szombatfalvy Anna* megköszönte *Kárpáti László* munkáját.

Ezután az alelnök felkérte *Kőrösi Tamás* egyesületi igazgatót, hogy ismertesse az *Elnökség beszámolóját*.

Az Egyesület Elnökségi beszámolója

Az Egyesület igazgatója elmondta, hogy az Egyesület előző küldöttgyűlés óta végzett tevékenységéről és a 2023. év gazdálkodásáról szóló jelentést (mérleg és eredménykimutatás), a közhasznúsági jelentést, a Felügyelőbizottság jelentését, valamint a határozati javaslatokat a küldöttek írásban megkapták. Így felszólalásában néhány gondolattal kiegészítette a beszámolót, és ismertette a 2024. évi gazdálkodási terv fő mutatóit, vetítéssel is illusztrálva azokat. Elmondta, hogy az OMBKE 2023-ban, a közhasznú szervezetekről szóló törvény és az Egyesület alapszabályában megfogalmazott előírások szerint működött. A 114. küldöttgyűlés határozatai elfogadták az Egyesület 2022. évi pénzügyi beszámolóit, közhasznúsági jelentését és a 2023. évi tervet, valamint az Egyesület befektetési szabályzatát.



Kőrösi Tamás az Egyesület igazgatója tartotta meg az elnökség beszámolóját

Az Elnökség tevékenységéről szólva kifejtette, hogy a 2023. május 20-ai Küldöttgyűlés óta a Választmány nyolcszor ülésezett, „hibrid” módon, fizikai részvétellel és „online” módon, ezeken a tanácskozáson rendszeresen megvitatták, értékelték a soron következő teendőket és az egyesület jelentősebb eseményeit.

Felsorolta az elmúlt egy év legfontosabb feladatait.

- ❑ Kiemelten foglalkozott az Elnökség az egyesületi „médiamix” további fejlesztésével, beleértve a *Bányászati és Kohászati Lapok* megújítását, a *Hírlevél* rendszeres heti közlését, az egyesületi közösségi felületek létrehozását

és a honlap fejlesztését. A BKL felelős szerkesztője *Hajnal József* okl. kohómérnök lett, akiben rutinos, a média területén sok tapasztalattal rendelkező újságíró nyert az Egyesület. Vezetésével az új szerkesztőbizottság nagyon jól dolgozik, elősegítve, hogy nagy elődünk, Péch Antal által 1868-ban alapított *Bányászati és Kohászati Lapok* ezentúl a 155 éves dicső múltjához méltó színvonalú tudományos lapként jelenik meg, digitális formában.

- ❑ *Hajnal József* a *Hírlevél* szerkesztését is elvállalta, megújítva annak struktúráját, felhasználva több évtizedes újságírói rutinját.
- ❑ 2023. március 18-án hatalmas tűzvész pusztított Selmecebánya központjában, az általunk oly jól ismert Szentháromság téren. Hét világörökségi épület tetőszerkezete és felső szintjei lángoltak, köztük a Bányászati Múzeum levéltára is. A tüzet sikeresen eloltották, de szinte felbecsülhetetlen kár érte a Bányászati Múzeumot, s megsegítésükre már a következő héten adománygyűjtést kezdett szervezni Egyesületünk. A gyűjtés eredményeként, a mi szintünkön igen sikeresnek mondhatóan, 2500 Eurónak megfelelő összeg gyűlt össze, négy hónap alatt. Szlovák testvéregyesületünkkel, és a múzeum vezetésével tárgyalva úgy döntött az Egyesület vezetése, hogy az adományt közvetlenül a múzeum vezetésének adja át, elkerülve az esetleges adminisztratív süllyesztők lehetőségét. Így 2023. augusztus 1-jén az OMBKE elnöke, alelnöke és igazgatója személyesen készpénzben átadta az összeggyűjtött adomány összegét a Selmecei Bányászati Múzeum igazgatónőjének.
- ❑ Nagy örömmel számolhatok be róla, hogy három nagy konferenciánk, a Magyar Öntő Napok, az Országos Bányászati Konferencia és

a Kő- és Kavicsbányász Napok is kiváló eredménnyel, jelentős anyagi bevétellel zárult. Reméljük, idén is követni tudjuk ezt a tendenciát, a résztvevők magas számát is beleértve.

- ❑ Az Elnökség több ülésén foglalkozott a 115. Küldöttgyűlés előkészítésével, s határozott kitüntetések odaítéléséről, valamint új tiszteleti tagjainak a Küldöttgyűlésre való előterjesztéséről is.
- ❑ Az Egyesület pénzügyi helyzetét az Elnökség rendszeresen elemezte, értékelt a gazdálkodást, és a 2023. évi mérleget és közhasznúsági jelentést elfogadta és a Küldöttgyűlés elé terjeszti jóváhagyásra.
- ❑ Az Elnökség döntött a 2024. évre vonatkozó gazdálkodási terv Küldöttgyűlés elé terjesztéséről összhangban a Felügyelőbizottság és a Könyvvizsgáló véleményével, jóváhagyásra.
- ❑ Fontos eleme a 2024-es tervnek, hogy az Elnökség duplájára emelte a Szakosztályok által az év folyamán önállóan felhasználható egyesületi költségkereteket. Erről később részletesen is fogok szólni.

A taglétszám alakulásáról elmondta:

- ❑ 2023. december 31-én az Egyesületnek 2388 tagja volt.
- ❑ A 114. küldöttgyűlés óta, mint ahogy az imént szomorúan hallhattuk, 42 tagunk hunyt el.
- ❑ Az viszont örvendetes, hogy 2023-ban 97 új tag lépett be, így a kilépésekkel, tagság-megszűnésekkel együtt is 19 fővel nőtt a létszám az előző évhez képest.

Ennek ellenére, továbbra is jelentős problémát jelent, hogy a tagok számottevő része nem fizeti rendszeresen a tagdíját. 2023.12.31-ig mindösszesen 1877 tagtársunk fizette ki az



A tanácskozás résztvevői a beszámolót hallgatják

évi tagdíját. A többszöri felhívás hatására az első negyedévben nagyon sokan rendezték tartozásukat, de még így is számottevő azok létszáma, akik nem fizették meg az előző évi tagdíjukat. A Civil törvény és az új Alapszabály előírása szerint, akinek az előző évről tagdíj elmaradása van, és március 31-g nem fizeti ki, azoknak meg kell szüntetnünk a tag-ságukat!

Ismételten felhívjuk a szakosztályok és helyi szervezetek figyelmét, hogy egyeztessenek a nem fizető tagjaikkal.

- ❑ Tanulságos, hogy az Egyesület taglétszá-mának kétharmada 60 év fölötti, és 30%-a 75 év feletti. Látszik az egyesület átlagélet-korának folyamatos növekedése, ami ellen tennünk kell. A 40 év alattiak száma nem éri el a 10%-ot, ezért elsősorban a fiatalok, egyetemi végzősök beléptetését kell szorgal-moznunk.

A legrégebbi és legidősebb tagtársakról a következőket mondta:

- ❑ Legidősebb tagunk *dr. Pilissy Lajos*, az önté-szeti szakosztály tagja és 1925-ben született, elmúlt 99 éves! Egyben ő a legrégebb óta tagja Egyesületünknek, 1948-ban lépett be!
- ❑ A magas életkor, a hosszú egyesületi tagság tiszteletet érdemel... Dörgő hangon köszöntsük *dr. Pilissy Lajost*: VIVÁT! VIVÁT! VIVÁT!

Az Egyesület gazdálkodásával kapcsolatban kifejtette:

- ❑ Az egyéni tagdíjbevételek csökkenése kapcsán meg kell jegyezni, hogy bizony a tagdíjfize-tési fegyvelmen van javítani valónk!
- ❑ Pártoló tagdíj-bevételeink szerencsére nem csökkentek
- ❑ A személyi jövedelemadó 1%-ából származó bevételeink 1 millió Ft-ot kicsit meghaladóak, de ez a folyamatosan idősödő korösszetétel miatt várhatóan csökkenni fog, hiszen a nyug-díjkból nem vonnak jövedelemadót! Minden-esetre továbbra is kérjük aktív dolgozó tagtár-sainkat, hogy az 1% átutalásával valamennyien tiszteljék meg az Egyesületünket a jövőben.

A 2024-es tervezésről részletesebben szolt:

- ❑ A 2024-es év pénzügyi tervezésénél óvatos optimista közelítést alkalmaztunk, figyelemmel az általános gazdasági környezet és az előző évben kialakult inflációs helyzet várható vál-tozásaira. A pontosabb tervezéshez segítséget nyújtott, hogy mind az egyéni tagdíjknál, mind a pártolói tagdíjknál gyakorlatilag az április végéig beérkezett tény összegeket le-

hetett figyelembe venni. Továbbá, már két idei jelentősebb rendezvényünk lebonyolítása megtörtént, így ezek tényszámait lehetett hasz-nálni, mind a bevételi, mind a kiadási oldalon. A bérköltségek jelentősnek tűnő emelkedését az okozza, hogy az informatikus rendszergazda korábban egyéni vállalkozó volt, és az ő illet-ménye a megbízási díjknál szerepelt 2023-ban. Ez évben a rendszergazda normál mun-kavállaló, ezért a bérét itt kell szerepeltetni, ez növeli a bérköltséget.

A Szakosztályok önállóan felhasználható költségkere-tei 2024-ben:

- ❑ Az Elnökség, 2024. február 27-i ülésén megszavazta és határozatot hozott, hogy a Szakosztályok által önállóan felhasználható költségkeretek gyakorlatilag 2024-ben a dup-lájára emelkedjenek, 2023-hoz viszonyítva. A költségkeretek az alábbi szabályok szerint alakultak:

a) A Szakosztályok költségkeretei 2024 évre legyenek:

- a Szakosztály rendes tagjai által a tárgy-évet megelőző évben december 1-ig be-fizetett egyéni tagdíj legalább 30%-a,
- plusz a Szakosztályhoz kapcsolhatóan a tárgyévet megelőző évben december 1-ig befizetett általános célú pártolói tagdíj legalább 30%-a.
- az Egyetemi Szakosztály esetében az Egyesület pártoló tagjai által tárgyévet megelőző évben december 1-ig befizetett általános célú tagdíj legalább 10%-a.

b) A Szakosztályok önállóan felhasználható költségkeret terhére történő elszámolás és kifizetés csak az illetékes Szakosz-tály elnök ellenjegyzésének birtokában történhet meg. Ezenkívül a 2023-ban el nem költött, áthozott költségkereteiket is elkölthetik.

Ezekkel az intézkedésekkel remélhe-tőleg sikerül a Helyi Szervezetek régóta problémát jelentő gazdálkodási lehetősé-geit úgy bővíteni, hogy idén jóval több, sikeres szakmai programot tudnak szer-vezni, mint korábban. Hiszen mindannyi-an tudjuk, hogy az egyesületi élet valójá-ban a Helyi Szervezetekben folyik, ők az Egyesület testének létfontosságú sejtjei, őket kell táplálni, segíteni!

Végül *Kőrösi Tamás* a 114. Küldöttgyűlés óta eltelt esztendő fontosabb egyesületi eseményeiről vetített képes beszámolót.

A Felügyelőbizottság beszámolója

Ezt követően *dr. Debreczeni Ákos*, okleveles bányamérnök, a Felügyelőbizottság elnöke, terjesztette szóbeli jelentését a Küldöttgyűlés elé. Elmondta, hogy a Felügyelőbizottság a 2023-as év gazdálkodásának ellenőrzése során az alábbi dokumentumokat tárgyalta meg:

- a kettős könyvvitelt vezető egyéb szervezet egyszerűsített éves beszámolója és közhasznúsági melléklet (PK-942) beszámolót,
- a Kiegészítő mellékletet,
- a Közhasznúsági mellékletet a 2023. évről,
- az Egyszerűsített éves beszámoló mérlegét,
- az Egyszerűsített éves beszámoló eredménykimutatását,
- a Kiegészítő melléklet az egyszerűsített éves beszámolóhoz,
- a Független könyvvizsgálói jelentést és
- a Teljességi nyilatkozatot.



Dr. Debreczeni Ákos a Felügyelőbizottság elnöke előterjeszti szóbeli jelentését

A független könyvvizsgáló megállapította, hogy az egyszerűsített éves beszámoló megbízható és valós képet ad az Egyesület 2023. december 31-én fennálló vagyoni és pénzügyi helyzetéről.

Az egyszerűsített mérleg és az eredménykimutatás szerint az eszközök és a források egyező végösszege 175.350.000,- Ft, a tárgyévi eredmény 3.366.000,- Ft nyereség. Az eredmény teljes összege közhasznú tevékenységből származik. Az Egyesületnek vállalkozási tevékenységből nem volt bevétele. A saját tőke 2023-ban 3.366.000,- Ft-tal nőtt.

A Felügyelőbizottság javasolja a 2023-as pénzügyi és előzőekben felsorolt dokumentumainak elfogadását.

Dr. Debreczeni Ákos elmondta, hogy a Felügyelőbizottság megvizsgálta a 2024-es pénzügyi tervet és az azt alátámasztó kalkulációkat. Megállapítjuk, hogy az Egyesület Vezetése az általa ismert adatok alapján igyekezett reális költségtervet készíteni. A gazdálko-

dás tervezett eredménye 1.128.364,- Ft, amely mérsékelt tartalékot jelent váratlan pénzügyi események fedezetére. Ezenkívül a szakosztályok is képeztek összesen 625.367,- Ft tartalékot előre nem látható költségeikre, valamint rendelkezésükre áll további 1.521.104,- Ft előző évről áthozott fel nem használt keret.

Az elmúlt években az Egyesület gazdálkodása átalakult, jelentős pénzügyi eredményjavulást hozó intézkedések történtek. Ezzel együtt a költségszerkezet is módosult, székházvásárlásra került sor, melynek fenntartása jelentős kiadással jár. Megváltozott a szakosztályok finanszírozása is. A Felügyelőbizottság megállapítja, hogy a 2024-es költségvetésben tervezett kiadási szerkezet fenntartásához növelni kell a bevételeket. Törekedni kell a pályázati és a bérbeadásról származó bevételek növelésére is. A Felügyelőbizottság javasolta a 2024. évi pénzügyi terv elfogadását.

Az alelnök megköszönte a Felügyelőbizottság jelentését, majd felkérte a *dr. Pintér Richárd* által vezetett Határozatszövegező Bizottságot, hogy a testület kezdje meg a munkáját és készítse el határozati szövegjavaslatát.

Tiszteleti és tiszteletbeli tagok kitüntetése

Ezután a napirend szerint a tiszteleti és tiszteletbeli tagok megválasztása következett. A tiszteleti tagok választása az Elnökség előterjesztése alapján a küldöttgyűlés nyílt állásfoglalásával történik. Tehát egyenként, nyílt szavazással választották meg a jelölteket.

Kőrösi Tamás egyesületi igazgató ismertette az Elnökség előterjesztését:

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület elnöksége a 2024. április 25-i ülésén az Elnökség tagjainak szavazatai szerint

Tiszteleti tag kitüntető címre:

Dallos Ferencné, Bács Péter és Sallay Árpád tagtársainkat jelöli,

Tiszteletbeli tag címre:

Werner Norbert tagtársunkat jelöli a 115. Küldöttgyűlés elé elfogadásra.

Dallos Ferencné, Bács Péter és Sallay Árpád tagtársaink az egyesületi munka keretében az Egyesületért, az Egyesület céljainak megvalósulásáért, a szakmáink fejlesztéséért és hagyományaink ápolásáért több évtizedes munkájukkal sokat fáradoztak, s ezzel a tagság többsége előtt elismerést és nagyrabecsülést szereztek. Ezért javasolja az Elnökség *Dallos Ferencné, Bács Péter és Sallay Árpád* tagtársainkat az Egyesület tiszteleti tagjává választani.

Werner Norbert, magyar ajkú szlovák állampolgár, az elmúlt több, mint két évtized során Egyesületünkért tett, kiemelkedően odaadó és önzetlen, mindenkor segítőkész munkája során minden felvidéki területen, de főleg Selmecbányán rengeteget segített nekünk, fordítani, előkészíteni, szervezni, minden vonatkozásban. A város vezetőivel, a Szlovákiai Bányászati Egyesületek és Céhek Szövetsége, a Szlovák Bányászati Szövetség szervezeteivel kialakult gyümölcsöző viszony, a magyar bányász és kohász tagtársakkal működő kiválóan nyitott és mindenkor segítőkész kapcsolat (akár Szlovákiában, akár Magyarországon, akár Romániában vagy máshol) meghatározóan segíti Egyesületünk nemzetközi kapcsolattartó munkáját.

A Küldöttgyűlés *Dallos Ferencné*t egyhangúlag, *Bács Pétert* 3 tartózkodással, *Sallay Árpádot* egyhangúlag megválasztotta az Egyesület tiszteleti tagjává. *Werner Norbertet* egyhangúlag megválasztotta a Küldöttgyűlés az Egyesület tiszteletbeli tagjává.

Ezután *dr. Szombatfalvy Anna* alelnök gratulált a kitüntetetteknek és átadta a tiszteleti és tiszteletbeli tagsággal járó jelvényeket és okleveleket.



Bács Péternek dr. Szombatfalvy Anna alelnök nyújtotta át a kitüntetést

Új, a bányászati szakmákat képviselő alelnök megválasztása

Dr. Szombatfalvy Anna alelnök szólta a Küldöttgyűlés résztvevőire. Elmondta: Mivel *Kőrösi Tamás* alelnök tavaly novemberben – elvállalva az egyesületi igazgatói megbízást – szintén lemondott alelnöki tisztségéről, így a Küldöttgyűlésnek új, a bányászati szakmákat képviselő alelnököt kell választania. Itt szeretném megragadni az alkalmat, hogy megköszönjem a tagság nevében *Kőrösi Tamás* 14 éves munkáját!

Ezt követően az alelnök felkérte *Németh Lászlót*, a Jelölőbizottság elnökét, hogy ismertesse a bizottság javaslatát. *Németh László* ismertette a bizottság javaslatát, mely szerint a bányászati szakmákat képviselő alelnöki posztra *Jármai Gábor* okl. olajmérnök tagtársunkat javasolják. További javaslat nem volt, így *Jármai Gábor* neve került a szavazólapokra.

Az ülést levezető alelnök feltette a kérdést, van-e a Küldöttgyűlés résztvevőinek további hozzászólása, indítványa. *Dr. Fegyverneki György*, az Öntészeti Szakosztály elnöke jelentkezett hozzászólásra, melyben megköszönte a szakosztály nevében *dr. Hatala Pál* elnök hatéves munkáját. Ezután kifejtette javaslatát, mely szerint a Knappentag után egyeztetni kíván a többi szakosztály vezetőivel egy teljes tisztújításról az Egyesületben.

Ezt követően az alelnök 30 perces szünetet rendelt el a szavazás lebonyolítására. A szünet után *Törő György*, a Bányászati Szakosztály elnöke, a XII. Bányász-Kohász-Erdész Találkozó szervezőbizottságának vezetője kért szót. Röviden tájékoztatta a Küldöttgyűlést a találkozó előkészületeiről.

Kiemelkedő tevékenységek elismerése

2024-ben az OMBKE Elnöksége

- *Az Egyesület kiemelkedő támogatója* címet adományozta *dr. Szabó György* olajmérnöknek, a TDE Services felelős műszaki vezetőjének (FMV), a MOL NyRt. egykori vezérigazgatójának,
- *Az év bányászati-kohászati kiállítóhelye szakmai díjat* adományozta a zalaegerszegi *Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum (MOGIM)* részére az OMBKE Történelmi és Múzeumi Bizottsága javaslata alapján,
- *Az év bányászati-kohászati kiállítóhelye közönségdíjat* adományozta a *Rudabányai Bányászattörténelmi Múzeum* részére a beérkezett szavazatok alapján.

A díjakat *dr. Szombatfalvy Anna* alelnök adta át.

Ezt követően az alelnök érmeket, 50 éves tagsággért járó jelvényeket, plaketteket és okleveleket adott át. (A kitüntetettek listáját a 3. számú melléklet tartalmazza: [letöltés itt.](#))

A Küldöttgyűlés határozatai

1-115/2024. (05.11.) számú határozat:

A Küldöttgyűlés elfogadta az OMBKE 2023. évről szóló közhasznúsági jelentését.

2-115/2024. (05.11.) számú határozat:

A Küldöttgyűlés elfogadta az OMBKE 2023. évről szóló számviteli beszámolóját és a mérleget.

3-115/2024. (05.11.) számú határozat:

A Küldöttgyűlés elfogadta a Felügyelő Bizottság jelentését az OMBKE 2023. évi tevékenységéről.

4-115/2024. (05.11.) számú határozat:

A Küldöttgyűlés elfogadta az OMBKE 2024. évi gazdálkodásáról szóló tervet.

Ezután az új alelnök megválasztásával kapcsolatos eredmény ismertetésére került sor.

Az OMBKE új, bányászati szakmákat képviselő alelnöke: Jármai Gábor lett. Dr. Szombatfalvy Anna alelnök gratulált a megválasztott új, a bányászati szakmákat képviselő alelnöknek, akinek átadta a díszszalagját, melyet az ünnepélyes átvétel után az új alelnök felöltött.



Jármai Gábor megköszönte a bizalmat

Dr. Szombatfalvy Anna alelnök felkérte dr. Lengyel Károlyt, az Alapszabály Bizottság elnökét a fontos tájékoztatás ismertetésére.

Dr. Lengyel Károly elmondta: Az Alapszabályban rögzítettek alapján fő szabály szerint az Egyesület ügyvezetését az Elnökség látja el. Az Elnökség döntéseinek végrehajtását az elnök szervezi meg, egyben saját hatáskörében egyedül és teljeskörűen képviseli



Dr. Lengyel Károly az Egyesület vezetésével összefüggő szabályokról beszélt

az Egyesületet. Akadályoztatása, jelen esetben lemondása után a két alelnök, vagy egyes esetekben az Elnök hiánya miatt az Elnökség írásos megbízása alapján egy elnökségi tag és az egyesületi igazgató együttes aláírásával lehet az Egyesület képviseletét hivatalosan ellátni az új elnök megválasztásáig.

Valamennyiünk felelőssége, hogy ez az állapot átmeneti és minél rövidebb legyen, elsősorban a Jelölőbizottság és az Elnökség tagjainak, a szakosztályok, különösen a bányászati szakmák területén tevékenykedő szakosztályok vezetőségének, de mindnyájunk munkája, bölcsessége kell mindehhez. Ezt diktálja az Egyesület érdeke.

A pénzügyek kezelése az eddigi rend szerint az egyesületi igazgató és az egyesületi titkár együttes aláírásával történik.

Ezt követően Dr. Szombatfalvy Anna levezető alelnök zárszavában megköszönte a részvételt és a szervezők munkáját. Végül felkérte Boross Pétert, hogy intonálja szakmai himnuszainkat.



A 115. Küldöttgyűlés a Bányász, Erdész és Kohász Himnusz közös eléneklésével fejeződött be

Tisztelt Olvasó!

A Magyar Tudományos Akadémia alapításakor gróf. Széchenyi István a következőket mondta: „A nemzetiség és nyelv erősítése, terjesztése és pallérozása szent céljára felajánlom minden birtokom egyévi jövedelmét”. A tudományos életben a jelen korban az a veszély fenyegeti a magyar nyelvet, hogy nem vagy nagyon kevés magyar nyelvű publikáció jelenik meg, aminek következtében sorvad az egyes tudományágak magyar nyelvvezete. Ennek oka, hogy a nemzetközi tudományos élet nyelve, az elmúlt néhány évtized alatt az angol lett, így aki elkövette azt a „hibát”, hogy tudományos pályán akar érvényesülni, angolul kell publikálnia. Az eddigi – a folyóiratokban nyomtatásban megjelenő – publikációk esetében az volt a gyakorlat, hogy a szerzőnek le kellett mondania a szerzői (kiadási) jogáról, azt a folyóirat birtokolta a megjelenést követően. Ennek következtében ugyanaz a cikk nem jelenhetett meg más nyelven, így például magyarul sem. Arra a szerzőknek általában már nem igen maradt ideje, energiája, hogy az angol nyelvű cikk eredeti tartalmától eltérő nyelven jelentessék meg a cikkeiket. Ennek az lett a következménye, hogy vagy egyáltalán nem publikáltak magyarul, vagy csak a kevésbé fontos és érdekes eredményeket közölték anyanyelvünkön. Jelentős fordulat állt azonban be az elmúlt évtizedben, a széles körben terjedő Open Access (OA) folyóiratok megjelenésével. Az ezekben a folyóiratokban a publikálásért a szerző valamilyen forrásból (saját zsebéből, a kutatási projektből, vagy ami a legkedvezőbb, az állam a kiadóval kötött szerződés alapján) fizet a kiadónak. Ebben az esetben a jogok a szerzőnél maradnak, az ún. GREEN megjelenés esetében 1-2 évvel a megjelenés után, illetve GOLD megjelenés esetében a szerző korlátozás nélkül terjesztheti az angol nyelvű változatot, illetve lefordíthatja (az esetek jelentős részében visszafordíthatja) magyar nyelvre. Természetesen azonos tartalom esetében a megjelenő cikk nem jelent újabb, elszámolható publikációt, és a címben meg kell jeleníteni, hogy ez másodközlés, feltüntetve az eredeti címet, valamint az eredeti megjelenés pontos bibliográfiai adatait.

A fémek és ötvözetek kristályosodásával foglalkozó kutatócsoport, amely a Miskolci Egyetem (ME) és a Magyar Kutatási Hálózat (HUN–REN) része, arra az elhatározásra jutott, hogy az általuk OA GOLD formában publikált cikkeket időről időre megjelenteti magyar nyelven a Bányászati és Kohászati Lapokban.

A Tisztelt Olvasó virtuálisan ennek első példányát tartja a kezében.

A csoport tagjainak nevében kívánok jó olvasást és Jó szerencsét!



Roósz András,
MTA r. tag
professor emeritus

A lamináris/turbulens áramlás átmenet feltételeinek meghatározása nyomáskompenzációs módszerrel RMF által kevert Ga75In25 ötvözet esetében

RÓNAFÖLDI ARNOLD^{1,2}, VERES ZSOLT^{1,2,*}, ROÓSZ ANDRÁS^{1,2}

¹HUN-REN – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport

²Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet

*E-mail: femvezso@uni-miskolc.hu

Másodközlés – Eredeti közlemény:

Determination of the conditions of laminar/turbulent flow transition using pressure compensation method in the case of Ga75In25 alloy stirred by RMF

Journal of Crystal Growth, 564 (2021) 126078

<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126078>

Az olvadáskáramlás mikroszerkezetre gyakorolt hatását számos egyirányú kristályosodási kísérlettel vizsgáltuk, ahol az olvadékot forgó mágneses mezővel kevertük. Jól ismert tény, hogy az olvadékhenger körfrekvenciája mindig eltér a mágneses mező körfrekvenciájától. A kísérletek során azonban nagyon nehéz az olvadékhenger körfrekvenciáját meghatározni. Jelen kísérletekben a mágneses Taylor-számot és a Reynolds-számot az olvadékhenger sugarának, a mágneses indukciónak és a mágneses tér körfrekvenciájának függvényében határoztuk meg a Ga75In25 ötvözet esetében korábban kifejlesztett úgynevezett nyomáskompenzációs módszerrel. A kapott mérési eredmények felhasználásával ellenőrizhetők a hasonló kísérletek elvégzésére kifejlesztett szimulációk, valamint a különböző kísérletek helyesen összehasonlíthatók. A lamináris/turbulens áramlási átmenethez tartozó kritikus Reynolds-szám ismeretében az átmenethez tartozó kritikus mágneses indukció értékét az olvadékhenger sugarának függvényében határoztuk meg.

Kulcsszavak: olvadáskáramlás, mágneses mező, keverés, mágneses Taylor-szám, Reynold-szám, Ga75In25 ötvözet

1. Bevezetés

A kialakuló mikroszerkezetet (primer és szekunder dendritágtávolság, mikro- és makrodúsulás) és ezáltal a szilárd anyag mechanikai tulajdonságait jelentősen befolyásolja a fémes olvadék megszilárdulása során a kevert (ún. *mushy*) zónában végbemenő olvadáskáramlás. Számos kutatócsoport foglalkozik az olvadáskáramlás szimulációjával és az olvadáskáramlás hatására kialakuló mikroszerkezet (és mechanikai tulajdonságok) számításával. Az ipari megszilárdulási folyamatok során (folyamatos és félfolytonos acél- és alumíniumöntés stb., különböző formaöntési módszerek, nyomásos öntési módszerek) az olvadáskáramlás sebességét pusztán becsléssel lehet megállapítani a kevert zónában, így a szimulációk összehasonlításával nem validálhatók pontosan.

A validáláshoz használt kísérletek többsége során az olvadékot egyirányú hőelvonással kristályosították, és forgó mágneses mezővel (*Rotation Magnetic*

Field, RMF) keverték [1–9]. A kísérleteket elsősorban a mágneses Taylor-szám (Ta_m) jellemzi [4, 5].

$$Ta_m = \frac{1}{2} \frac{\sigma B^2 R^4 \omega_0}{\rho \nu^2}, \quad (1)$$

ahol

σ [S/m] – az olvadék fajlagos elektromos vezetőképessége,

B [T] – mágneses indukció,

ω_0 [rad/s] – a mágneses tér körfrekvenciája,

R [m] – a minta sugara,

ρ [kg/m³] – olvadék sűrűsége,

ν [m²/s] – az olvadék kinematikai viszkozitása.

Az áramlásszimulációk jelentős része feltételezi, hogy az áramlás lamináris (az egyszerűsítés miatt). A Reynolds-szám alapján eldönthető, hogy az áramlás lamináris vagy turbulens-e. A hengersizmetrikus olvadék áramlása esetén az áramlást jellemző Reynolds-szám az alábbi:

$$Re = \frac{\omega_0 R^2}{\nu}. \quad (2)$$

Az irodalom alapján:

„Ha a Reynolds-szám 0 és 2320 között van, akkor az áramlást laminárisnak tekintjük. A Reynolds-szám 2320–4000 között van, instabil áramlási állapotot jelez, a lamináristól a turbulensig. A 4000-nél nagyobb Reynolds-szám turbulens áramlást jelez.” [10]

„Az áramlás teljesen turbulenssé vált 4200-nál. A csőáramlás-átmenet elfogadott tervezési értéke jelenleg 2300. Ez pontos a csöveknél.” [11]

„A Reynolds-szám segítségével könnyen meghatározható, hogy a folyadékáramlás lamináris vagy turbulens-e. Az alábbiakban bemutatjuk egy kör alakú cső határértékeit, amelyek felhasználhatók az áramlás típusának a meghatározására [12]:

1. Ha $Re > 2300$, akkor az áramlás lamináris.
2. Ha $2300 < Re < 4000$, akkor az áramlást átmenetinek mondják.
3. Ha $Re > 4000$, akkor az áramlás turbulensnek mondható.”

Tehát a két kritikus Reynolds-szám (Re_{cr}) 2320 és 4000.

Helytelen értéket kapunk mind a Taylor-szám, mind a Reynolds-szám esetén akkor, ha a mágneses tér szinkron fordulatszámából számított ω értéket helyettesítjük az (1) és (2) egyenletbe, mivel az olvadék nem forog ezzel a fordulatszámmal. Ennek oka az olvadék belső súrlódása, amely a viszkozitás eredménye. Tapasztalataink szerint az olvadék fordulatszáma csak rendkívül magas B értéken közelíti meg a mágneses tér szinkron fordulatszámát, de nem éri el azt. Ezt a tényt figyelembe kell venni a kísérletek jellemzésére szolgáló mágneses Taylor-szám vagy Reynolds-szám, valamint a lamináris/turbulens átmenet meghatározásakor.

Tehát a kísérletet helyesen jellemző mágneses Taylor-szám a következő (lásd a *Függelékben*):

$$Ta_m^* = \frac{1}{2} \frac{\sigma B^2 R^4 (\omega_0 - \omega)}{\rho \nu^2} \quad (3)$$

és a Reynolds-szám:

$$Re^* = \frac{\omega R^2}{\nu}, \quad (4)$$

ahol ω a forgó olvadék valós körfrekvenciája.

A fent említett tényekből arra lehet következtetni, hogy rendkívül fontos tudni az olvadékban egy adott B és ω_0 értéknél kialakuló valós körfrekvencia (ω) értékét, hogy értékelhessük a kristályosodási kísérleteket. Ennek az értéknek a meghatározására számos különböző számítási és modellezési módszer létezik, de a valós körfrekvencia értékét kísérletekkel kell meghatározni e módszerek validálása céljából.

Alacsony olvadáspontú fémek és ötvözetek esetében az áramlási sebesség az olvadékba merülő, kis tehetetlenségű turbinák fordulatszámának meghatározásával határozható meg [13]. Egy másik lehetséges módszer – amely elsősorban bármely olvadáspont esetén alkalmazható – a forgás hatására kialakuló szabad felület alakjának meghatározása és a kerületi sebesség kiszámítása. Az első esetben az olvadék áramlását csökkenti a turbina tehetetlensége és súrlódása által okozott nyomaték, ráadásul a turbina nem éri el az olvadék fordulatszámát. A második esetben rendkívül nehéz pontosan meghatározni a szabad felület alakját, különösen akkor, ha viszonylag magas hőmérsékleten szeretnénk meghatározni (pl. Al-ötvözetek esetében 550–700 °C hőmérséklet-tartományban).

Jelen munkánk célja azoknak a kísérleti paramétereknek (B , R) a meghatározása volt, amelyeknél a Ga75In25 ötvözet olvadékáramlása laminárisról instabilra és instabilból turbulensre változik. A forgó mágneses tér felhasználásával keverés hatására kialakuló valós körfrekvenciát a mágneses indukció függvényében határoztuk meg egy korábban különböző mintaátmérők alkalmazásával kifejlesztett úgynevezett nyomáskompenzációs módszerrel (PCM) [14]. A fenti hibákat és nehézségeket a PCM módszerrel működő berendezés kiküszöböli, ezért az alkalmas a számításokkal kapott eredmények validálására és a lamináris/turbulens átmenethez tartozó mágneses indukció meghatározására.

2. Kísérletek

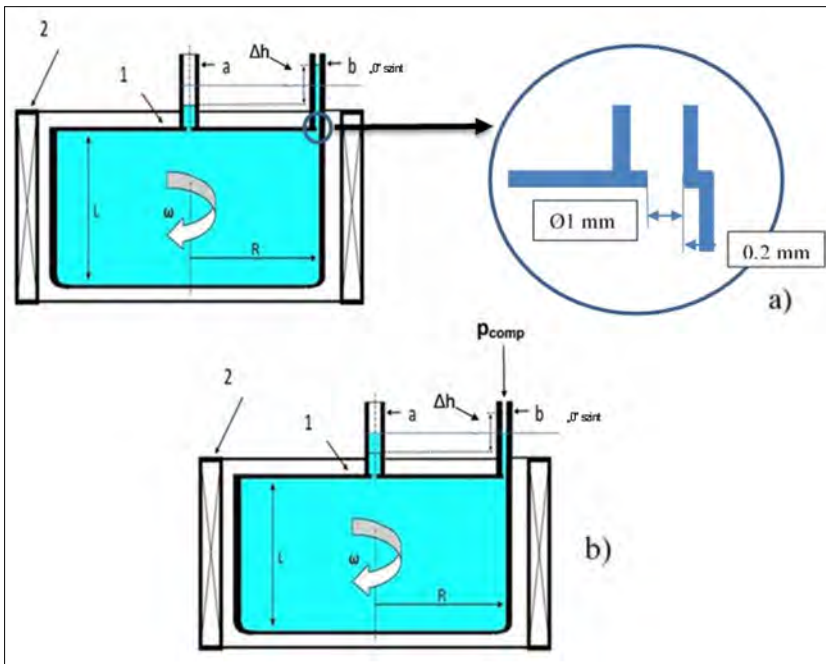
2.1. A valós körfrekvencia meghatározásának elve

Jól ismert tény, hogy a forgó folyadékoszlopban a sugár mentén változik a nyomás, mivel a folyékony részek különböző sebességgel mozognak a különböző sugarú helyeken. A fenti tény szerint a szabad felület alakja paraboloid.

A nyomásváltozás a sugár mentén mérhető abban az esetben, ha a folyadékot szabad felület nélkül, azaz zárt tartályban forgatják. A nagyobb nyomásérték nagyobb sugárhoz tartozik. Ez a jelenség felhasználható a forgó folyadék átlagos fordulatszámának meghatározására, például a forgó mágneses mező (RMF) által kevert fémolvadék fordulatszámának meghatározására is. A forgástengelyben uralkodó nyomáshoz viszonyított Δp nyomáskülönbség kiszámítható a zárt tartály bármely pontján és bármely r sugarú helyen jelen lévő olvadékrészek sebességkülönbségeinek ismeretében. A kerületi sebesség nulla a forgástengelyben, így:

$$\Delta p = \frac{\rho [v(r)]^2}{2} = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2}, \quad (5)$$

ahol $v(r)$ az r sugarú körben kialakuló kerületi sebesség.



1. ábra. a) Az olvadákszint a mérőcsövekben a mágneses indukció bekapcsolása előtt (1), zárt tartály, (2) RMF induktor, „a” és „b” a mérőcsövek. b) Az olvadákszint a mérőcsövekben a mágneses indukció bekapcsolása után a nyomáskompensáció előtt

Az ω körfrekvencia a mért nyomásból számítható ki:

$$\omega = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (6)$$

2.2. A mérőegység felépítésének alapelve

Nagyon nehéz mérni az olvadékban kialakuló nyomást a zárt tartályban az olvadék áramlásának megzavarása nélkül, ezért a nyomást nem közvetlenül a zárt tartályban mértük. Abban az esetben, ha a nyomásmérést az $r = R$ helyen akarjuk elvégezni, akkor a zárt tartályt 2 mérőcsővel kell kiegészíteni. Az egyiket az 1a. ábrán az „a”-val jelölt tégely tengelyén ($r = 0$), a másikat („b”-vel jelölve) pedig a tartály peremén ($r = R$). Tehát a két mérőcsatlakozás és a tégely



2. ábra. Fénykép a forgó gallium szabad felszínéről [13]

„közlekedő edényt” hoz létre. Az olvadákszint azonos a mérőcsövekben abban az esetben, ha az RMF induktor nem működik, és a légköri nyomás azonos a mérőműszer-csatlakozásokban. Ez a „0” szint.

A nyomás mérésére az $r = R - 0,2$ mm pozíciót választottuk, mert ott van a maximális nyomáskülönbség, és így ott van a mért nyomás minimális relatív hibája.

Egy másik kísérletben [13] a forgó Ga szabad felületének alakjára gyakorolt falhatást vizsgáltuk. Az alak forgási paraboloid volt (ahogy ez az elméletből következik), kivéve a falhoz közel, ahol a szabad felület magassága csökkent. A képen látható fehér öv a szabad felület maximális magasságát mutatja $\sim 0,2$ mm-re a faltól. A PCM módszerrel ezen a helyen mértünk. A mérőcső belső átmérője 1 mm volt (2. ábra),

és 0,2 mm-re volt a tartály falától. A szabad felület vizsgálata alapján arra következtetünk, hogy a falhatás nagyon kicsi, és ezzel a beállítással kis hibával megmérhető a maximális nyomáskülönbség. A tartály anyaga nagyon sima falú teflon volt. Egy kísérlet ideje csak 30 másodperc volt, és a két kísérlet közötti idő 15 perc volt, így az ötvözetet nem melegítettük az indukcióval. Az olvadék hőmérséklete minden kísérletben 22 ± 1 °C volt.

Az „a” és „b” mérőcsövekben az olvadék szintjei között Δh értékű szintkülönbség alakul ki abban az esetben, ha az olvadékot az RMF induktor forgatja (keveri) (lásd az 1b. ábrát). Az olvadékoszlop $\rho g \Delta h$ metalosztikus nyomása egyensúlyban van a tartály tengelye és a tartály kerülete között kialakuló nyomáskülönbséggel (Δp_{\max}), ha az olvadék szabad felülete a mérő csövekben légköri nyomásán van, azaz:

$$\Delta p_{\max} = \frac{\rho[v(R)]^2}{2} = \frac{\rho \omega^2 R^2}{2} = \rho g \Delta h, \quad (7)$$

$$\omega = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\max}}{\rho}}, \quad (8)$$

ahol $v(R) = R$ sugarú körben kialakuló kerületi sebesség.

A Δh magasságkülönbség közvetlenül is mérhető, így a kialakuló Δp_{\max} nyomáskülönbség kiszámítható ennek felhasználásával. Mivel a Δh értéke nagy (néhány 100 mm-nél is nagyobb) lehet, (pl. Δh értéke

37 500 Pa esetén ($37\,500/[6350 \times 9,81] = 0,6$ m), ezért más megoldást választottunk.

A nyomáskülönbséget úgy határoztuk meg, hogy az olvadékfelületet magasságát a két mérőcsőben a „b” mérőműszerben levő levegő p_{comp} nyomásával visszaállítottuk a „0” szintre (1b. ábra). A megfelelő levegőnyomást egy precíziós pneumatikus rendszerrel hoztuk létre. A nyomásmérés pontossága 20 Pa volt, ami lényegesen kevesebb relatív hibát eredményezett, mint a közvetlen távolságmérés. A mérés és a berendezés részleteit [14] tartalmazza.

3. Kísérletek

A kísérleteket szobahőmérsékleten végeztük, ezért a Ga75wt%In25wt% ötvözetet választottuk a kísérletek anyagához. Az ötvözet fizikai paramétereit az 1. táblázat mutatja be.

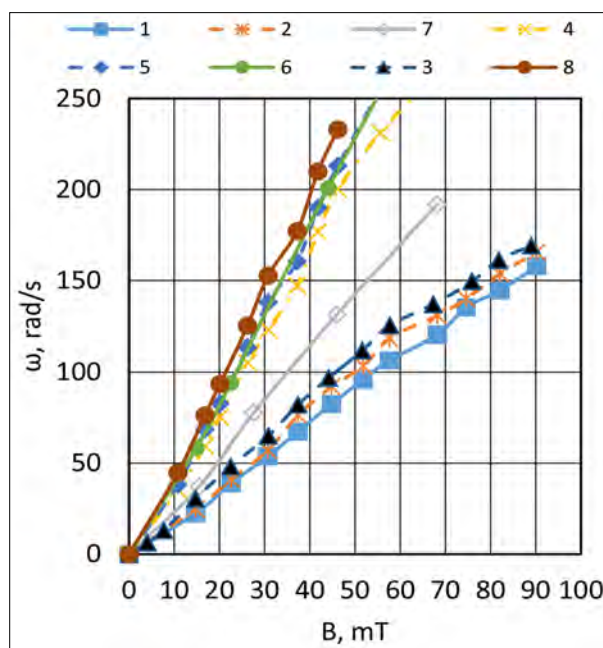
1. táblázat. A Ga75wt%In25wt% ötvözet fizikai paramétereit

Olvasáspont [°C]	15,7
Sűrűség – Ga [kg/m ³]	6350
Sűrűség – In [kg/m ³]	7020
Sűrűség* – Ga75In25 [kg/m ³]	6517,5
Kinematikai viszkozitás [m ² /s]	$3,41 \cdot 10^{-7}$
Fajlagos elektromos vezetőképesség [MS/m]	3,58
Relatív mágneses permeabilitás	1
Behatolási távolság**, 50/100/150/200 Hz-en, mm	36/26/21/18
* $\rho_{\text{GaIn}} = 0,75\rho_{\text{Ga}} + 0,25\rho_{\text{In}}$	
** $\delta = [1/(\sigma\pi f 4\pi \cdot 10^{-7})]^{0,5}$, ahol f a mágneses tér frekvenciája	

A kísérleteket 5, 7,5 és 12,5 mm sugarú olvadékhengerekkel végeztük 50, 100, 150 és 200 Hz frekvencián 0 és 90 mT közötti mágneses indukciós tartományban (2. táblázat). A zárt tartály mérete és így az olvadékhenger ($2R$) átmérője minden esetben kisebb volt, mint a behatolási távolság, kivéve a 200 Hz és $2R = 25$ mm eseteket. Az olvadékhenger (L) magassága 100 mm volt. A legnagyobb átmérő (25 mm) esetén négyszer nagyobb volt, mint az olvadékhenger átmérője, így a behatolási távolság és a „véghatás” a mérési eredményekre elhanyagolható volt.

A legalacsonyabb nyomásérték, amely jól mérhető a berendezéssel, 20 Pa. A fenti tények alapján a körfrekvencia (ω) biztonságosan mérhető legalacsonyabb értéke 15,85 rad/s $R = 5$ mm-es, 10,57 rad/s $R = 7,5$ mm-es és 6,32 rad/s $R = 12,5$ mm-es olvadékhenger esetében. A mért nyomás relatív hibája 2%-nál kisebb volt.

A 3. ábra a mért kompenzációs nyomást bemutatja a mágneses indukció függvényében 50 és 150 Hz-en 3 különböző olvadékhenger-sugár, valamint



3. ábra. Mért kompenzációs nyomás (P_{comp}) a mágneses indukció függvényében (B)

100 és 200 Hz esetén 5 mm-es olvadékhenger-sugár esetében.

4. Eredmények

A (8) egyenlet segítségével az olvadékhenger (ω) valós körfrekvenciája kiszámítható a P_{comp} értékéből. A számított értékeket a 4. ábra mutatja a B mágneses indukció függvényében. Gyakorlatilag a valós körfrekvencia a mágneses indukció lineáris függvénye a vizsgált tartományban. Értéke az olvadékhenger sugarával növekszik, és azt a tény követi, hogy az áramlást okozó Lorentz-erő arányos az olvadékhenger sugarával.

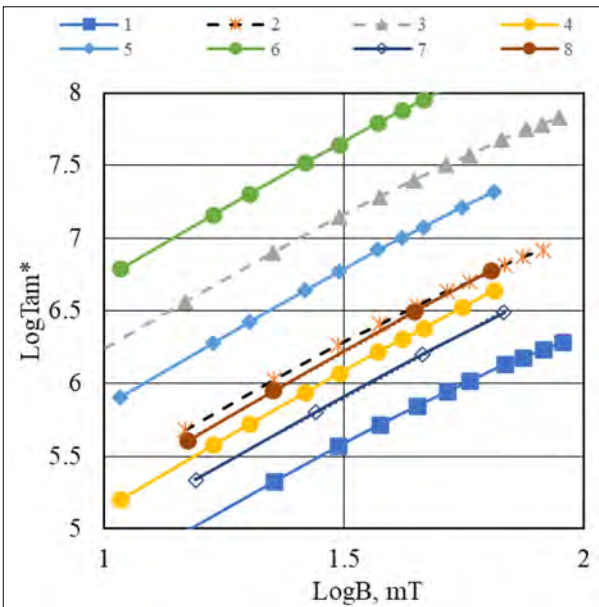
A (3) egyenlet segítségével kiszámítható az olvadékhenger valós körfrekvenciáját (ω) figyelembe vevő valós Ta_m^* (5. ábra).

Az irodalomban a kísérletet gyakran a Ta_m értéke jellemzi, amelyet csak a mágneses mező körfrekvenciája alapján számítanak ki. A (3) egyenlet alapján nyilvánvaló, hogy ez csak a kísérlet kezdetekor igaz, amikor az olvadékhenger körfrekvenciája nulla. A 6a. ábrán a Ta_m/Ta_m^* értékét ω/ω_0 függvényében ábrázoljuk; a Ta_m értéke 1,25-ször nagyobb, mint a Ta_m^* $\omega/\omega_0 = 20\%$ -nál, és 10-szer nagyobb $\omega/\omega_0 = 90\%$ -nál. A 6b. ábrán látható, hogy kísérleti körülményeink között ~ 30 mT mellett 1,25-szöröst kapunk $f = 50$ Hz esetén. A Ta_m kétszer nagyobb, mint a Ta_m^* $\omega/\omega_0 = 50\%$ esetén (90 mT-nál).

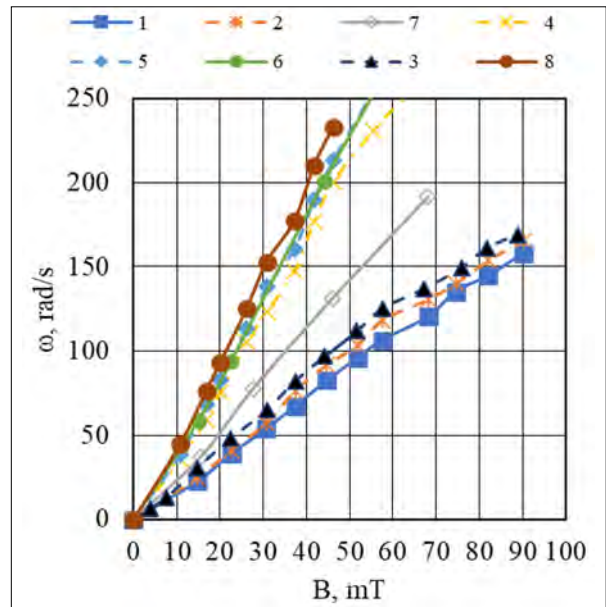
A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy a Ta_m érték kiszámítása a mágneses tér körfrekvenciájával csak viszonylag alacsony mágneses tér esetén engedhető meg, mivel a mágneses indukció növelésével egyre

2. táblázat. Számított értékek

No. exp.	R [mm]	C(R) ld. (9)	ω_{cr} [rad/s] $Re = 2320$	ω_{cr} [rad/s] $Re = 4000$	B_{cr} [mT] $Re = 2320$	B_{cr} [mT] $Re = 4000$	$Ta_{m cr}^*$ $Re = 2320$	$Ta_{m cr}^*$ $Re = 4000$
50 Hz								
1	5,0	131	3,16E+01	5,46E+01	17,71	30,53	2,57E+05	1,38E+06
2	7,5	318	1,41E+01	2,42E+01	7,30	12,58	8,34E+04	6,56E+06
3	12,5	927	5,06E+00	8,73E+00	2,50	4,31	3,46E+03	3,97E+04
150 Hz								
4	5,0	301	3,16E+01	5,46E+01	7,71	13,29	6,1E+04	3,73E+05
5	7,5	742	1,41E+01	2,42E+01	3,13	5,39	6,64E+03	6,03E+05
6	12,5	2250	5,06E+00	8,73E+00	1,03	1,78	7,70E+01	1,13E+03
100 Hz								
7	5,0	206	3,16E+01	5,46E+01	11,26	19,42	1,47E+05	8,04E+06
200 Hz								
8	5,0	330	3,16E+01	5,46E+01	7,03	12,12	5,84E+04	7,21E+04



4. ábra. Az olvadék körfrekvenciája (ω) a mágneses indukció függvényében (B)



5. ábra. Valós mágneses Taylor-szám ($\text{Log } Ta_m^*$) a mágneses indukció függvényében ($\text{Log } B$)

nagyobb hibaértéket kapunk, ezért ezt a Ta_m -ot használva a különböző kísérleteket nem lehet összehasonlítani.

A (4) egyenlet segítségével kiszámítható a valós Reynolds-szám (Re^*), ha az olvadékhenger valós (mért) körfrekvenciája ismert. A számított értékeket a 7. ábra szemlélteti. a mágneses indukció függvényében. A Re^* a B függvényeként a következőképpen írható le:

$$Re^* = C(R)B, \quad (9)$$

ahol C az R függvénye (2. táblázat), amelyet regresszió analízissel számítottak ki a 7. ábra adatait használva.

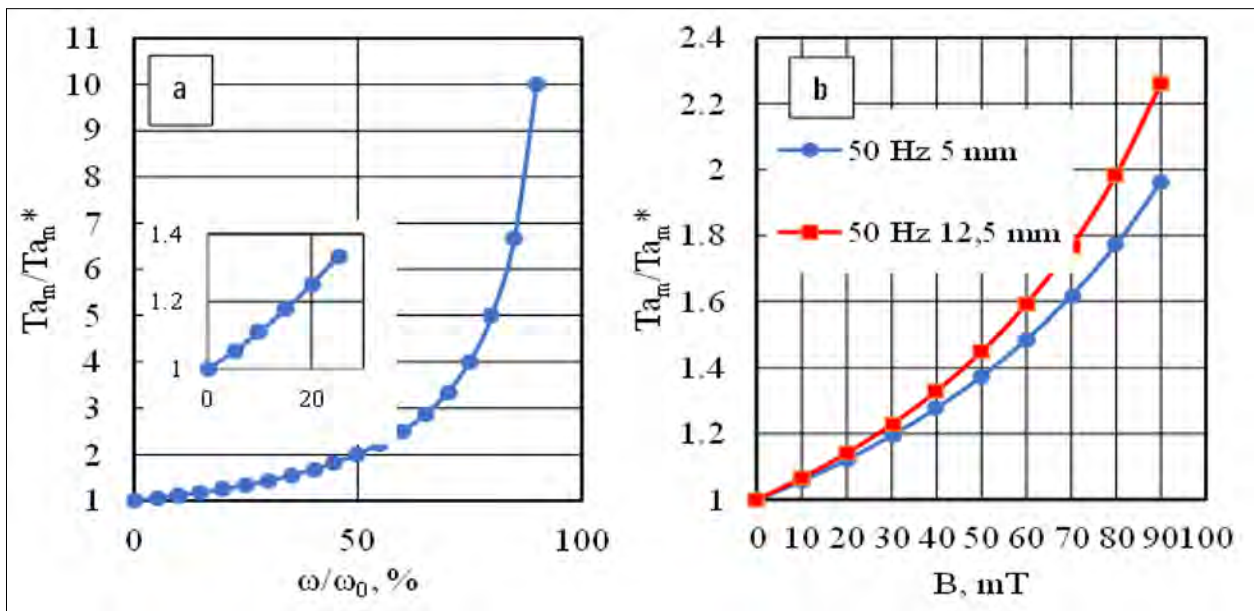
A Re^* alapján eldönthető, hogy az áramlás tisztán lamináris, instabil vagy tisztán turbulens. Mint koráb-

ban említettük, az olvadékáramlás tisztán lamináris, ha a $Re^* < 2320$, ha $2320 < Re^* < 4000$, akkor instabil áramlás van, ahol az örvények fejlődni kezdenek, és ha $Re^* > 4000$, az áramlás turbulens lesz. A két Re_{cr} -hez tartozó kritikus körfrekvencia a következő:

$$\omega_{cr} = \frac{Re_{cr}v}{R^2}. \quad (10)$$

A két határértékhez tartozó kritikus mágneses indukció (B_{cr}) kiszámítható a (9) egyenlet segítségével:

$$\begin{aligned} B_{cr}(Re = 2320) &= 2320/C(R), \\ B_{cr}(Re = 4000) &= 4000/C(R). \end{aligned} \quad (11)$$



6. ábra. a) A szakirodalomban használt mágneses Taylor-szám (Ta_m) és a valós (Ta_m^*) aránya az olvadék körfrekvenciájának (ω) a mágneses tér körfrekvenciájának (ω_0) függvényében. b) Az irodalomban használt mágneses Taylor-szám (Ta_m) és a valós (Ta_m^*) függvény mágneses indukció (B) aránya

Az ω_{cr} és B_{cr} értékek kiszámítása a 2. táblázatban található.

A kritikus mágneses indukció (B_{cr}) értékeinek az olvadékhenger sugarának függvényében történő ábrázolásával meghatározhatók a kísérleti körülmények – azaz az olvadékhenger sugara (R), a mágneses indukció (B) – abban az esetben, ha az áramlás tisztán lamináris, tisztán turbulens vagy instabil (a tisztán lamináris és turbulens között) lesz az olvadékban. A 8a. és 8b. ábra ezeket az eredményeket mutatják 50 és 150 Hz esetén. Ebből a két ábrából egyértelmű, hogy ezek az átmenetek a mágneses mező frekvenciájától (f) függenek. A 9a. ábra a frekvencia hatását mutatja a lamináris/instabil áramlás átmenetére, míg

a 9b. ábra az instabil/turbulens áramlás átmenetére gyakorolt hatást. Látható, hogy a mágneses mező körfrekvenciája jelentős hatással van a B_{cr} -re nagy sugár esetén.

A $C(R, f)$ értéke alapján (2. táblázat) a kritikus mágneses indukció az olvadékhenger sugarának (R) és a mágneses indukció frekvenciájának (f) függvényében a következő függvénnyel adható meg:

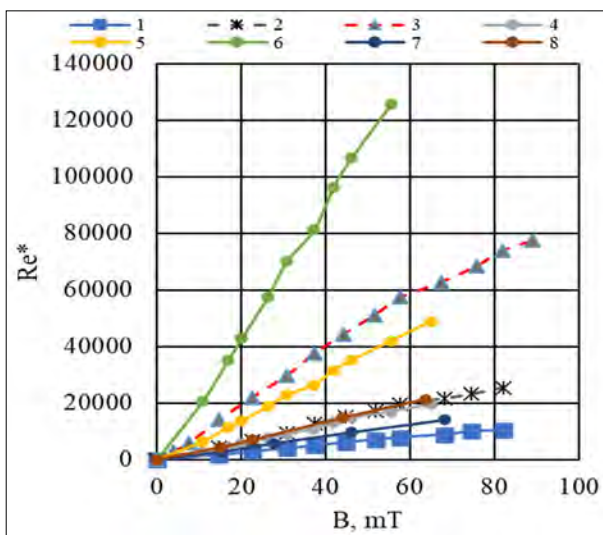
$$B_{cr} = Af^n R^{-2}, \quad (12)$$

ahol $A = 7769$, $n = -0,628$ $Re = 2320$ -nál és $A = 16591$, $n = -0,695$ $Re = 4000$ -nél $C(R)$ értékeinek többszörös regressziós analízisével számították ki. A mért és (12) alapján számított B_{cr} korrelációját a 10. ábra mutatja.

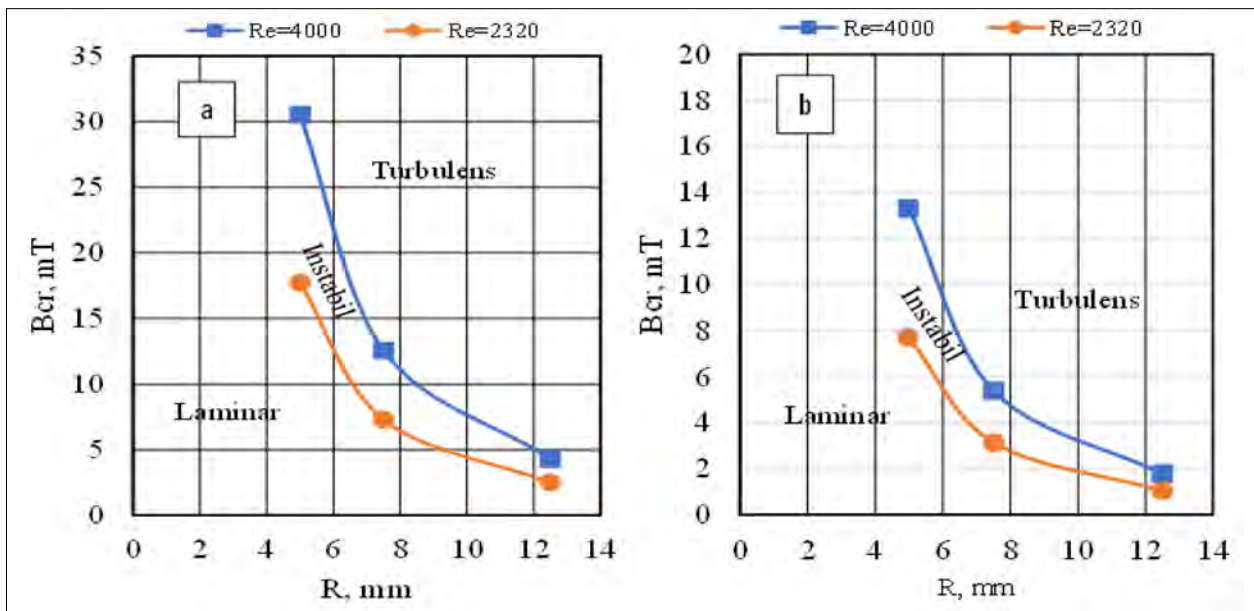
A meghatározott B_{cr} értékek felhasználásával a $Ta_{m,cr}^*$ értékek kiszámíthatók a (9) egyenlet segítségével a lamináris/instabil és instabil/turbulens átmenet-höz tartozó sugár függvényében. A $Ta_{m,cr}^*$ számított értékeit a sugár függvényében a 11a. és 11b. ábra mutatja 50, illetve 150 Hz-en. Ugyanígy a B_{cr} értékeihez hasonlóan a $Ta_{m,cr}^*$ a mágneses mező frekvenciájától is függ. A 12a. ábra a frekvencia hatását mutatja a lamináris/instabil áramlás tranziensére, míg a 12b. ábra az instabil/turbulens áramlás tranziensére gyakorolt hatását mutatja R függvényében. Ezek a $Ta_{m,cr}^*$ értékek hasonlóak a szakirodalomban található értékekhez [15].

4. Összefoglalás és következtetések

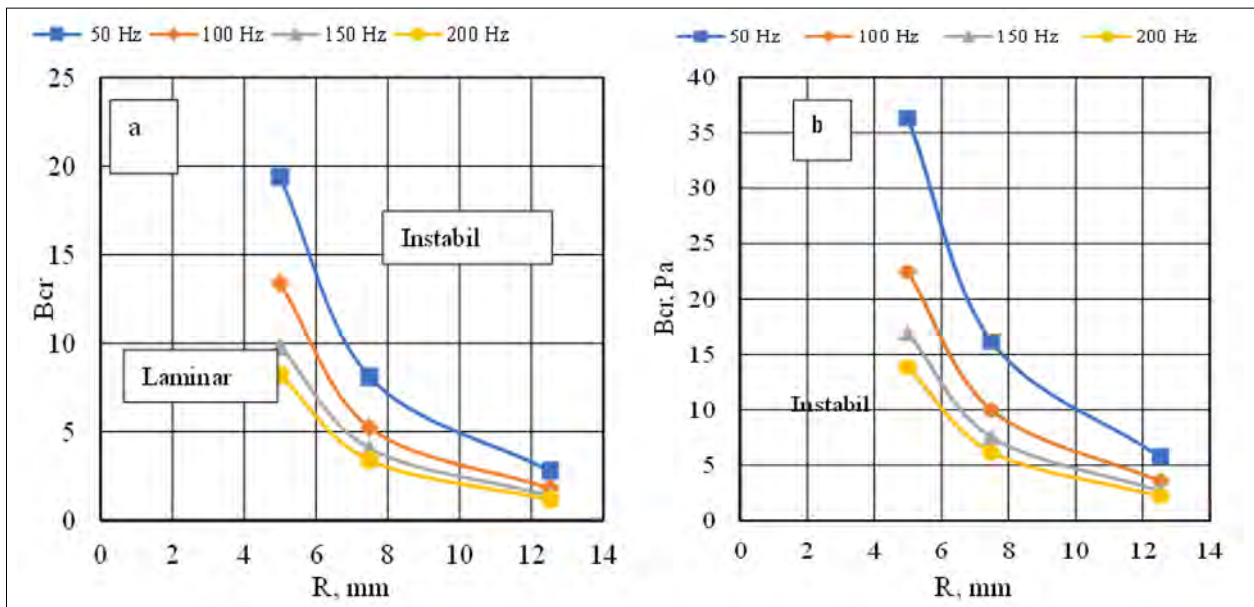
Számos esetben az olvadékáramlásnak a megszilárdulási folyamat során kialakuló mikroszerkezetre gyakorolt hatását hengeres geometriájú olvadékok (olvadékhengerek) egyirányú kristályosításával vizs-



7. ábra. A valós Reynolds-szám (Re^*) a mágneses indukció függvényében (B)



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

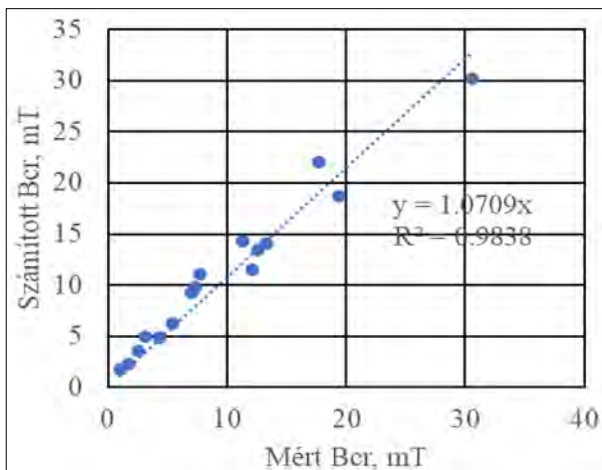


9. ábra. a) A kritikus mágneses indukció (B_{cr}) a minta sugarának (R) függvényében lamináris/instabil átmenet esetén 4 különböző mágneses térfrekvencián. b) A kritikus mágneses indukció (B_{cr}) a minta sugarának (R) függvényében instabil/turbulens átmenet esetén 4 különböző mágneses térfrekvencián

gáljuk, amikor az olvadékaramlást forgó mágneses mező (RMF) hozza létre. A kísérleteknek kettős célja van: egyrészt közvetlen információt kell szerezni az olvadékaramlásnak a kristályosodott mikroszerkezetre gyakorolt hatásáról, másrészt ellenőrizni kell a szimulációs módszerrel kapott eredményeket. Mindkét esetben nagyon fontos tudni az olvadék valós áramlási sebességét (ebben az esetben a forgó olvadékhenger körfrekvenciáját), amelyet nem lehet közvetlenül kiszámítani a mágneses mező körfrekvenciájából. Hasonlóképpen nagyon fontos tudni, hogy az áramlás lamináris vagy turbulens-e az adott kísérleti paramétereknél (úm. az olvadékhenger sugara (R), a

mágneses indukció (B) és a mágneses tér körfrekvenciája (ω)). A mágneses Taylor-szám által jellemzett különböző kísérletek összehasonlításához ismernünk kell annak valós értékét, amely figyelembe veszi az olvadék valós körfrekvenciáját.

Egy viszonylag egyszerű, úgynevezett nyomáskompensációs módszert (PCM) ismertettünk egy korábbi tanulmányunkban [12]. Ezzel a módszerrel az olvadék Ga75In25 ötvözet olvadékhengerének körfrekvenciáját (fordulatszámát) a mágneses indukció, a mágneses mező körfrekvenciája és az olvadékhenger sugara szobahőmérsékleten (22 ± 1 °C) függvényében határoztuk meg.



10. ábra. Mért és számított B_{cr} összehasonlítása

A közzétett eredmények felhasználásával és kiegészítésével:

- az olvadékáram valós körfrekvenciáját a mért nyomásértékekből számítottuk ki;
- a valós mágneses Taylor-számot a valós körfrekvencia ismeretében határoztuk meg; ez a szám felhasználható a különböző kísérletek eredményeinek összehasonlításakor;
- bebizonyosodott, hogy az irodalomban található mágneses Taylor-szám, amely nem veszi figyelembe az olvadék-henger valós körfrekvenciáját, felhasználható a kísérlet jellemzésére abban az esetben, ha a mágneses indukció értéke viszonylag kicsi, és az olvadék-henger körfrekvenciája nem haladja meg a mágneses tér körfrekvenciájának 20%-át;
- a valós Reynolds-számot a valós körfrekvencia ismeretében határoztuk meg;
- két kritikus mágneses indukció (B_{cr}) értékét, amelyek alatt az áramlás tiszta lamináris és tiszta tur-

bulens feletti, az olvadék-henger átmérőjének függvényében határoztuk meg a valós Reynolds-szám felhasználásával,

- két B_{cr} értéke az olvadék-henger R sugarának és a mágneses tér frekvenciájának függvényében adható meg a következő függvénnyel:

$$B_{cr} = \frac{Af^n}{R^2},$$

ahol $A = 7769$, $n = -0,628$ $Re = 2320$ -nál és $A = 16591$, $n = -0,695$ $Re = 4000$ -nél kísérletekkel határozhatók meg, és R [mm] az olvadék-henger sugara.

FÜGGELÉK

$$Ta_m^* = (Ha^2)Re, \quad (F1)$$

ahol Ha a Hartman-szám, Re a Reynolds-szám,

$$Ha = (\text{Lorentz-erő/súrlódási erő})^{1/2}. \quad (F2)$$

A Lorentz-erő (F_L) a mágneses mező (ω_0) és az olvadék (ω) körfrekvenciája közötti különbségtől függ, és a súrlódási erő az olvadék körfrekvenciájától függ:

$$F_L = (1/2) \sigma \omega_0 B^2 R S \quad \text{és} \quad \omega_0 = 2\pi f. \quad (F3)$$

Az S csúszás (*slip*) az aszinkron motornál (az RMF aszinkron motor) $S = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$, tehát

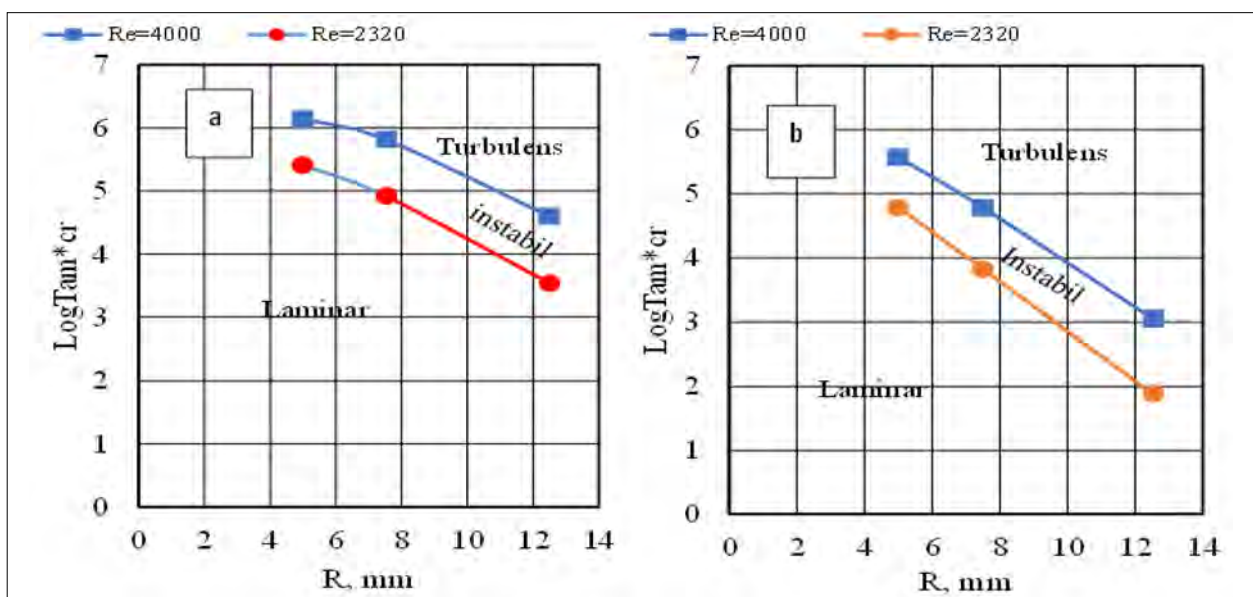
$$F_L = (1/2) \sigma B^2 R (\omega_0 - \omega). \quad (F4)$$

A súrlódási erő (F_F) az olvadék körfrekvenciájától függ:

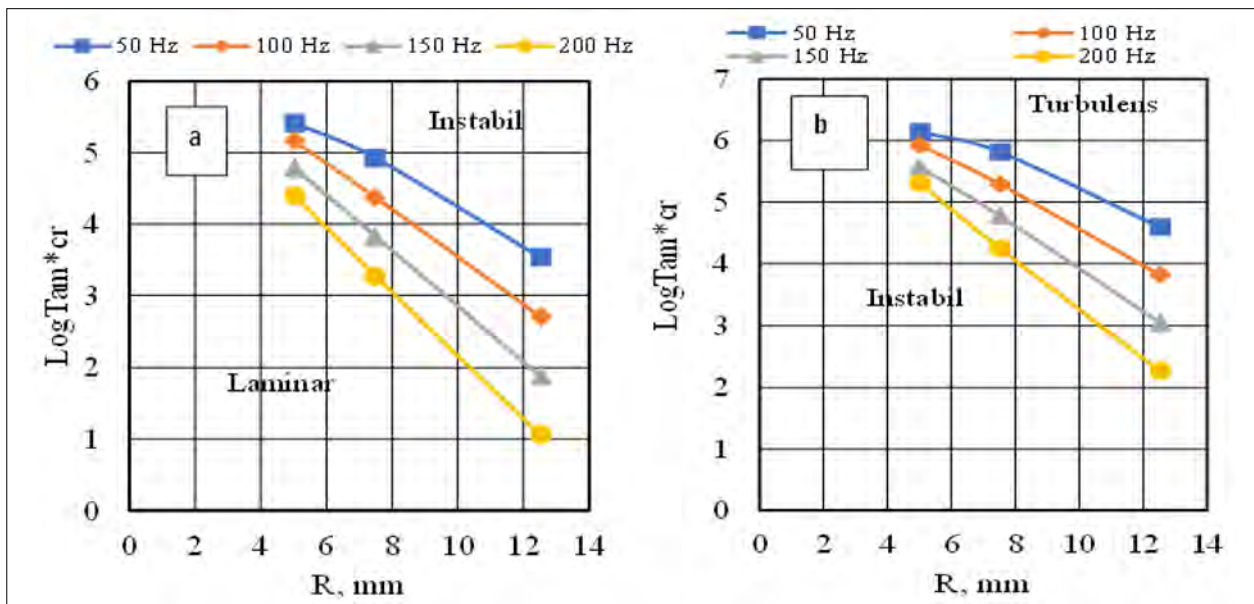
$$F_F = \nu \rho \omega / R. \quad (F5)$$

A Reynolds-szám az olvadék körfrekvenciájától függ:

$$Re = \omega R^2 / \nu. \quad (F6)$$



11. ábra. a) A kritikus valós mágneses Taylor-szám ($\text{Log } Ta_m^* cr$) mint a minta sugarának (R) függvényeként $f = 50$ Hz esetén. b) A kritikus valós mágneses Taylor-szám ($\text{Log } Ta_m^* cr$) a minta sugarának (R) függvényében $f = 150$ Hz esetén



12. ábra. a) A valós kritikus mágneses Taylor-szám ($\text{Log} Ta_m^* cr$) a minta sugarának (R) függvényében lamináris/instabil átmenet esetén 4 különböző mágneses térfrekvencián. b) A valódi kritikus mágneses Taylor-szám ($\text{Log} Ta_m^* cr$) a minta sugarának (R) függvényében instabil/turbulens átmenet esetén 4 különböző mágneses térfrekvencián

A módosított (helyes) Ta_m^* szám:

$$Ta_m^* = (1/2) [\sigma B^2 R (\omega_0 - \omega)] / (v\rho\omega/R) \cdot (\omega R^2/v) \quad (F7)$$

$$= (1/2) [\sigma B^2 R^4 (\omega_0 - \omega)] / (v^2\rho).$$

Ha ω nagyon kicsi ($\omega \ll \omega_0$), akkor visszkapjuk az eredeti Taylor-számot:

$$Ta_m^* = (1/2) \sigma B^2 R^4 \omega_0 / (v^2\rho). \quad (F8)$$

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a „Kristályosodott szerkezet és makrodúsulás kialakulása egyirányú kristályosítás során szabályozott áramlási körülmények között” című, ANN 130946 számú támogatásért

IRODALOM

- [1] B. Frago, H. Santos: Effect of a rotating magnetic field at the microstructure of an A354. *Journal of Materials Research and Technology*, 2 (2013), 100–109.
- [2] S. Nafisi, D. Emadi, M. T. Shehat, R. Ghomashchi: Effects of electromagnetic stirring and superheat on the microstructural characteristics of Al–Si–Fe alloy. *Materials Science and Engineering, A* 432 (2006) 71–83.
- [3] S. S. C. Lim, E. P. Yoon: The effect of electromagnetic stirring on the microstructure of Al-7wt%Si alloy. *Journal of Materials Letters*, 16 (1997) 104–109.
- [4] J. C. Jie, et al.: Separation mechanism of the primary Si phase from the hypereutectic Al–Si alloy using a rotating magnetic field during solidification. *Acta Materialia*, 72 (2014) 57–66.
- [5] B. Willers, et al.: The columnar-to-equiaxed transition in Pb–Sn alloys affected by electromagnetically driven convection. *Materials Science and Engineering, A* 402 (2005) 55–65.
- [6] J. Kovács, et al.: Quantitative Characterisation of Macroseggregation Produced by Forced Melt Flow. *Trans. Indian Inst. Met.* 60 (2007) pp. 149–154
- [7] J. Kovács, A. Rónaföldi, Á. Kovács, A. Roósz: Effect of the rotating magnetic field on the unidirectionally solidified macrostructure of Al6Si4Cu alloy. *Trans. Indian Inst. Metals*, 62 (2009) 461–464.
- [8] A. Rónaföldi, J. Kovács, A. Roósz: A suggested effective method for unidirectional solidification under rotating magnetic field in the space experiments. *Trans. Indian Inst. Metals*, 62 (2009) 475–477.
- [9] O. Budenkova, et al.: Simulation of a directional solidification of a binary Al-7wt%Si and a ternary alloy Al-7wt%Si-1wt%Fe under the action of a rotating magnetic field. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 33 (2012) 012046.
- [10] H. Song: *Engineering Fluid Mechanics*. Jointly published with Metallurgical Industry Press, Beijing, China
- [11] F. M. White: *Fluid Mechanics*, 4th edition. McGraw-Hill Higher Education, 2002, ISBN: 0-07-228192-8
- [12] <https://byjus.com/physics/derivation-of-reynolds-number/>
- [13] A. Rónaföldi, J. Kovács, A. Roósz: Investigation and visualisation of melt flow under rotating magnetic field. *Trans. Indian Inst. Met.*, 60 (2007) 213–218.
- [14] A. Rónaföldi, J. Kovács, A. Roósz: Revolution number (RPM) measurement of molten alloy by pressure compensation method. *Materials Science Forum Online*, 649 (2010) 275–280.
- [15] J. S. Walker, L. M. Witkowski: Linear stability analysis for a rotating cylinder with a rotating magnetic field. *Physics of Fluids*, 16 (2004) 2294–2299.

Gondolatok Evans közethasítási modelljéről

Thoughts on Evans' model of rock fission

OMASZTA ISTVÁN

okleveles bányagépész- és villamosmérnök,

okleveles mérnök-közgazdász

E-mail: omaszta1957@gmail.com



A kőzetek ékkel való hasításának egy félempirikus módszerét Evans (1965) elméleti munkája tárja fel. A szerző a közethasításakor szükséges erőt azzal a feltételezéssel határozta meg, hogy a törés körív mentén következik be. Evans ezzel az összefüggéssel meghatározta a forgács hasításához szükséges erőt, és definiálta a forgács alakját. Képletet közölt a vágószög és a hasításhoz szükséges erő, valamint az optimális forgácsméretarány között. Az alábbiakban közölt munkámban olyan tisztán elméleti úton levezetett számítást közlök, amelyben a törésgörbe alakjának felvétele kiiktatható. Az eredmények a fajlagos forgácsolóerőt tekintve a teljes vágószög 40 fokos értékéig csak kb. 10%-os eltérést mutatnak. Az optimális forgácsméretarány (hossz/vastagság) – amit a fajlagos vágóerő minimumfeltételének bevezetésével számítottam ki – tekintetében teljes és tökéletes az összhang a két leírási mód között, az értékek tökéletesen egybeesnek. Az így levezetett tisztán elméleti modellt összehasonlítottam dr. Bocsánczy János által alkotott hasítási elmélettel, amely vállaposodott szénforgácsok hajlítással történő leválasztását írja le. A képletek formai hasonlósága ugyan szembeötlő, de a hajlítási elmélet hosszabb optimális forgácsokat ad. Az alábbiakban közölt elméleti megközelítés továbbfejlesztésének lehetséges iránya – a repedés terjedésének folyamatát figyelembe véve és az anyag nem izotróp tulajdonságait modellezve – egy, a jelenséget jobban leíró matematikai számítás megalkotása.

Kulcsszavak: hasítási elmélet, vágószög, forgácsolóerő, repedés terjedése

A semi-empirical method of splitting rocks with a wedge is the theoretical approach of Evans (1965). In this article, the author defined the force required for rock splitting on the arbitrarily introduced assumption that the fracture occurs along a perfect circular arc. The circular arc starts tangentially at the cutting edge and ends at the end of the fault line. With this relation, Evans determined the force required to split the chip and defined the shape of the chip. In the work published below, I present a purely theoretical calculation in which the inclusion of the shape of the refractive curve can be eliminated. The results differ only about 10% in specific cutting force up to 40 degrees of the entire cutting angle. The optimal chip scale (length/thickness), calculated by introducing the minimum specific cutting force condition, is complete and perfectly consistent between the two theoretical approaches, the values coincide. The purely theoretical model derived in this way was compared with the cleavage theory developed by dr. János Bocsánczy, which describes the separation of carbon chips layers by bending. The similarity in form of the formulas is striking, but the bending theory gives longer optimal chips. A possible direction for the further development of the theory, considering the process of crack moving, modelling the non-isotropic properties of the rock, is to construct a mathematical calculation that better describes the phenomenon.

Keywords: splitting theory, cutting edge, cutting force, crack moving

1. Bevezetés

A közethasítási modellek tanulmányozásával a fizikai folyamatot jobban érthetjük meg, a folyamatot jellemző mennyiségeket tudjuk elemezni. Ebben az igyekezetben elődeink és kortársaink által elvégzett munkára építünk, eredményeik képezik tudásunk biztos alapját. Ebben a munkában az Evans által megállapított összefüggések vizsgálatával foglalkozom azzal a céllal, hogy e munka eredményeinek méltatása mellett azt kiigazítom, és ahol szükséges, kiegészítem azt. Azért is fontos erre sort keríteni, mert erre a munkára napjainkban is sokan hivatkoznak, tankönyvekben is megtaláljuk az eredményeit. Az Evans-féle félempirikus megközelítés az egyik legfontosabb a közethasítási modellek közül.

Az alábbiakban elvégzett számításokat terjedelmük miatt nem minden részletében mutatom be, de az általam javasolt változtatásokat értelmezem, az ahhoz vezető utat megvilágítom. Az így kidolgozott elmélet alkalmazható minden vágóélel végzett közethasítási folyamat tanulmányozására.

2. Evans közethasítási modellje és annak eredményei

Anélkül, hogy részletesen tárgyalnám Evans gondolatmenetét [1], hivatkozom Bocsánczy Jánosnak a gépi művelhetőség vizsgálata tárgyában írt tankönyvére [2], amelyben a teljes fejtegetés megtalálható.

Az eredmények röviden a következők. A súrlódási erő hatását ez egyszer figyelmen kívül hagyom, így könnyebben áttekinthető a számítás. A javasolt új modell így jobban érthető lesz. Evans a vágóerőre (1) és a fajlagos forgácsolási ellenállásra (2) a következő összefüggéseket vezette le:

$$F = \frac{2bt\sigma \sin(\theta)}{1 - \sin(\theta)} \quad (1)$$

és így a fajlagos forgácsolási ellenállás

$$f = \frac{2\sigma \sin(\theta)}{1 - \sin(\theta)}, \quad (2)$$

ahol, $A = bt$ a forgács vágóerőre merőleges keresztmetszete, t a fogásmélység, b a forgácsvastagság, a törés pillanatában fellépő húzófeszültség, azaz a szakítószilárdság és a teljes ékszög fele, a továbbiakban a neve ékszög. Evans félempirikus módszerrel vezette le a vágóerőre vonatkozó (1) összefüggést, feltételezte a körív mentén való törést, amit kísérletekkel igazolt. Éppen ezt fogjuk a következőkben megvizsgálni, hogy szükség volt-e erre a feltételre.

Evans ideális feltételei a következők:

- A közet ideálisan homogén és izotróp.
- Az ék behatolása a forgács méreteihez képest elhanyagolhatóan kicsiny.

- Ideálisan rideg a törés, ha a húzófeszültség a törésfelületen a szakítószilárdságot eléri és a törés bekövetkezik. A törés előtti alakváltozás elhanyagolható.
- Dinamikus erők, hőjelenségek stb. nem lépnek fel, az ékkel közölt mechanikai energia csak és kizárólag a közethasításra fordítódik.
- A törés egy tökéletes körív mentén következik be.

Joggal kérdezhetjük, vajon az Evans által alkalmazott félempirikus módszer ezen eredmények eléréséhez szükséges-e? Vezet-e egy tisztán elméleti út a jelenség matematikai leírásához? A válasz igenlő. A következőkben azt az utat vázolom fel, hogyan lehet ezeket az összefüggéseket tisztán, elméleti úton levezetni anélkül, hogy munkahipotézisként a törésvonalat körívnek feltételeznénk. A következőkben kiderül az az elsőre meglepő tény, hogy a törés elvileg bármely, bizonyos feltételeknek megfelelő görbe mentén megtörténhet, az eredmények lényeges megváltozása nélkül nincs szükség a törésgörbe meghatározására.

3. Az új gondolatok kifejtése

Induljunk ki ugyanazon feltételekből, mint Evans, azonban hagyjuk el a körív mentén történő törés hipotézisét! A törésvonal leírásához egy előre nem definiált, szakaszonként differenciálható analitikus görbét tételezünk fel (*I. ábra*), amely az A pontból, az ék behatolásának helyétől a B pontig húzódik. A súrlódási erőt itt elhanyagoljuk, ez a levezetés szempontjából másodrangú. A hasítás mechanizmusa a forgács repesztésével történik úgy, hogy a repedés A pontból B pontba halad, és a forgács a B pont körül (utolsó leválási pont) merev testként elfordul és elválik a végtelen féltértől. Ez feltételezhető, mert B az az utolsó pont, ahol elválik a forgács a végtelen féltértől. Ezzel ugyan elhanyagoljuk az AB görbe mentén való repedésfront-terjedés köztes állapotait, de a modell jó eredményt szolgáltat. A B pontra felírt nyomatékegyenlet ezzel a következő: $M_1 - M_2 = 0$,

ahol

M_1 – az N hasító ékre ható normál erő nyomatéka,

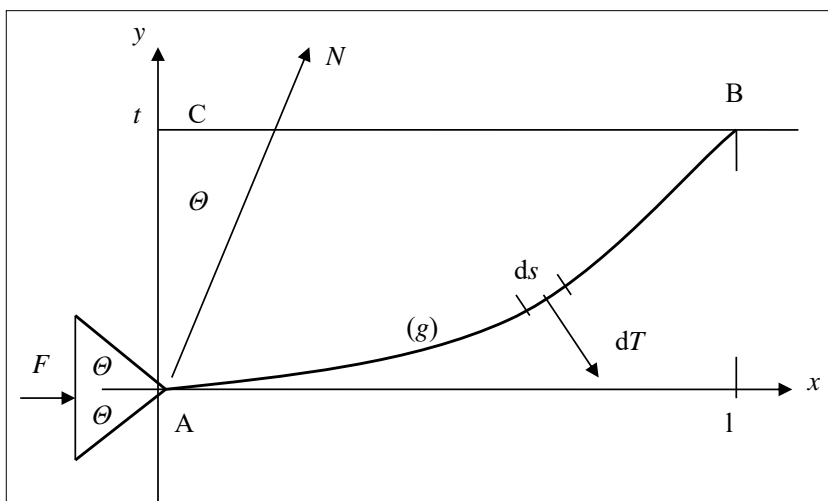
M_2 – a ds ívelemre ható dT elemi ívelemre ható kohéziós erő nyomatéka, amely a törés pillanatában lép fel. A törést megelőzően nem lép fel alakváltozás.

M_1 könnyen nyerhető az N erő komponenseiből:

$$M_1 = \frac{1}{2} F \left(\frac{l}{\operatorname{tg}(\theta)} - t \right), \quad (3)$$

ahol

$$F = 2N \cdot \sin(\theta).$$



1. ábra.

M_2 kiszámítása egy kicsit hosszadalmasabb. A ds ívelemre ható elemi kohéziós erő nyomatéka az erő felbontásával:

$$dM_2 = (l-x)dT_y + (t-y)dT_x. \quad (4)$$

Vegyük figyelembe a következő összefüggéseket, és helyettesítsük be (4)-be:

$$\begin{aligned} dTx &= dT \cdot \sin(\alpha), \\ dTy &= dT \cdot \cos(\alpha), \\ dy/dx &= \operatorname{tg}(\alpha), \end{aligned} \quad (5)$$

ahol $\operatorname{tg}(\alpha)$ az irántangens, az ívelem pedig

$$ds = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx.$$

Az ívelemre ds ható erő:

$$dT = \sigma b \cdot ds. \quad (6)$$

Ezek után az integrálás tagonként elvégezhető

$$\int_{x=0}^l (l-x)dTy = \int_{x=0}^l (l-x)\sigma b dx = \frac{1}{2}\sigma b l^2, \quad (7)$$

$$\int_{x=0}^l (d-y)dTx = \int_{y=0}^t (t-y)\sigma b dy = \frac{1}{2}\sigma b t^2,$$

Így a (4) és a (7) egyenletet összevetve az alábbi kifejezést kapjuk M_2 -re

$$M_2 = \int_g dM_2 = \frac{1}{2}\sigma b l^2 + \frac{1}{2}\sigma b t^2. \quad (8)$$

Vegyük észre, hogy a (7) összefüggésben az integrandusz kiszámításánál az x szerinti integrálásról egyszerű átalakítással áttértünk az y szerinti integrálásra.

A (3) és (8) egyenletet egyenlővé téve, a vágóerőre következő összefüggést nyerjük:

$$F = \sigma b \frac{l^2 + t^2}{[l/\operatorname{tg}(\theta)] - t}, \quad \frac{l}{t} > \operatorname{tg}(\theta). \quad (9)$$

Ez az egyenlet kapcsolatot teremt az anyag töréskor fellépő húzószilárdsága, a forgács méretei, az ék

szöge, és a hasító erő nagysága között. Az összefüggés leírja azt is, milyen ékszög és forgácméret mellett következhet be a törés, azaz a hasítás, és hogy az F erő értéke mekkora lesz.

Érdekes mindebben az, hogy az integrál kiszámításánál a törésgörbe egyenletére (Evans-féle körív) nem volt szükség, csak arra, hogy ez a görbe egy folytonos, folytonosan differenciálható és emelkedő matematikai görbe legyen. Vajon szükséges-e ez a feltétel? Nézzük meg közelebbről ezt a feltételezést is!

Tételezzük fel, hogy létezik egy ilyen görbe, amelyre a függvény extrémális, és számítsuk ki első variációját! Ez azt jelenti, hogy a törésgörbe kielégíti azt a követelményt, hogy a talált görbe mentén való töréshez a legkisebb erőhatásra van szükség:

$$\delta M_2 \rightarrow \text{extremum}, \quad (10)$$

vagy (10) részletesen felírva:

$$M = \delta b \sigma \int \left[(l-x) + (t-y) \right] dx, \quad (11)$$

ahol

$$W = (l-x) + (t-y)y' \quad \text{és} \quad y' = (dy/dx).$$

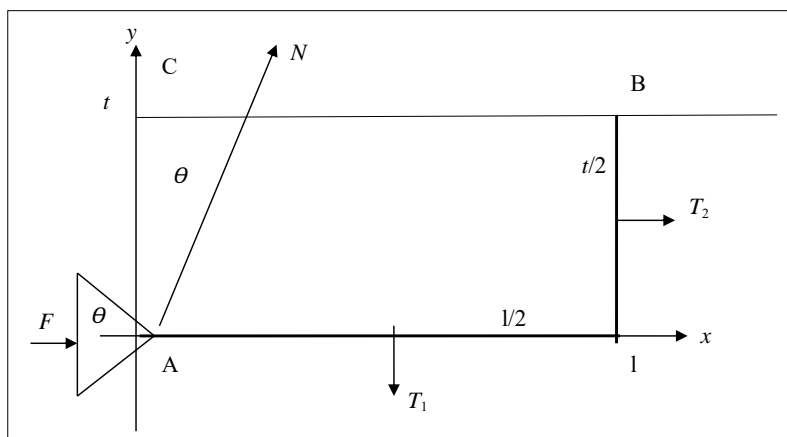
Euler szerint a W magfüggvényre igaz, hogy

$$-\frac{d}{dx} \left(\frac{\partial W}{\partial y'} \right) + \frac{\partial W}{\partial y} = 0, \quad (12)$$

ahol W az (11) integrál magfüggvénye. (12) kifejtésével kapható:

$$(dy/dx) - (dy/dx) = 0. \quad (13)$$

A (13) eredményt jogosan úgy értelmezhetjük, hogy bármely $y(x)$ függvény kielégíti a feltételeket, azaz a számítási modell szerint végül is nem definiálható ilyen kitüntetett függvény, amely kielégíti a (10), (12) egyenletet, hanem minden, a fenti matematikai



2. ábra.

feltételeknek eleget tevő függvény alkalmas hasítási görbének, a (9) eredményre a görbe alakjának megválasztása nincs hatással.

Valóban, példaként tekintsük a 2. ábra szerinti elrendezést! A számítás elemi eszközökkel egyszerűen elvégezhető. Rövid számítás után a (9) szerinti összefüggést kapjuk újra (14)-ben. Tehát a körív mentén való törés hipotézisére egyértelműen nincs szükség. A számítás röviden a következő.

A törésgörbe az A és B pontok között:

$$\begin{aligned} x &= 0, & 0 \leq x \leq l, \\ y(x=l), & & 0 \leq y \leq l, \\ T_1 &= b\sigma l; & T_2 = b\sigma t, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\frac{1}{2}F \left(\frac{l}{\operatorname{tg}(\theta)} - t \right) = \frac{1}{2}lT_1 + \frac{1}{2}tT_2 = \frac{1}{2}b\sigma(l^2 + t^2).$$

Ugyanezt az összefüggést kapjuk, ha a törést az A és B pontokra illesztett egyenes mentén tételezzük fel. Ezt nem részletezzük, de könnyen belátható ez az eset is. A törésgörbe tényleges formája egy homogén izotróp, hibahelyeket nem tartalmazó anyagban ezzel az elméleti megközelítéssel nem határozható meg. A törésgörbe alakjának vizsgálatához ennek a fizikai modellnek a lényeges átalakítására van szükség, egy új anyagmodellt kell bevezetni.

A következőkben bebizonyítjuk, hogy a fentiekben a vágóerőre kapott (9) egyenletből megkapható az Evans által levezetett összefüggés. Vegyük a fajlagos forgácsolási erő egyenletét (2) és bizonyítsuk be, hogy (15)-ből az nyerhető! Bevezetjük a forgács méretarányát jellemző számot, az l hossz és a t vastagság $\eta = l/t$ arányát, amellyel

$$f = \sigma \frac{1 + \eta^2}{\left[\frac{\eta}{\operatorname{tg}(\theta)} \right] - 1}, \quad \eta > \operatorname{tg}(\theta). \quad (15)$$

Most keressük meg a (15) függvény η szerinti minimumát! Ezt megkaphatjuk f -nek az η szerinti differenciáljából a

$$df/d\eta = 0 \quad (16)$$

feltétellel. Ekkor az alábbi másodfokú egyenletet nyerjük:

$$\eta^2 - 2 \operatorname{tg}(\theta) \eta - 1 = 0; \quad \eta > 0. \quad (17)$$

A fizikailag értelmezhető megoldást a következő egyenletet adja:

$$\eta_{\text{opt}} = \operatorname{tg}(\theta) + [\operatorname{tg}^2(\theta) + 1]^{1/2}. \quad (18)$$

Összehasonlításképpen, Evans félempirikus megközelítése alapján, az optimális forgács-méretarány a körívet befogó 2β szög függvényében adódik:

$$\eta = l/t, \quad t/l = \tan \beta \quad (19)$$

felhasználásával. Evans a vágóerőre meghatározta a β -hoz tartozó minimumot:

$$\beta_{\text{opt}} = \pi/4 - \theta/2. \quad (20)$$

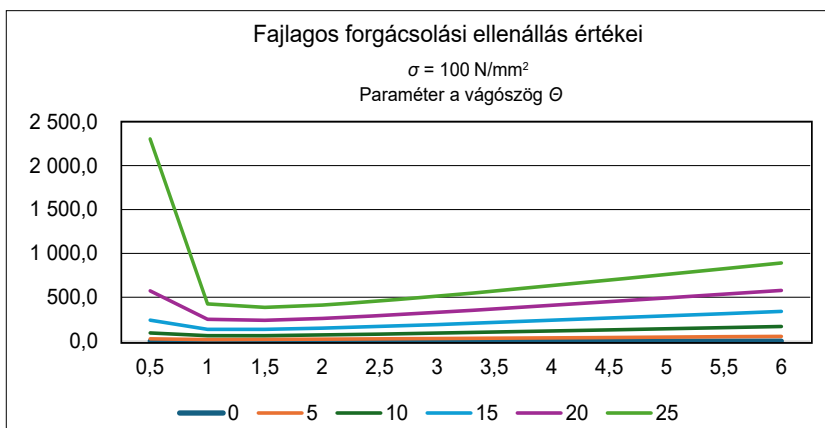
Ezzel, Evans szerint az optimális forgácsméret:

$$\eta_{\text{opt}} = \frac{1 + \operatorname{tg}(\theta/2)}{1 - \operatorname{tg}(\theta/2)}. \quad (21)$$

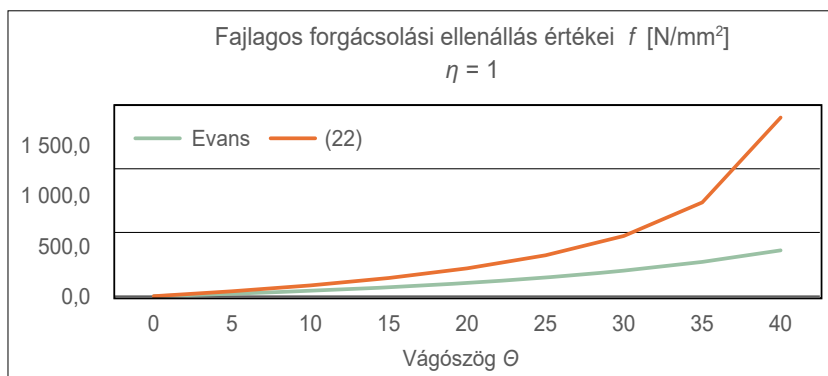
Bizonyítható, hogy a (18) alapján kapott szélsőérték minimum. Amennyiben (18)-at a (15) képletbe behelyettesítjük – különbséggel ugyan – Evans (2) szerinti képletét kapjuk. Az optimális forgácsméret a vágószög függvénye:

$$f = \sigma \frac{2 \operatorname{tg}(\theta)}{1 - \operatorname{tg}(\theta)}, \quad 45^\circ > \operatorname{tg}(\theta). \quad (22)$$

Evans eredménye ezzel szemben a (2) egyenlet. A levezetett (22) eredmény (15)-ből kapható, ha a forgács méretaránya $\eta = 1$. A különbség az, hogy Evans modelljében a vágószög szinusza, az itt levezetett összefüggésben pedig a vágószög tangense szerepel. Ez azt jelenti, hogy Evans modellje csak kis vágószögek esetén jó közelítés, amikor a szinusz és a tangens függvények egymáshoz aszimptotikusan közel kerülnek. Az is megnyugtató, hogy ha $l = t$, és a vágószög 45° , amikor az f fajlagos vágóerőre (21)



3. ábra.



4. ábra.

szerint végtelen nagy értéket kapunk. Ez igaz, mert az N normál erő vektora akkor éppen a B pontra esik, a vágás lehetetlenné válik ezen elméleti összefüggés szerint. Evans képlete szerint ez $\sin \theta = 1$ mellett áll fenn (22) esetén, ami éppen 90° -ot ad a fél vágószög-re. Ez azt jelentené, hogy a fajlagos vágóerő Evans szerint csak a $2\theta = 180^\circ$ (végtelen tompa szerszám)

1. táblázat.

Optimális forgácsolás η_{opt}		
Teta [°]	Evans (21)	(18) szerint
0	1,0	1,0
10	1,2	1,2
20	1,4	1,4
30	1,7	1,7
40	2,1	2,1
50	2,7	2,7
60	3,7	3,7
70	5,7	5,7
80	11,4	11,4
90	végtelen nagy	

extrém esetében adna végtelen értéket. (21) szerint ez már $\tan \theta = 1$, azaz 45° -nál bekövetkezik, ami ha $t = l$, 90° -os teljes vágószög esetén történik meg. Az Evans által megfogalmazott leírás egy speciális eset, amelyet a törésgörbe munkahipotézisként körívnek való felvétele eredményez. Az általunk megadott összefüggés azonban általánosan érvényes a közölt feltételekkel. A fenti gondolatmenet eredményeként (20) szerint szoros összefüggés állt elő a fajlagos vágóerő, forgács mérete és az ékszög között, amit a 3. ábra szemléltet.

A két módszer a kis vágószögekre aszimptotikusan azonos eredményt ad. A (21) és (22) összefüggések alapján a következő függvények szemléltetik az eltérést a két modell között. Az új megközelítés 20° vágószöggig csak 10%-kal ad nagyobb értéket, 25° -ra ez már 19%-ra nő. A 4. ábra az eltérést mutatja.

Az optimális forgácsolás esetében is összehasonlíthatjuk a két esetet a (18), és a (21) összefüggések szerint. Az optimális forgácsolás méretei teljesen azonosak a két megközelítés esetében. Ez azt jelenti, hogy az f fajlagos vágóerő minimuma ugyanazon optimális forgácsolás méretarányánál, $\eta_{opt} = l/t$ lép fel mindkét modellben. Az optimális forgácsolás mérete vonatkozásában az Evans-féle és a (18) új megközelítés ugyanazt az eredményt szolgáltatja (1. táblázat).

4. Energetikai megfontolások

Ugyan Evans modelljében nem ábrázolható az, hogy az anyagban a törést megelőzően deformáció lép fel, a hasításhoz szükséges energia mégis kerülő úton megbecsülhető a fajlagos vágóerő felhasználásával, ahol $V = A \cdot l$. Ahol értelemszerűen l a vágóél által megtett út. A forgács keresztmetszete bt . A forgács térfogata megközelítőleg $V = btl$, így az energiaszükséglet (15) szerint:

$$E = f \cdot V. \quad (23)$$

Részletesen kifejtve:

$$E = \sigma b t^2 \eta \frac{1 + \eta^2}{[\eta / \operatorname{tg}(\theta) - 1]}. \quad (24)$$

Az E energiaszükséglet egy meghatározott méretarányú forgácsnál négyzetesen függ a t fogásmélységtől.

5. Bocsánczy elméletének [2] elemzése az új modellel

Bocsánczy János a szenek gyalulásának elméletét kutatta. A modellben a vállaposodás jelenségének megfelelően a forgács hosszanti (l) és keresztirányú (t) felületeihez különböző húzófeszültség-értékeket (σ_1, σ_2) rendelt. Ekkor (14) átalakítható, ha a (7) összefüggésbe az x szerinti integrálásnál σ_1 , az y szerinti esetén pedig σ_2 mennyiségeket helyettesítjük. A (14) egyenlet ekkor:

$$\frac{1}{2} F \left(\frac{l}{\operatorname{tg}(\theta)} - d \right) = \frac{1}{2} b l^2 \sigma_1 + \frac{1}{2} b d^2 \sigma_2. \quad (25)$$

Az F vágóerőre adódik:

$$F = b \frac{l^2 + (\sigma_1 / \sigma_2) d^2}{[l / \operatorname{tg}(\theta) - d]}; F = b \sigma_1 d \frac{\eta^2 + (\sigma_1 / \sigma_2)}{[\eta / \operatorname{tg}(\theta) - 1]}. \quad (26)$$

A fajlagos vágóerő értéke:

$$f = \sigma_1 \frac{\eta^2 + (\sigma_1 / \sigma_2)}{[\eta / \operatorname{tg}(\theta) - 1]}. \quad (27)$$

Az optimális forgácsméretre adódik:

$$\eta^2 - 2\eta \cdot \operatorname{tg}(\theta) - (\sigma_1 / \sigma_2) = 0. \quad (28)$$

Érdekes következtetésre jutunk, ha összevetjük az eredményt Bocsánczy megoldásával. Bocsánczy szerint:

$$\eta_{\text{opt}} = \frac{\operatorname{tg}(\theta)}{6} + \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\theta)}{36} + 4 \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}.$$

ahol a vállaposodás miatt $\sigma_2 \ll \sigma_1$.

A (28) szerint adódik:

$$\eta_{\text{opt}} = \operatorname{tg}(\theta) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(\theta) + \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}.$$

Láthatóan, ha θ egy kis szög, nem a hajlítás érvényesül teljesen – azaz a σ_2 / σ_1 arány határozza meg

a forgács alakját –, akkor megfigyelhető, hogy a Bocsánczy által számított elméleti érték a duplája annak, amit itt kiszámítottunk. Ennek oka az, hogy Bocsánczy törésmélete a lehasított forgács hajlításakor bekövetkező törést veszi alapul, ami nagyobb ékszögeknél kifejezettebben érvényesül. Ezzel kimondható, hogy a hajlítási elmélet hosszabb optimális forgácsokat ad, mint a (28) összefüggés.

6. Összefoglalás

Megmutattuk, hogy Evans félempirikus úton nyert (1), (2) eredményei igen jó közelítések, de a feladat megoldható tisztán elméleti úton is úgy, hogy az Evans által bevezetett törésgörbe-hipotézisre valójában nincs szükség. A vágóerő értékének kiszámítására a (9) képletet vezettünk le, megállapítottuk az optimális forgács méreteit, ld. (18), és energetikai szempontból is megvizsgáltuk a fajlagos vágóerőképlet tulajdonságait, ld. (24).

Felvetődik a kérdés, miként kell az eredményeket értelmezni, hogy milyen összefüggés van az optimális forgácsméret (18) szerinti értéke és a kísérleti eredmények között. Az elmélet továbbfejlesztése a fizikai valósághoz közelebb álló folyamatmodell kidolgozását jelenti. Melyek lehetnek ezek az törekvések?

1. A dinamikus folyamat leírása: a vágóeszköz (ék) behatolásának jobb leírása, a törés valóságos fázisainak ábrázolása: behatolás az anyag porrá törése az él közelében addig, míg a feszítőerést előidéző hasadás bekövetkezik.
2. A repedés megindulásának törésmechanikai leírása, a valóság hű anyagmodellekre és sztochasztikus leírásmódra alapozott számítási modellek alkalmazása.
3. Végül, a dinamikus modell kiterjesztése a gépi jövesztés teljes leírására, a gép és a jövesztett anyag komplex modelljének megalkotása.

Ezek a vizsgálatok vezethetnek az összes közetmégmunkálási folyamat jobb megértéséhez, az ott alkalmazott forgácsoló szerszámok fejlesztésének elősegítéséhez. Az elméleti vizsgálatok végső célja, a fajlagos energiafelhasználás csökkentése.

IRODALOM

- [1] Evans I., Pomeroy C. D. (1966): The Strength, Fracture and Workability of Coal. Pergamon Press.
- [2] Dr. Bocsánczy János (1964): A szénnyalulás folyamata és a gyalukés kialakításának irányelvei. Kandidátusi disszertáció.

Critical Raw Materials Hungary Data Collection

2. Minor element enrichments in certain sedimentary mineral formations

A Kritikus Nyersanyagok Magyarország Adatgyűjteményből

2. Ritkaelem-dúsulások értékelése egyes üledékes nyersanyag előfordulásainkban

CSILLA BALASSA, PhD student,

CSILLA PATAKY, MSc student,

KRISZTIÁN ANTAL, MSc student,

CSABA TÁTRAI, MSc student,

IVÁN GYENES, BSc student,

HASAN ETERAF, PhD student,

JÁNOS FÖLDESSY, Professor emeritus

TEKH College, University of Miskolc

A team of Hungarian and international students from the TEKH College of the Faculty of Earth and Environmental Science Engineering (University of Miskolc) in their 2024 work program started the remapping of Hungarian critical element occurrences, first of all with regard to our coal basins and the sedimentary rocks in western Mecsek. The analysis obtained on historic data are often unreliable, but they are still sufficiently accurate to highlight and compare different critical element enrichments. Looking at the examples in our recent study from an economic point of view, the elements showing the most promising enrichment are Sc, Be, Hf, Ge and V, but RFFs, Ta, Nb, Ga and PGEs are also enriched.

Among the sites presented in the article, Máza (Sc, LRFF, Hf, Nb, Ta, PGE), Komló (Be, Sc, V, HREE), Pécs-Szabolcs (Be, Ga, Ge, Nb, HREE), Bükkábrány (Sc) and Bánhorváti (Ge) deserve special attention. It is increasingly important to get reliable information about the geology, resource, availability of critical raw materials within borders. The approach which has been offered in our article may be a contribution in this regard. The database behind the discussed enrichments, occurrences can be accessed through the TEKH website [3].

Keywords: critical raw materials, Hungary, coal, uranium ore, copper ore, sedimentary deposits

A Miskolci Egyetem TEKH Kollégiuma a 2024. évi munkaterve alapján megkezdte a hazai kritikus elemi előfordulások feltérképezését, elsőként a szénmedencéink és a nyugat-mecseki üledékes kőzetek esetében. A rendelkezésre álló adatokon alapuló értékelések sok hibával terheltek, de így is elegendőek a különböző kritikus elem-dúsulások kiemeléséhez és összehasonlításához. Közgazdasági szempontból vizsgálva a legutóbbi tanulmányunkban szereplő példákat, a vizsgált földtani környezetekben a legígéretesebb dúsítást mutató elemek az Sc, Be, Hf, Ge és V, de a ritkaföldfémek, Ta, Nb, Ga is mutatnak gazdaságossághoz közeli koncentráció értékeket.

A cikkben bemutatott lelőhelyek közül Máza (Sc, LRFF, Hf, Nb, Ta, PGE), Komló (Be, Sc, V, HREE), Pécs-Szabolcs (Be, Ga, Ge, Nb, HREE), Bükkábrány (Sc) és Bánhorváti (Ge) külön figyelmet érdemel. A kritikus ásványi nyersanyagok kutatásában egyre fontosabb a megbízható információk megszerzése a geológiáról, az erőforrásokról, a kritikus nyersanyagok határainkon belüli elérhetőségéről. A cikkünkben felkínált megközelítés hozzásegíthet ehhez. A tárgyalt dúsítások, előfordulások mögötti adatlapok a TEKH honlapján [3] érhetők el.

Kulcsszavak: kritikus nyersanyagok, Magyarország, szén, uránérc, rézérc, üledékes nyersanyagok

1. Introduction

The College of Natural Resources Research and Utilization (TEKH) of the Technical Faculty of Earth and Environmental Sciences of the University of Miskolc is renovating information on the EU's critical and strategic raw materials as part of a self-developed project [1]. Regarding the summarization of

general information related to critical and strategic elements in the first article the global review on the battery raw materials has now been completed and it has been published [2].

A systematic database of more detailed geological, chemical, and technological data is being built, hopefully for the benefit of as many interested readers, researchers, and professionals as possible [3].

2. The sources of information

The outcomes of the previous CriticEl program have been served as basis [4]. At the time, the listed 14 critical raw materials has since been expanded to 34 items. We also used basic data collected, systematized and not yet published in this program during 2012–2014. Publicly accessible items of the state geological archive was also searched. In addition publicized site-specific geochemical data were searched and evaluated. In the case of the raw materials included in the list for the first time, the retrospective literature search was extended to the 1950s.

We took into account the occurrences for which geochemical or mineralogical information based on analyzes was available. The approximate extraction benchmark is considered if the current total local value estimated from the average concentration of strategic and critical raw materials reaches or exceeds USD 10 per tons of the raw material [1]. This does not represent an economic opportunity, but it effectively separates the background type of data from the enrichment opportunities that deserve attention.

We used the USD as a value indicator because many raw materials are quoted and traded in this currency on the world market. It should be noted that prices can fluctuate significantly even within a short period of time. This article records the situation in January 2024. The content of our data sheets available on the Internet will be actualized regularly.

The geographical location of the occurrences included in the summary is summarized on the map in *Figure 1*.



quires further control (and can be economically very significant if proven).

In most cases, we find some type of intruding later Mesozoic alkaline magmatites nearby (in some places along the contact zone causing development of natural coke from the coal), which may be the magmatic source of the rare element enrichments in the rocks of the coal series.

The enrichments occur partly in coal seams and partly in the accompanying sedimentary rocks of the clay, carbonaceous clay or claystones, with peaks of chemical composition that are different for each occurrence, but mostly strongly exceed the trace element content of the coals. In all cases, Nb and Zr, as well as Ta and Hf associated with them, show a significant enrichment (exceeding 10 times the world average typical for hard coal).

The REE enrichments are closely correlated with the distribution of thorium, which was previously recorded by aerial radiometric measurements for the entire Mecsek area. The territorial distribution of the maxima on the Th map shows a good agreement with the territorial distribution of the Mecseki Kőszén Formation. This realization can be the basis of a research methodology to be further developed in the future.

3.2. Brown coals and related sedimentary rocks

We have few and sporadic chemical analyzes of our brown coal basins. There are no evaluable data from the formations of the basins around Sopron, Hidas, Tatabánya and Dorog.

a) Ajka

Early geochemical sampling and analysis campaigns revealed that the coal has an anomalously enriched V and U content. In the geochemical summary of the Ajka II area, the vanadium content of the ash as an average of 263 samples was 593 mg/kg, with a peak value of 1600 g/t [11]. In a later series of 12 samples, the average value of vanadium in the ash was 600 mg/kg, with a peak value of 6830 g/t [12].

b) Észak-Bakony

MTA GKL tested 12 samples from 3 deep drillings for 11 trace elements in 1990 using AAS technology [13]. The RFF elements were not included among the analyzed components. Anomalous nickel content (max. 2000 g/t) and vanadium (max. 900 g/t) appeared among the values for critical elements.

c) Nógrád és Borsod

Regarding the strategic and critical raw material sources, the investigations of the last century were

aimed at assessing the Ge content of the brown coals of the Borsodi and Nógrád basins [14]. The analyzes were partly made with traditional chemical analytical methods and partly with spectral analysis. The highest outlier Ge values occurred in three areas in Borsod: Bánhorváti (301 g/t), Sajókaza (182 g/t) and Kondo (168 g/t). In the Bánfalva 39 drillhole the average value for Ge obtained in the 239-248 m section of drilling is 175 g/t, which can reach the commercial threshold. In Nógrád, in some of Kazár's drillings, the average Ge content exceeded the reference value (K-420 18 g/t Ge).

Recently, PTE examined coal and shale samples taken from the Kazár and Felsőnyárád open pits using the AAS method for Ga, Ge, Be elements [15], with maximum values of 35 and 26 g/t Ge.

3.3. Low-grade lignites and related sedimentary rocks

Of our known low-grade lignite areas (Várpalota, Torony, Bódva völgy, Mátra- and Bükkalja), of Miocene to Pliocene periods only the last two occurrences were known to have a systematic geochemical tests that covered both seams and waste rocks. These also only cover a small proportion of the elements classified as critical and strategic today, and their analysis accuracy is outdated by today's standards.

During the lignite explorations in Mátra and Bükkalja in the 1960–1970s, geochemical analyzes were also carried out on some of the drilling samples. These studies provided data on the distribution of Be, Ni, Cu, B, Ga, In, Ge, As, and V among the critical elements. Among those listed, the anomalous enrichment amounts of Be, B and V reported in some sampled core sections are currently still being processed in GIS.

In unpublished analyzes after sampling related to the 2018 national coal project, Sc (60 g/t in the coal ash) appeared in anomalous concentrations in the Bükkábrány mine.

4. Paleozoic and Mesozoic formations of Western Mecsek

Western Mecsek has given rise to intensive geological exploration programs in several stages (uranium ores, radioactive waste disposal site tests). Despite this, there is very little useful data on critical and strategic elements.

4.1. Boda Claystone Formation and Korpád Sandstone Formation

The oldest known enrichments were formed at the border of the BAF and the variegated sandstone assemblage. Its anomalous Cu concentrations should

be highlighted (0.08–1%). Knowledge is primarily limited to open-pit excavations, but the Ibafa-4 drilling also defined an enriched section with Cu and Ag anomalies [16].

4.2. Kővágószőlősi Sandstone Formation (U-bearing sandstone).

We have not yet found detailed published summary data on the geochemistry of Mecsek uranium ore. The early investigations recognized significant V content (max. 1000 g/t) in the Cr-containing hydromicas accompanying uranium mineralization should be highlighted [17].

In the 1991 MÉV examination of 25 hand samples, 6 samples from the deposit contained Cu (>0.2%), 1 sample As (1%), 5 samples Sc (>100 g/t), 11 samples Ti (>1%), 9 samples were anomalous in terms of V (>200 g/t), 5 samples Mn (>1%), 1 sample Nb (>400 g/t). It is likely that a large number of internal company reports may still contain data, which the processing team has not yet reached.

4.3. Patacsi Siltstone Formation

The Cu (-Ag) enrichments occurring in the Permian – Lower Triassic transitional series in the overlying Permian productive uranium ore formations deserve special attention. The anomalies have been known for decades [18, 19] in Pécs-Égervölgy. Analyzes related to these were also included in the 1991 MÉV tests, the approximate average quality of the few samples analyzed here is about 0.5 % Cu + 30 g/t Ag. In a broader sense, their stratigraphic position and lithological characteristics are similar to the Silesian black shale major ore deposit (Kupferschiefer) in southern Germany and Poland. Mineralogical studies of this analogy has already been completed [20]. Based on

mineralogical tests, cobalt minerals can also be identified in samples enriched in Cu-Ag components.

An enrichment center that has not been interpreted geologically, but with well-known mineralogical information, is the copper mineralization in the vicinity of Kozári Vadászház, Pécs.

5. Access to further detailed information

The information of each occurrence is summarized in a respective data-sheet, and downloadable from the TEKH College website [3]. For sake of convenience, each occurrence is numbered using the postal code. Same postal codes indicate the geographical position of the occurrences in the map of Hungary. Same postal codes mark the occurrences on the location map.

6. Integral evaluation, ranking of exploration potential

The collected data are far from sufficient to reliably estimate the economic potential of occurrences. The reason for this is the small number of data, their heterogeneity in terms of time, space and sampling and analysis method, and the fact that the mineral resources and processing technology are not known. But what is certain is that enrichments represent opportunities to varying degree. We definitely wanted to convey this expressively, i.e. we tried to rank the known enrichments, partly according to types of materials and partly according to places of occurrence.

In the evaluation, we limited ourselves to critical and strategic types of primary sources of raw material. The enrichments may contain other significant value generators (e.g. gold, silver, zinc, lead, etc.), but we did not include them. We did not take into account

Table 2. The Hungarian occurrences and the related anomalies

Postal code	Site	Critical raw material	Postal code	Site	Critical raw material
3127	Kazár	Ge	7300	Komló	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3422	Bükkábrány	Sc	7351	Máza	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3535	Miskolc-Diósgyőr	Ge	7355	Nagymányok	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3642	Bánhorváti	Ge	7628	Pécs-Kozár	Cu
3704	Berente	Ge	7634	Pécs-Égervölgy	Cu, Co
3720	Sajókaza	Ge	7673	Kővágószőlős	V, Cu
3721	Felsőnyárad	Ge	7691	Pécs-Vasas	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3732	Kurityán	Ge	7694	Hosszúhetény	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3770	Sajószentpéter	Ge	7720	Pécsvárad	Nb, Ta, LREE, HREE, Hf, Be
3775	Kondó	Ge	7935	Ibafa	Cu
3778	Varbó	Ge	8056	Bakonycsernye	V, Ni
3779	Alacska	Ge	8400	Ajka	V

the possible advantages and disadvantages of interference, i.e. the problem regards to several raw materials appearing together.

From the 34 raw materials in the current CRM list, we omitted those which are not directly related to mineral raw materials (phosphorus, metallurgical coke, natural graphite). We further reduced the remaining 31 types of materials by those that do not have an accepted global market, and/or we did not find an acceptable market price as a benchmark (bauxite, feldspar, helium) in public information.

The types of raw materials listed in groups were then broken down into the chemical elements: Light Rare Earth Elements (LREE), Heavy Rare Earth Elements (HREE), Platinum Group elements (PGE), and the values obtained for the individual elements were summed up in the line of the group name. The way of the grouping of elements is on geochemical basis, also found on the SCRREEN website [21].

6.1. Experimental ranking by occurrence and by raw material

We created a table showing value indicators broken down by occurrences and types of raw materials (*Table 2*). In it, the columns are given by the critical element grade indicators at individual occurrences, and the rows by the individual types of raw material.

6.2. Grade indicators

We included in the evaluation all occurrences for which geochemical information is available and at least one of the critical/strategic element components exceeded the 10 USD/tons threshold value (*Table 2*). In these cases we calculated with the concentrations of every strategic elements.

It should also be noted that the samples linked to the data used are in most cases the “by-products” of research or exploration conducted on occurrences for other purposes, and are not representative samples of the enrichment of the elements sought.

The number of samples producing the available data on individual occurrences also differed by orders of magnitude, at this stage we simply calculated arithmetic averages without any adjustment to the different amount of samples, or consideration to outliers which may distort the mean values.

In the case of several unmergeable data sets of an occurrence, we used the most recent (and therefore presumably the most accurate) analyses in this summary.

6.3. Price indicators

We worked with global market prices that were available on the Internet at the time of the investigation.

They are very diverse, and set on different bases. Where possible, we used 1) spot prices of pure metals in USD, 2) prices quoted as annual average prices in either the SCRREEN or in the Mineral Commodity Summary (USGS) databases. The current price indicator list and their sources can be found on our website [3].

6.4. Value indicators

In the following, we chose the solution of giving the anomalous element an estimated value as the product of the two factors based i.e. the grade indicator and the price indicator. In the same occurrence (for example 7300 Komló: 1191), several types of critical material may be anomalously enriched, these have been aggregated according to the occurrence. Enrichments formed in several occurrences of one type of material (for example, value indicator of Beryllium: 1021) were summarized at the end of the horizontal rows of the material types. The new information generated in this way has no real economic meaning, but it can identify the types of raw materials that promise the most positive results, and the areas of occurrence that promise the most important opportunities.

The score is zero if 1) no analyzes were made, or 2) analyzes were made, but based on their concentration value, the local value of the elements does not reach the minimum lower value limit of USD 10/tons. In other cases, the scores are the product of the average concentration and the unit price shown in the left column of the table.

In the very first row above the critical elements, the score obtained as the sum of the values of all known critical elements for the given occurrence is listed. The column following the last occurrence shows the score characteristic of each type of material, which is obtained as the sum of the scores in the columns of the listed occurrences.

The top summary row (Occurrence-VI) summarizes the value indicators for each occurrence, and provides approximate information on the ranking between the evaluated occurrences. The last summary column (CRM_VI) summarizes the value indicators by raw materials, and provides ranking between raw material types (for the occurrences in evaluation).

The outlined solution contains a number of arbitrary approximations and simplifications, and in no way indicates any economic judgement. However, it offers a preliminary, easy-to-use processing and comparison tool for a large number of inhomogeneous geochemical data, and at the same time it also provides an opportunity to give ranking to geographical entities, i.e. facilitates geospatial visualization.

Table 3. Ranking table of critical element occurrences

Ref.date	PostalCod	Price USD/g	3127	3422	3535	3642	3704	3721	3732	3770	3775	3778	3780	7300	7351	7355	7634	7691	7692	7720	7935	8056	8400	CRM_VI
Occurrence_VI			Kazár	Bükkábrány	Miskolc-Diosgyőr	Bánhorváti	Berente	Felsőnyárad	Kurtván	Sajószentpéter	Kondó	Varbó	Edeleány	Komló	Máza	Nagymanók	Pécs-Éger völgy	Pécs-Vasas	Pécsbányatelep	Pécsvárad-WHE	Ibafra	Bakonycsernye	Ajka	
As	0.063		94	223	21	210	12	11	52	19	73	12	15	1191	1342	79	42	167	218	162	28	90	183	0
B	0.000403		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barit			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Be	1.08897		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	937	0	10	0	11	51	7	0	0	0	1021
Bi	0.008164		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barit	0.00018		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0.029135		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6
Cu	0.00835		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	42	0	0	0	28	0	0	72
fluorit	0.00033		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
földpát	0.00011		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ga	0.42		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	1	0	0	14	12	0	0	0	12
Ge	1.2		22	0	21	210	12	11	52	19	73	12	15	36	0	0	0	0	69	1	0	0	0	552
grafit			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hf	4.572		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	457	4	0	0	0	54	0	0	0	516
HREE			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	5	0	15	0	8	0	0	0	42
Li	0.017		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
LREE			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	22	9	0	17	2	12	0	0	0	73
Mg	0.0055		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.0125		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	3	11	0	5	0	22
Nb	0.086926		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	87	0	0	18	11	11	0	0	0	145
Ni	0.01615		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	4	3	12
foszfát			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PGE			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Sb	0.012295		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sc	3.72358		50	223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	745	35	0	71	65	33	0	0	0	1322
Sr	0.009257		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	1	0	0	1	2	0	21	0	40
Ta	0.052		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ti	0.00005		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
V	0.17564		19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	7	0	35	0	9	0	58	166	331
W	0.045511		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

6.5. Interpretation of the ranking table

From Table 3, among the critical and strategic material types, the following main conclusions can be drawn:

- ❑ Among the critical raw materials, based on the current data, the five metals with the greatest economic potential in the studied deposit groups: Sc, Be, Hf, Ge, V, and the rare earth metals (LREE, HREE) have a smaller weight.
- ❑ Among the occurrences, the first five are the most important: Máza (Sc, LREE, Hf, Nb, Ta, PGE), Komló (Be, Sc, V, HREE), Pécs-Bányatelep (Be, Ga, Ge, Nb, HREE), Bükkábrány (Sc), Bánhorváti (Ge).

It should be stressed again, that the value indicators are formed using prices of metals, irrespective of their production, etc. costs and market demand evaluation, thus they do not reflect economic value of the occurrence.

Similar simple perspectivity tables can be compiled if enrichment factors (element contents divided by clarke values) are formed for each element and each occurrence.

7. Summary

As part of the Critical Elements Marathon, the TEKH College of the University of Miskolc has started the mapping of Hungarian critical element occurrences, first of all with regard to our coal basins and the sedimentary rocks in western Mecsek. The analysis obtained on available data are often very approximate, but they may serve to highlight and compare different critical element enrichments.

Looking at the examples in our recent study from an economic perspective:

- ❑ the elements showing the most promising enrichment are Sc, Be, Hf, Ge and V, but REE's, Ta, Nb, Ga and PGEs are also enriched.
- ❑ Among the sites presented in the article, Máza (Sc, LREE, Hf, Nb, Ta, PGE), Komló (Be, Sc, V, HREE), Pécs-Szabolcs (Be, Ga, Ge, Nb, HREE), Bükkábrány (Sc) and Bánhorváti (Ge) deserve special attention.

It is increasingly important to evaluate the available information about the geology, resource, availability of critical raw materials within our borders. Our approach may be a small but simple contribution in this regard.

References

- [1] Földessy J., Márai F. (2023): Bevezető egy új sorozathoz: Kritikus és stratégiai nyersanyagok az Európai Unióban és Magyarországon – multimédia-adatgyűjtemény építése a Miskolci Egyetemen. *Földtani Közlöny*, 156, 25–31.
- [2] Badawi, M., Leskóné Majoros L., Evane Cesar J., C. Haddad E. Saifo, A., Arthur, S. A., Farrenzo, R. A., Földessy J.: A Kritikus Nyersanyagok Maraton Adatgyűjteményéből. 1. Az akkumulátor gyártáshoz használt kritikus ásványi nyersanyagok rövid áttekintése. (in press)
- [3] <https://tekh.uni-miskolc.hu/>
- [4] <https://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/>
- [5] Csalagovits I., Vígh-Fejes M. (1969): Geokémia. A meddőközetek és a kőszén nyomelemei. *Ann. Inst. Geol. Publ. Hung.*, 51, 518–575.
- [6] Kádas M. (1983): A mecseki fekete kőszén nyomelemvizsgálatának újabb eredményei. *Földtani Kutatás*, 26, 81–82.
- [7] Somos G. L., Zubovic P., Simon F. O. (1985): Geochemical analysis of 12 Hungarian coal samples. *Geophysical Transactions*, 31, 191–203.
- [8] Landis E. R., Rohrbacher T. J., Gluskoter H. J., Fodor B., Gombar G. (2007): Quality of selected Hungarian coals: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2006–5289, 107 p.
- [9] Földessy J. (szerk.) (2014): Basic research of the critical raw materials of Hungary. *Milagrossa, Miskolc*, 159 p.
- [10] Püspöki Z. (szerk., 2018): A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. MBFSZ. Budapest. 282 p.
- [11] Tomschey O. (1988): Az Ajka-II terület szénközeteiből várható pernye ritkafém és sugárzóanyag tartalmának vizsgálata és összehasonlítás az Ajka-I terület adottságaival. MTA-GKL Kutatási jelentés. Kézirat. 27 p.
- [12] Tomschey O. (1995): Unusual enrichment of U, Mo and V in an Upper Cretaceous coal seam, Hungary. *Geological Society Special Publications*, 82, 299–305.
- [13] Tomschey O. (1990): Az Északi Bakony előtere kutatási terület szénközetei ritkafém és huminsav tartalmának vizsgálata. MTA-GKL Kutatási jelentés. Kézirat.
- [14] Száváné Benőcs K. (1965): Észak-Magyarországi széntelepek ritkafém katasztere. BKI kutatási jelentés. 68 p.
- [15] Nagyné Zengő L., Nagy G., Hámorné Vidó M. (2017): Előfordulások kritikus elem tartalmának meghatározása új mintavételek és elemzések alapján, a Germánium, Gallium és Berillium tartalomra. PTE Kutatási jelentés. Kézirat. 39 p.
- [16] Bodor S., Szakmány Gy., Józsa S., Máthé Z. (2012): Petrology and geochemistry of the Upper Permian – Middle Triassic siliciclastic formations of the Ibafa-4 borehole (NW-Mecsek Mts., Hungary). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7, 219–230.
- [17] Kiss J. (1960): Az urán-króm-vanádium eloszlása és az epigén krómcsillám szerepe a mecseki permii összletben. *Földtani Közlöny*, 90, 73–82.
- [18] Várszegi K (1965): Karbonátos réz-ásvány-előfordulás a mecseki Éger-völgy alsótriász rétegeiben. *Földtani Közlöny*, 95, 437–438.
- [19] Csicsák J., Szakmány Gy. (1998): A Jakabhegyi Homokkő Formáció legfelső, „átmeneti” rétegei kőzet-tani-geokémiai vizsgálatának eredményei. *Földtani Közlöny*, 128, 535–553
- [20] Katona G. (2014): A Rudna (Lengyelország) perm és Mecsek perm – alsó triász Patacsi Formáció rétegvető ércsedéseinek összehasonlító földtani és geokémiai vizsgálata. Miskolci Egyetem, MSc-szakdolgozat. 83 p.
- [21] <https://screen.eu/>

Foszfáttartalmú konverziós rétegek evolúciója a felületkezelésben: vasfoszfátos molibdátadalékkal

Evolution of phosphate-containing conversion layers in surface treatment: iron phosphating with molybdate additive

NAGY NÉ FEKETE MÓNKA

PhD-hallgató, Miskolci Egyetem

TÖRÖK TAMÁS ISTVÁN

Professor emeritus, Miskolci Egyetem



Az ipari foszfátos eljárásoknál, kataforetikus mártófestés előtt, általában cinkfoszfáttartalmú kezelő oldatokat használnak a fémtárgy és a festékbevonat közötti konverziós vékonyrétegek leválasztására. Ugyanezen célból vasalapú ötvözetek (acélok, öntöttvasak) felületén emellett vasfoszfátos rétegek is kialakításra kerülnek, többnyire szórással és megfelelő adalékok alkalmazásával. A cinkfoszfátos felületek jellemzően kristályos réteggel borítottak, melynek a kémiai összetétele is általában viszonylag könnyen meghatározható. Vasfoszfátos acéltárgyak, illetve acél mintalemezek felületén ugyanakkor csak hosszabb idejű mártóeljárással alakítanak ki kristályos konverziós rétegeket, és többnyire csak laboratóriumi körülmények között. Az ipari vasfoszfátos bevonatok általában csak 0,1 μm körüli vastagságúak, amorf jellegűek, és a pontos kémiai összetételük meghatározása is kifejezetten nehéz feladat. Ugyanakkor a saját laboratóriumi vizsgálataink során a GD OES optikai emissziós mélységprofil-elemzéssel, értékes kémiai elemösszetéleti adatok nyerhetők még ezen röntgenamorf vékonyrétegekről is. A GD OES felvételeken kimutatható volt a leválasztott oxidos-hidroxidos és kötött-vizes vasfoszfátos-molibdátos vékonyrétegek elemi összetevői közül, az oxigénhez képes jóval könnyebben detektálható Fe, P, Mo, Mg, Na, Ca, és K elemek jelintenzitásainak mélység szerinti változása. Egyéb vizsgálati eredményeinket (rétegtömegek, OM- és SEM-felvételek, EDS röntgenanalízis) is figyelembe véve, összegzésképpen megállapítható, hogy a molibdátadalékos vasfoszfátos ígéretes környezetbarát és költségtakarékos alternatíva lehet az eddig kifejlesztett és az iparban alkalmazott jelenlegi, ipari foszfátos felületkezelő eljárások mellett.

Kulcsszavak: felület-előkezelés, foszfátosítás, molibdátadalék, vasfoszfátosítás

In industrial phosphating processes, before cathoretic dip/immersion painting, treatment solutions containing zinc phosphate are usually used to deposit the conversion thin interlayers in order to help adhere the paint coating better to the metal object. For the same purpose, iron phosphate layers are also developed on the surface of iron-base alloys (steels, cast irons), mostly by spraying and using appropriate additives in the treatment solutions. The zinc-phosphated surfaces are typically covered with a thin crystalline layer, whose chemical composition can usually be determined relatively easily, for example, by X-ray diffraction techniques. However, in the case of iron phosphating technology, only some kind of partially crystalline and only very thin conversion layers are formed on steel samples in the course of a longer-time dipping process, and mostly only under laboratory conditions. Industrial iron phosphate coatings are usually around 0.1 μm thick, amorphous in nature. Determining their exact chemical composition is a particularly difficult task. Nevertheless, during our own laboratory tests, still some valuable chemical element composition data could be obtained on our amorphous thin phosphate layers by performing qualitative analysis in depths profile analysis via the argon plasma ablation technique with a glow discharge optical emission spectrometer (GD OES). During the GD OES sputtering, it was possible to detect important changes in the signal intensities of the Fe, P, Mo, Mg, Na, Ca, and K elements, although except the much less detectable oxygen and hydrogen, which, otherwise are the major bound elements of the formed "mixed" metals (Fe, Mg, Na, Ca, K, ...)-phosphates-molibdates-oxide-hydroxide-bound-water type, rather complex thin surface conversion layers. Considering our numerous other test results (specific layer/deposit masses, optical microscopic (OM) and scanning electron microscopic (SEM) images, EDS X-ray analysis), it can be concluded that the iron phosphating process with molybdate additive can be a promising environmentally friendly and cost-saving alternative to the current industrial phosphating surface treatment processes developed so far and used in many surface finishing industries.

Keywords: surface pre-treatment, phosphating, molybdate additive, iron phosphating

1. Bevezetés

A vasalapú ötvözetek foszfátosításának történeti fejlődése a foszforsavas vizes pácoldatok és a vas heterogén felületi (topokémiai) reakcióinak (savas fémoldódás és oldhatatlan foszfátos sók felületi kiválása folyamatok) célszerű módosításán alapult. Ezzel a felületi kémiai konverziós felületkezelő módszerrel kialakított felületi vékony vegyületrétegek ásványtani szempontból számos, a természetben előforduló foszfátásvánnyal [1] azonosíthatók, mint amilyenek például a víztartalmú vas(II)-foszfátok és a vas(III)-foszfátok [2] (vivianit: $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{II}}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, illetve $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a hureaulit $(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mn}^{\text{II}})_5(\text{PO}_3\text{OH})_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; vagy a metavivianit: $(\text{Fe}^{\text{II}}_{3-x}, \text{Fe}^{\text{III}}_x)(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_x \cdot (8-x)\text{H}_2\text{O}$, valamint a strengit (foszfosziderit): $\text{Fe}^{\text{III}}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, illetve $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

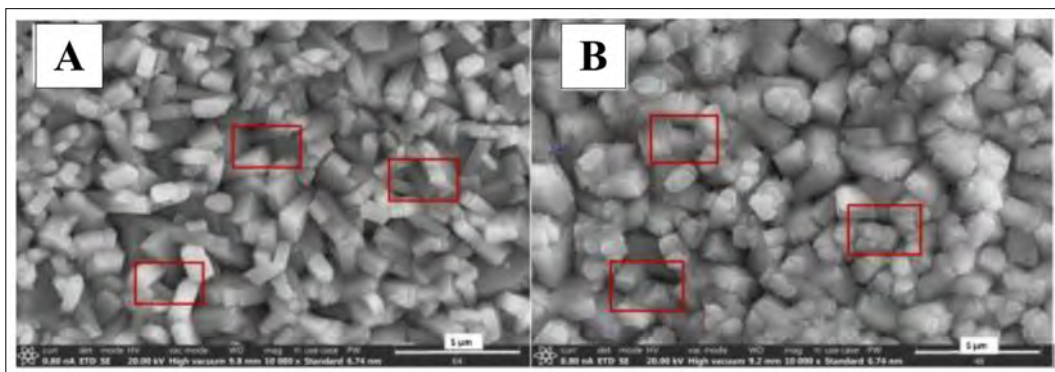
A vasfoszfátok, mint általában a foszfát vegyületek, gyakran alkotnak a kétértékű átmenetifémekkel és alkáli földfémekkel (M^{2+}) is vegyesen kristályokat, és például a vivianit ásványcsoport ($\text{M}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) esetében az M^{2+} lehet Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn. Ezek egyik ilyen típusú képviselője a $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ összetételű ludlamit; de a felsorolt kétértékű fém kationokon kívül, például kalciumot is tartalmaz a whitlockit $(\text{Ca}_9(\text{Mn}, \text{Fe})(\text{PO}_4)_6\text{PO}_3\text{OH})$ ásvány, de akár nátrium, alumínium vagy éppen az összetett NH_4^+ -kation is beépülhet, mint például a struvit $(\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ esetében. Ezek az egyszerű vagy összetett foszfátásványok és rokonaik általában változatos színűek, és ez a foszfátosítás technológiai művelete során leválasztott, vékony konverziós felületi vékonyrétegek megjelenésében is észlelhető. A néhány ásványtani példával illusztrált összetett foszfátvegyületekbe beépült kationok forrása, természetesen az ipari foszfátosító koncentrátum összetevőin kívül, annak hígítására használt víz és a mosási/előtisztítási és öblítési műveleteknél használt vizek ásványianyag-tartalma is lehet. Mindenesetre az ipari foszfátosítással kiépített rétegben vasfoszfátosításnál természetesen maga a vas(II), mangánfoszfátosításnál

a mangán(II), míg a legelterjedtebb cinkfoszfátosításnál a cink(II) a fő vegyületalkotó kation a konverziós rétegekben.

2. A trikationos cinkfoszfátosítás

Különösen a járműipari felhasználásoknál napjaink legelterjedtebb foszfátosító felületkezelése az ún. trikationos cinkfoszfátosítás, amelynek a finomkristályos konverziós réteg két fő alkotója a foszfofillit ($\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) és a hopeit ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Az eljárás „trikationos” elnevezése a kezelőoldat főbb összetevői között szereplő háromféle kationra (Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+}) utal, amelyeket a cinkfoszfátosító oldatok e fémek vízdoldható sói formájában tartalmazzák. Herbáth és munkatársai [3] a közelmúltban mintegy 1,3 g/L Zn, 0,9 g/L Mn és 0,9 g/L Ni-tartalmú, *Gardobond 2600* márkanévű (BASF, Chemetall Ltd., Frankfurt am Main, Németország) trikationos cinkfoszfátosító vegyszeres oldattal kezelték acél- (CRS SAE 1008/1010), illetve kétféle alumíniumötvözet (a kovácsolható AlSi1MgMn , ill. AA6014 lemez) mintákat, mártó-eljárással, 53 °C-os foszfátosító oldatban 3 percig. A felületi kristályos konverziós rétegekről készült elektronmikroszkópos képeken jól megfigyelhető magának az alapfémnek a hatása (az 1. ábrán **A**, **B** = SAE 1008/1010) és az alkalmazott kétféle gyorsító adalék (**A** = nitrit; **B** = nitroguanidin) hatása is a kiépült rétegszerkezetre, ahol a pirossal keretezett részleteknél csak részlegesen vált lefedetté a hordozófém alapfelülete a 3 perces kezelési/mártási idő alatt.

A cinkfoszfátosított **A**, **B** acéllemezen jellemzően csak $<1 \mu\text{m}$ foszfátvékonyréteget mértek a foszfátosítás után gondosan leöblített (szobahőmérsékleten csapvízzel majd desztillált vízzel) és ezt követően megszáritott (120 °C, 10 min) mintadarabokon. E foszfátvékonyrétegekben EDS pontelemzéssel közelítőleg a $n(\text{Zn}) : n(\text{Mn}) : n(\text{Ni}) = 20 : 5 : 1$ molaránynak megfelelő mennyiségben mutatták ki a fémes összetevőket; míg XRD röntgen-fázisanalízissel az acéllemezen zömében (~95%) foszfofillitet detektáltak [3].



1. ábra. Acélötvözetek (**A**, **B** = SAE 1008/1010) mintalemezek felületén trikationos (*Gardobond 2600*) foszfátosító oldattal történő kezelés hatására kiépült cinkfoszfátos rétegek elektronmikroszkópos képe. Alkalmazott gyorsító adalékok: **A** = nitrit; **B** = nitroguanidin. (A szerzők [3] engedélyével)

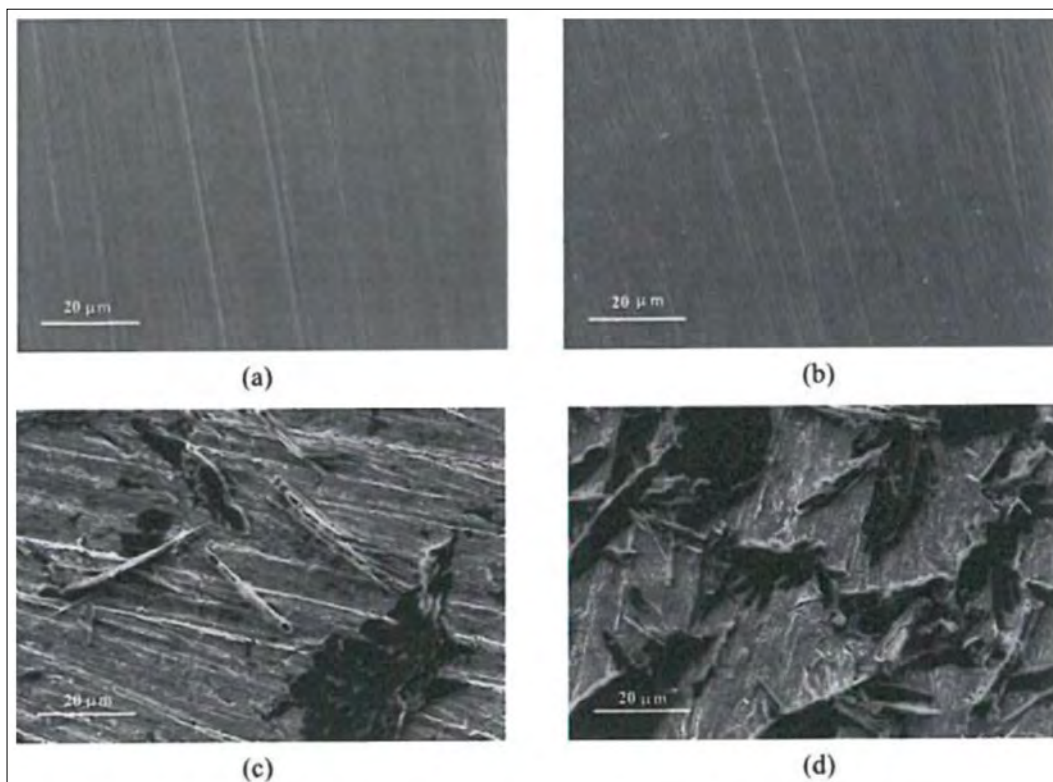
A trikationos cinkfoszfátózás széles körű elterjedésével párhuzamosan a Ni^{2+} - és Mn^{2+} -kationokat tartalmazó cinkfoszfátózó oldatokhoz kevert adalékként más kutatók még többféle egyéb anyagot is kipróbáltak, olyanokat, mint például a Cu^{2+} -, Ca^{2+} -, Mo^{2+} -kationok vízoldható vegyületei, továbbá különféle nanoszemcsés adalékokat, mint nano- SiO_2 , nano- TiO_2 , nano- ZnO és nano- CeO_2 , melyeknek a foszfátrétegek kiépülésére gyakorolt hatásáról acél hordozón al-Swaidani [4] közölt áttekintő, összefoglaló tanulmányt a közelmúltban. Az adalékok többnyire kedvező hatásmechanizmusainak (rétegleválás részfolyamatai és kinetikája) vizsgálata mellett al-Swaidani azonban még azt is kiemelte, hogy különösen az ipari felhasználók szempontjából, a hosszabb idejű környezeti igénybevételek melletti viselkedés tesztelése is nagyon fontos feladat egy-egy újítás gyakorlati bevezetéséhez.

Az idézett vizsgálati eredményekből [3, 4] látható, hogy a trikationos foszfátózással kiépülő konverziós rétegek, kis mennyiségben ugyan, de beépült nikkelt is tartalmaznak. Amennyiben a foszfátrétegnek kifejezetten nikkelfügetlennek kell lennie – hiszen pár éve a nikkelt felkerült az egészségre káros anyagok listájára [5] – akkor a vasalapú ötvözetek (acélok, öntöttvasak) esetén a vasfoszfátózás lehet egy lehetséges alternatív felületkezelő megoldás. Ennél viszont a növekvő igénybevételeknek (pl. jobb korróziógátlás) való megfelelés jelent kihívást és új kutatási feladatokat a tudósoknak, fejlesztőknek.

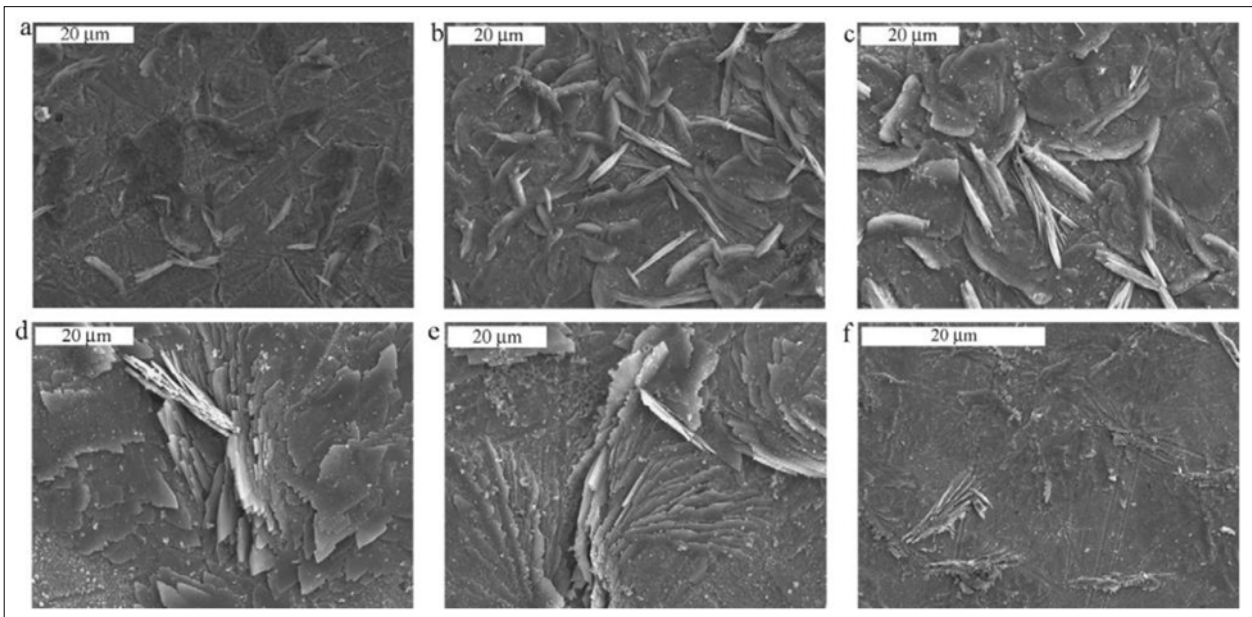
3. A hagyományos vasfoszfátózás

Acél- és öntöttvas termékek vasfoszfátózással történő felületkezelése a cink- vagy mangánfoszfátózásnál általában egyszerűbben és olcsóbban kivitelezhető, de az előbbieknél vékonyabb (<1 μm) réteget és ezzel kapcsolatosan önmagában – vagyis az ún. pórustömítő jellegű utókezelés(ek) nélkül – valamivel gyengébb korrózió-ellenállóképességet tud csak biztosítani, viszont többnyire jó tapadást adó előkezelést jelent az elektroforetikus felhordással (például az ún. KTL mártófestéssel) megvalósított védőbevonat-kialakításához [6]. Az iparban napjainkban használatos vasfoszfátózó vegyszeres oldatok alapösszetevőit tekintve tipikus példa lehet Popić és szerzőtársai [7, 8] által használt vasfoszfátózó oldat, amely csak foszforsavat (0,92 g/L H_3PO_4), nátrium-hidroxidot (0,34 g/L NaOH), felületaktív adalékot (0,125 g/L nonil-fenol-etoxilát) és nitrites (0-1,0 g/L NaNO_2) gyorsítót tartalmazott. A vékony lapkás (helyenként tűs) kristályokat tartalmazó rétegben (XRD) röntgen-fázisanalízissel zömében FePO_4 , Fe_2O_3 és Fe_3O_4 összetevőket sikerült azonosítani a kutatóknak [7, 8].

Popić és szerzőtársai [8] az általuk összeállított vasfoszfátózó oldatokba merített kis széntartalmú acél lemezmintáik felületén a mártási idő (5–15 min) függvényében kiépült kristályok alakjait is leírták: kezdetben lapkás, majd lemezes és tűs kristályokat azonosították a SEM-felvételeken (2., 3. ábra). Az idé-



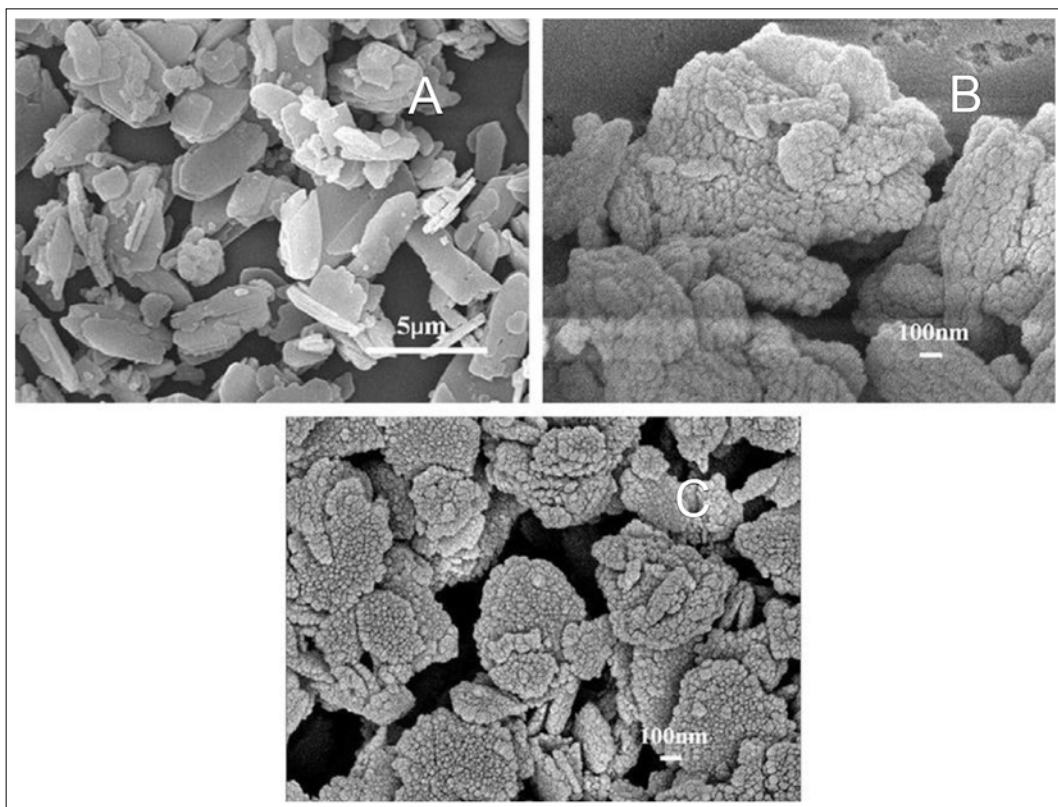
2. ábra. Kis széntartalmú acéllemez (a), valamint 5 min (b), 10 min (c), és 15 min (d) mártási időtartamokig foszfátózott acélminták felületén kiépült vasfoszfátos rétegekről készült elektronmikroszkópos (SEM) felvételek [8]



3. ábra. Nátrium-nitrit gyorsító adalékot (0,1 g/L NaNO_2) is tartalmazó vasfoszfatózó oldatból különböző hőmérsékleten ((a) 30 °C, (b) 40 °C, (c) 50 °C, (d) 60 °C, (e,f) 70 °C) leválasztott rétegek elektronmikroszkópos (SEM) képe [7]

zett SEM-felvételek [8] alapján azt is érdemes megjegyezni, hogy a foszfátózásra megfelelően (mechanikai csiszolás, oldószeres zsirtalanítás, vizes öblítés) előkészített acéllemezek felületén csak percek után volt detektálható kristályok megjelenése az általuk beállított laboratóriumi körülmények között. A rétegképződési folyamat gyorsítása érdekében éppen ezért

már régóta adagolnak különféle ún. gyorsító adalékokat (az idézett példában NaNO_2 -ot), továbbá a felületi heterogén nukleációs folyamat aktiválása érdekében egyéb, úgynevezett aktiváló szereket – vizes oldatban vagy vizes szuszpenzióban – az acéldaraboknak közvetlenül a foszfatózó oldatba merítése előtt. Emellett természetesen a hőmérsékletnek (pl. a 3. ábra) is



4. ábra. Oldatfázisú szintézissel előállított víztartalmú vas-foszfátok elektronmikroszkópos (SEM) felvételeken: A – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, vivianit; B – $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; és C – $\text{FePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [9]

jelentős hatása van a felületi konverziós reakciókra; továbbá a mártással történő foszfátózáson kívül napjainkban a szórófoszfátózást is elterjedten használják, utóbbinál a levegő oxigéntartalma közvetlenebbül lehet hatással a kialakuló réteg összetételére, oxid- és kötöttvíz-tartalmára. Nyilvánvalóan a viszonylag híg vizes oldatokkal történő foszfátózás során a különféle víztartalmú vasfoszfát vegyületek kiválását egyébként sem lehet kizárni, és ennek nagyobb jelentősége olyan felületkezelő soroknál lehet, ahol a vizes oldatos foszfátózás után folytatódólagosan következik a szintén vizes oldatos elektroforetikus (pl. KTL) festés művelete.

Víztartalmú vas-foszfátokat ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, vivianit; $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; és $\text{FePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) homogén oldatfázisú szintézissel – vagyis nem a fentebb tárgyalt felületi konverziós heterogén reakciókkal – állítottak elő Chen és szerzőtársai [9], amelyekről készített elektronmikroszkópos (SEM) képeken a lapkás kristályos vivianit (A – SEM-kép) melletti felvételeken (B, C – SEM-képek) sokkal finomabb (kváziamorf, röntgenamorf) precipitátumok is megfigyelhetők (4. ábra).

A 4. ábrán szemléltetett finomabb struktúrájú/ szemcsézetű vasfoszfát precipitátumok az ipari vasfoszfátózás során is képződhetnek ugyanúgy, ahogy cinkfoszfátózásnál tapasztalták Jiang és szerzőtársai [10] a foszfátózás kezdetén, pár másodperces mártási idők után. Ezek a strukturális jellemzők pedig nyilvánvalóan befolyással bírnak a vasfoszfátózott termékek számos felületi tulajdonságára (borítottság, fajlagos felület, adhézióképesség stb.) is.

A felületi tulajdonságok javításának egyik kézenfekvő módja a vasfoszfátózó oldatok összetételének (és szükséges technológiai paramétereinek) módosítá-

sa olyan módon, hogy a rétegeképülés sebességének (az ún. gyorsítókkal történő) növelése mellett a foszfát-réteg kevésbé pórusos és/vagy kedvezőbb szerkezetű legyen. Ilyen irányú kutatásaink eddigi eredményeiről az alábbiakban számolunk be.

4. Vasfoszfátózás kísérleti fejlesztése molibdátos adalékkal

A vasfoszfátózási kísérletekhez kétféle vasalapú hordozót választottunk ki, egyrészt kis széntartalmú (~0,08–0,15 tömeg%) ötvözetlen és hidegen hengerelt acéllemez darabokat (ún. Q-Panel, szabványos minőségük: SAE1008/1010), és ~3,3% széntartalmú lemezgrafitos öntöttvas lapokat (szabványos minőségük: EN GJL 250).

A foszfátózáshoz összeállított oldatok alapadata (koncentráció) az alábbi komponenseket tartalmazta:

- 33,5% sóatlanított víz,
- 40,0% foszforsav, 75%-os,
- 14,5% nátrium-hidroxid, 50%-os,
- 1% hexametilén-tetramin,
- 6% nátrium-kumén-szulfonát, 40%-os,
- 5% Dexsurf10.

Ebből a foszforsavas koncentrátumból hígítással és kétféle adalék ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ és/vagy $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hozzáadásával készültek el a szórófoszfátózáshoz a megfelelően előkészített acél-, illetve öntöttvas minták felületére felvitt vasfoszfátózó oldatok, melyek a koncentrátumból literenként 30 g mennyiséget tartalmaztak. A híg oldatokhoz részben a molibdát-adalékot ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1,5 g/L koncentrációban, illetve a nitrátos sóadalékot ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) adtunk változó koncentrációban (1. táblázat).

1. táblázat. A kísérleti vasfoszfátózó oldatok összetétele

Azonosító	Koncentráció (g/L)	Molibdát-adalék (g/L)	Nitrátadalék (mg/L)	Megjegyzés
3/9 Q-P	30	–	10	Q-Panel, acél mintalemez
10/10 Q-P	30	–	20	Q-Panel, acél mintalemez
16/6 Q-P	30	–	150	Q-Panel, acél mintalemez
41/0 Q-P	30	1,5	10	Q-Panel, acél mintalemez
24/5 Q-P	30	1,5	150	Q-Panel, acél mintalemez
32/7 Q-P	30	1,5	–	Q-Panel, acél mintalemez
17 ÖV	30	1,5	–	lemezgrafitos öntöttvas lemez

2. táblázat. A vasalapú hordozók kémiai elemi összetétele

Azonosító	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo
	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)
SAE acél 1008/1010	0,15	0,31	1,59	0,10	0,00	0,02	0,05	0,05	0,001
EN GJL 250 öntöttvas	3,30	2,04	0,80	0,02	0,04	0,03	0,04	n.a.	n.a.

4.1. A felületkezelésre kerülő kétféle vasalapú ötvözet főbb jellemzői

A vasfoszfátózás jelenlegi gyakorlatában a szénacélból és/vagy öntöttvasból készült vasalapú ötvözetek felhasználása a legjellemzőbb, különösen a járműipari felhasználók körében. Ezért a laboratóriumi vizsgálatainkhoz is a fentebb már említett acélminőségű lemezmintát (Q-Panel) és egy lemezgrafitos öntöttvas mintát/hordozót választottunk ki.

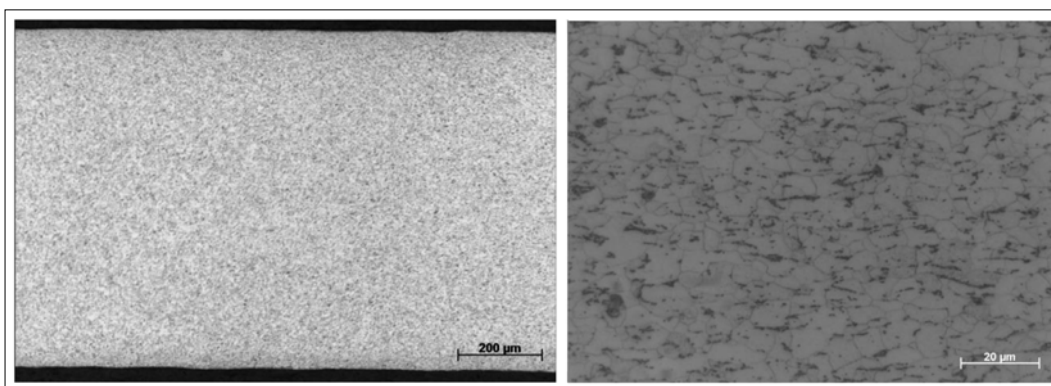
A kétféle vasalapú hordozó szövetszerkezete – elsődlegesen a széntartalmuk következtében – jelentősen eltérő, ami az 5. és 6. ábrán bemutatott, nagy nagyítás mellett készített optikai, illetve elektronmikroszkópos felvételeken jól látható.

E kétféle vasalapú ötvözet gépi megmunkált, pl. marózott, forgácsolt vagy köszörült, csiszolt felületeinek feltapadt (pl. emulziós, zsíros-olajos, poros) vagy rajtuk keletkezett (pl. oxidos) szennyeződések-től mentes, ún. aktív fémes felületállapotainak fizikai és kémiai jellemzését tekintve, elsődlegesen e kétféle vasötvözet mikrokristályos szövetének eltéréseit kell kiemelni. Nevezetesen, a hidegen hengerelt SAE 1008/1010 minőségű acél, melyben a ~0,08–0,15 % (m/m) mennyiségű széntartalom zömében a ferrites fázisban többé-kevésbé homogén eloszlásban, ún. szilárdoldatban van, míg a maradék többi szénötvö-

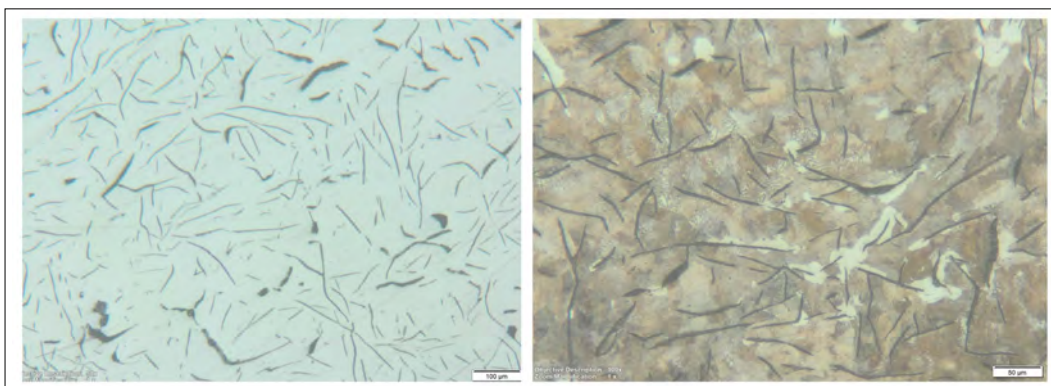
ző-tartalom pedig az eutektoidos szövetelemben, a perlitben és/vagy külön vaskarbid (Fe_3C , cementit) vegyületfázisban kötött állapotban van.

Ugyanakkor az EN GJL 250 minőségű vasötvözet nagyságrenddel nagyobb széntartalma, az ilyen típusú öntöttvasban zömében külön fázisban, mégpedig esetünkben lemezes szerkezetű szén (grafit szénmódosulat) formájában található viszonylag egyenletes és sajátos térbeli eloszlásban (6. ábra).

Ezek a kémiai, elemi összetételi és szövetszerkezeti különbségek a megfelelően előkészített, azaz gondosan letisztított és esetleg még aktiváló előkezelést kapott, aktív fémes felületállapotú, foszfátózásra kerülő minták kezdeti reakcióképességét és induló konverziós reakciósebességét egyaránt befolyásolhatják. Ebben a tekintetben érdemes figyelembe venni azt, hogy az öntöttvas kétféle anyagból álló (vasalapú fémes mátrix és lemezes grafit) heterogén szövetű felülete (6. ábra) elektrokémiai szempontból másképpen reagálhat a foszfátózó oldattal, mint a sokkal homogénebb szövetű ferrites acél felülete (5. ábra). Mivel a vasfoszfátózó oldatok enyhén savas pH-jú vegyszeres vizes oldatok, általánosan elfogadott, hogy a foszfát-réteg kiépülése a vas savas, jelen esetben a szabad foszforsavas, pácolásával rokon felületi reakciókkal indul. A protonok (H^+) redukciójának folyamata (H^+ +



5. ábra. A kis széntartalmú (SAE 1008/1010) acéllemez keresztmetszeti csiszolatának optikai mikroszkópos (OM) szövetképe kétféle nagyításban



6. ábra. A lemezgrafitos EN GJL 250 vasöntvény keresztmetszeti csiszolatáról színes maratással készült OM szövetképe kétféle nagyításban

$e^- \rightarrow H_{ads}$) eredményeként a szilárd vasötvözet felületén adszorbeálódott hidrogénnek (H_{ads}) molekuláris hidrogéngáz ($H_{2(g)}$) formájában történő deszorpciója önmagában is összetett folyamat, amelyet a konverziós felületi kémiai reakciókban a vele egyidejűleg átalakuló heterogén fém felület pillanatnyi összetétele és fizikai-kémiai felületállapota is befolyásol.

Felmerülhet a kérdés, hogy mindehhez az öntöttvas grafit tartalma milyen módon és – kinetikai szempontból is tekintve – milyen mértékben járul hozzá. A tiszta szén (grafit) elektrokémiai viselkedését vizes savas oldatokban már többen tanulmányozták, például [11, 12], míg Miyata és szerzőtársai [13] a gömbgrafitos öntöttvasokból készített elektródokon is vizsgálták a katódos hidrogénleválás kinetikáját kénsavas – nátrium-szulfátos (pH = 1, 2, 3) és oldott oxigént nem tartalmazó vizes elektrolitoldatokban. Despic és szerzőtársai [12] összegző megállapítása szerint a pirolitikus grafit elektródanyagként a közepes katalitikus aktivitású anyagok közé sorolható, lévén a hidrogénleválás általuk mért i_{OH} csereáramsűrűsége $\sim 10^{-8}$ A/cm² nagyságrendűnek adódott. Egyébként a vas anódos oldódására vonatkozóan az irodalomban közölt i_{0Fe} csereáramsűrűség-értékek (különböző sós-savas elektrolitoldatokra vonatkozóan) is a $\sim 10^{-6}$ – 10^{-8} A/cm² értéktartományba esnek [14]. Így ezen az alapon, Miyata és szerzőtársainak [13] az egyik összegző megállapítása, miszerint „nem találtak különbséget a hidrogénleválás reakció mechanizmusában tiszta vason, illetve gömbgrafitos öntöttvason”, elvben el-

fogadhatónak látszik. Ugyanakkor a vasfoszfátózás valós körülményei közötti, kezdeti felületi reakciók kinetikáját mégis érdemesnek látjuk a jövőben a vasfoszfátózó vegyszeres oldatokkal és alkalmasan kiválasztott elektrokémiai módszerekkel tovább vizsgálni, hiszen valós körülmények között a foszfátózó oldatok mindig intenzív érintkezésben vannak a levegővel. Az oldott oxigén hatása a felületi kémiai reakciókra pedig egyáltalán nem elhanyagolható. Emellett természetesen még az is egy további és alapvetően fontos követelmény lenne, hogy e kétféle vasalapú ötvözet hordozó/minták/ kiindulási felületi fizikai-mechanikai és geometriai jellemzőit is (maradófeszültség, érdesség, hullámosság), a felületi megmunkálások (előkészítés) gondos technikai kivitelezésével közel azonos állapotra lehessen hozni a vasfoszfátózás műveletének laboratóriumi vizsgálata előtt.

4.2. A vasfoszfátózás folyamatparamétereinek beállítása és a rétegképzés kivitelezése

A koncentrált foszfátózószerből 30 g-ot mértünk be literenként a sóalanított vízhez. A hígított foszfátózó oldathoz molibdát-dihidrátot és/vagy magnézium-nitrát-hexahidrátot adagoltunk, az 1. táblázat szerinti arányokban. A foszfátózó oldatból 15 litert készítettünk, és 30 literes hőfokszabályzóval ellátott, szóró kísérleti berendezést (7. ábra) használtunk. A technológiai idő minden beállításnál 3 perc volt, a szórónyomás pedig 1,5 bar. A foszfátózó oldat pH-beállítása Dexadd60, 20,6%-os nátrium-hidroxid-oldattal történt.



7. ábra. A laboratóriumi szórófoszfátózó berendezés fényképe

A foszfátot szóró csapvízes öblítés követett, amelynek a pH-ja 7,24, vezetőképessége 558 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. A csapvízes öblítést sóalanított vizes öblítés követett, amelynek a pH-ját 4,8-nak, vezetőképességét pedig 2,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -nek mértük.

A leöblített mintalemezeket 10 percig szárítószekrényben szárítottuk 110 °C-on.

3. táblázat. A foszfátot utáni műveletek paraméterei

Csapvízes öblítő	
pH	7,24
Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	558
Sóalanított vizes öblítő	
pH	6,8
Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2,1
Szárítószekrény	
Hőfok (°C)	110
Szárítási idő (min)	10

A pH és vezetőképesség mérése WTW pH/Cond 340i műszerrel történt. A foszfátot oldat koncentrációját pontszámokban adjuk meg, és sav pontszámok

nevezzük. Az összes sav pontszám meghatározásához 10 ml foszfátot oldatot hígítottunk 50 ml-re és 0,1 mólos nátrium-hidroxid-oldattal titráltuk 1%-os fenolftalein indikátor mellett, szintelen-lila színátcsapásig. A fogyott 0,1 mólos nátrium-hidroxid mérőoldat millilitereinek száma adja az összes sav pontszámot. A szórófoszfátot kísérleteket a 4. táblázat szerinti paraméterbeállítások mellett végeztük el.

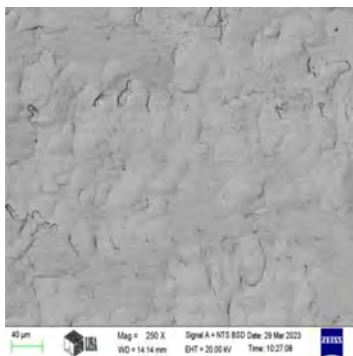
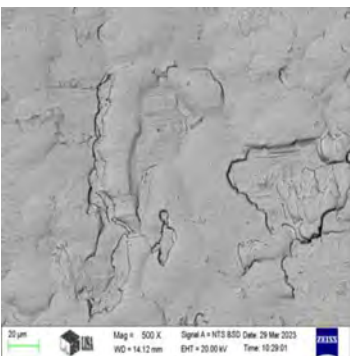
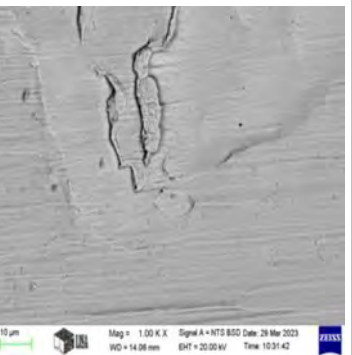
4.3. Szórófoszfátot készített acéllemez minták vizsgálatai

A 1,5 g/l nátrium-molibdát-dihidrát gyorsítót tartalmazó, 30 g/l koncentrációjú foszfátoldattal kezelt acél és öntöttvas mintalemez felületéről elektronmikroszkópos (SEM) felvételek háromféle (250 \times , 500 \times , 1000 \times) nagyításban készültek (5. táblázat), mely SEM-képek felületeiről EDS elemanalízist is végeztünk. A körülbelül 1 μm mélységű EDS vizsgálat eredménye szerint a nátrium-molibdát-dihidrát-adalék a leválási folyamatban, nemcsak mint oxidálószer vesz részt, hanem mint rétegalkotó megjelenik a foszfát rétegben is.

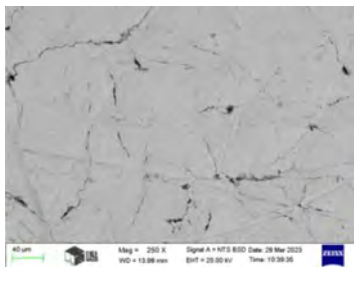
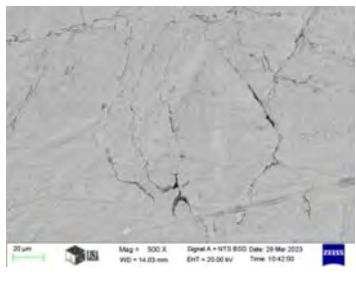
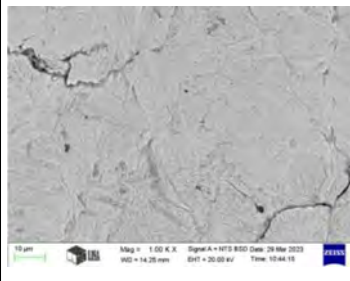
4. táblázat. A különböző azonosítóval ellátott mintalemezeknél alkalmazott foszfátot oldat paraméterei

Azonosító	Összes sav pontszám	Vezetőképesség (mS/cm)	pH	Megjegyzés
3/9 Q-P	7,8	5,50	4,76	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
10/10 Q-P	7,8	5,53	4,77	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
16/6 Q-P	7,8	6,03	4,77	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
41/0 Q-P	7,9	6,07	5,05	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
24/5 Q-P	7,9	6,62	5,00	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
32/7 Q-P	7,9	5,44	4,99	sóalanított vizes hígítású foszfátot oldat
17 ÖV	9,4	6,95	4,78	csapvízzel hígított foszfátot oldat

5. táblázat. Foszfátot acéllemez minták elektronmikroszkópos (SEM) képe, különböző nagyításban és a területi EDS elemösszetételi értékek

Nagyítás	250 \times	500 \times	1000 \times
SEM-képek			
EDS P	0,87%	0,97%	1,26%
EDS Mo	2,58%	2,57%	3,23%
EDS Mn	0,90%	0,96%	0,79%
EDS Fe	95,7%	95,5%	94,7%

6. táblázat. Foszfátózott öntöttvas minták elektronmikroszkópos (SEM) képe különböző nagyításban, és a területi EDS elemösszetételei értékek tömegszázalékban

Nagyítás	250×	500×	1000×
SEM-képek			
EDS P	1,65%	1,91%	1,62%
EDS Mo	3,45	4,97	4,16
EDS S	0,29	0,00	0,27
EDS Si	2,63	2,63	3,14
EDS Mn	1,32	1,32	1,30
EDS Fe	90,7	89,2	89,5

Az 5. táblázatban szereplő tömegszázalékos értékek közül a foszfor (0,97%) és molibdén (2,57%) tömegszázalékos értékeit összevetve, a felületi réteg foszfor/molibdén $n(\text{P})/n(\text{Mo}) = n$ molaránya 3,1 : 2,7 értékűnek adódott az alábbi adatokkal számolva:

$$n(\text{P}) = 0,97 \text{ g}/31 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,031 \text{ mol};$$

$$n(\text{Mo}) = 2,57 \text{ g}/96 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,027 \text{ mol}.$$

Látható, hogy a molibdénadalékos foszfátózás olyan konverziós réteget eredményezett, amelyben a foszfátvegyületek mellett jelentős a molibdéntartalmú vegyületek aránya (3,1:2,7).

A 6. táblázatban látható adatok szerint az öntvény mintalemez esetén is közel azonos molarányban épültek be a konverziós rétegbe a molibdénvegyületek, hasonlóan az acél mintalemezek foszfátózott rétegeihez. Ez utóbbi esetben a számított molarány: $n(\text{P})/n(\text{Mo}) = 6,2:5,2$ (3,1:2,6), az alábbi adatokkal számolva:

$$n(\text{P}) = 1,91 \text{ g}/31 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,062 \text{ mol};$$

$$n(\text{Mo}) = 4,97 \text{ g}/96 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,052 \text{ mol}.$$

4.3.1. Foszfátréteg rétegtömegének mérései

A 8. ábrán látható fényképeken szabad szemmel legfeljebb a felületi elszíneződésből lehet következtetni a foszfátréteg kiépülésére. Lévén ezek a felületi rétegek rendkívül vékonyak, a gyakorlatban nem is törekednek a tényleges vastagságuk meghatározására, hanem az ún. rétegtömegadatokkal jellemzik a felületegységre számított foszfáttömeget.

A foszfátózott mintalemezeken a foszfátréteg rétegtömegének meghatározását kémiai szelektív leoldással végeztük 74 g/l koncentrációjú krómsavoldatban, 15 percig 75 °C-on. A foszfátréteg rétegtömegének mért eredményeit a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat. Az acéllemez mintákra és az öntöttvasra leválasztott foszfátrétegek fajlagos tömege

Azonosító	Foszfátréteg rétegtömeg (g/m ²)
3/9 Q-P	0,14
10/10 Q-P	0,21
16/6 Q-P	0,13
41/0 Q-P	0,62
24/5 Q-P	0,44
32/7 Q-P	0,61
17 ÖV	1,88

A 7. táblázatból jól láthatóan, az első három (3/9, 10/10, 16/6) foszfátózott acél mintalemezen mért rétegtömegértékek mintegy háromszor kisebbek, mint az alattuk feltüntetett további három acéllemez min-



8. ábra. 1,5 g/L molibdénadalékos foszfátózó oldattal készített mintalemezek; balra Q-panel, jobbra öntöttvas mintalemez

tánál, mely utóbbiak mindegyike molibdátadalékokat is tartalmazott (1. táblázat). Ugyanakkor az öntöttvas darabon (17 ÖV) mért rétegtömeg ez utóbbiakhoz képest is szembetűnően nagyobb értéke már nem magyarázható meg önmagában a molibdátadalékolás hatásával, hanem ennél a mintánál meghatározó szerepe lehetett annak, hogy a felületét közvetlenül a foszfátosítás előtt munkálták le, és a felületi érdessége is jóval nagyobb volt ($R_a = 1,5\text{--}5,9\ \mu\text{m}$, illetve $R_z = 9,0\text{--}30,8\ \mu\text{m}$), mint a külföldről vásárolt acél standard Q-panel mintalemezéké ($R_a = 0,7\ \mu\text{m}$, illetve $R_z = 4,2\ \mu\text{m}$).

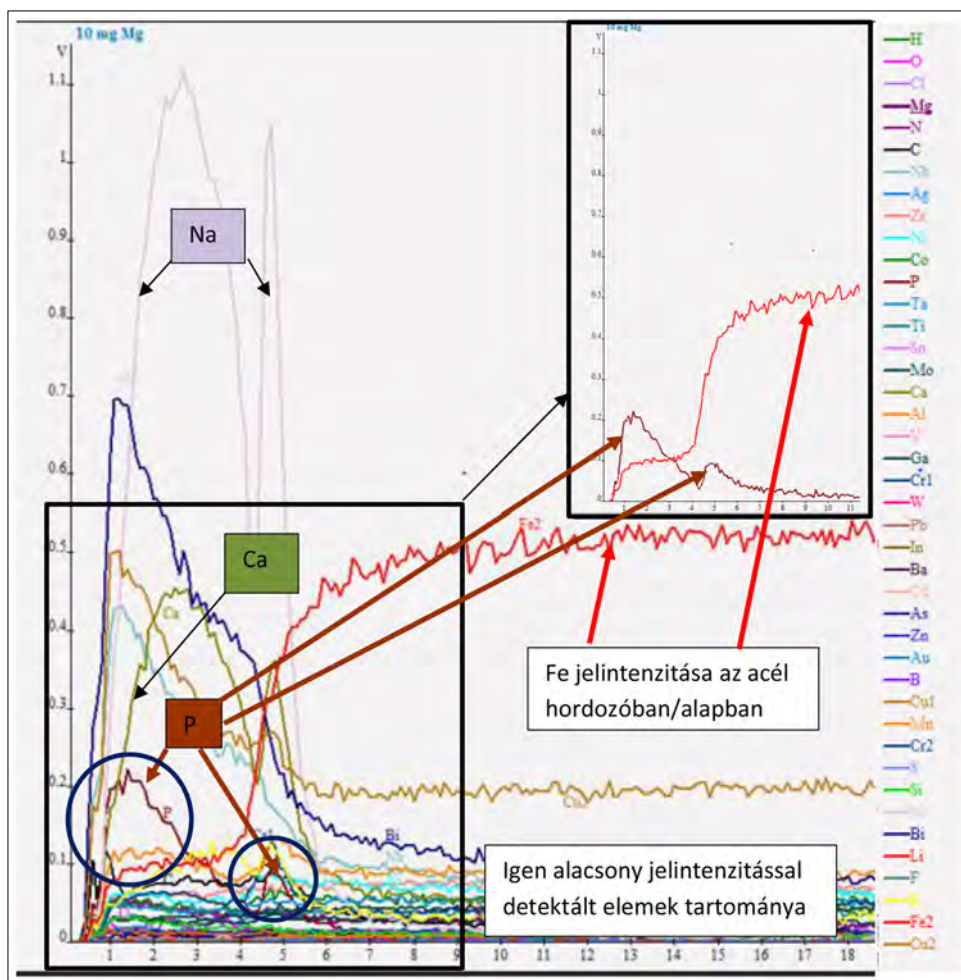
4.3.2. Spektrometriás GD-OES mélységprofil-elemzések

A GD-OES mélységprofil-elemzés egyik nagy előnye, hogy még az ilyen csekély rétegtömegű foszfátrétegek elemi összetevőinek eloszlását is követni lehet a réteg külső felületétől befelé haladva, argonplazmával leporlasztva a mintákat. A nitrátos gyorsító ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) adalékot is csak kis

koncentrációban (10 mg/L) és molibdátos adalékot egyáltalán nem tartalmazó mintáról (3/9 Q-P) készült GD-OES profilelemzés (9. ábra) regisztrátumán külön kiemeltük a P és a Fe jelintenzitásainak lefutását.

A 9. ábrán a nagy érzékenységgel detektálható elemek (pl. Na, Ca) mélységprofiljainak lefutása mellett a vas (Fe^{2+}) görbelefutása is nagyon jól jelzi a kiépült rétegvastagság tartományát (kb. 5,5 s porlasztási időig), a foszfátrétegben közel állandó 0,1 V jelintenzitással, majd a porlasztással az acél hordozóba érve a vas jelintenzitása 0,5 V értéken állandósul (~7 s porlasztási időnél), jelezve, hogy az argonion-porlasztás már a hordozó anyagából mélyíti az elemzőfolt kráterét.

Még azt is érdemes megemlíteni, hogy az ugyancsak gyenge jelintenzitással detektálható foszfor (P) profiljának a foszfátréteg kiépülésének kezdetén (azaz a ~5,5–4,5 s porlasztási időtartományban láthatóan), maximuma van, amelyet később (azaz ~4,5–1 s porlasztási időtartományban láthatóan) egy jóval nagyobb maximum követ, a rétegiépülés folytatódása



9. ábra. Molibdátos adalékot nem tartalmazó foszfátos réteg (3/9 Q-P) GD-OES spektruma a gyenge jelintenzitások (<1,1 V) tartományában. A vízszintes tengelyen a porlasztási idővel (s egységben megadva) arányosan a felülettől befelé haladva mélyül az elemzőfolt krátere az argonplazma-roncsolásos/ablációs/ mérés közben

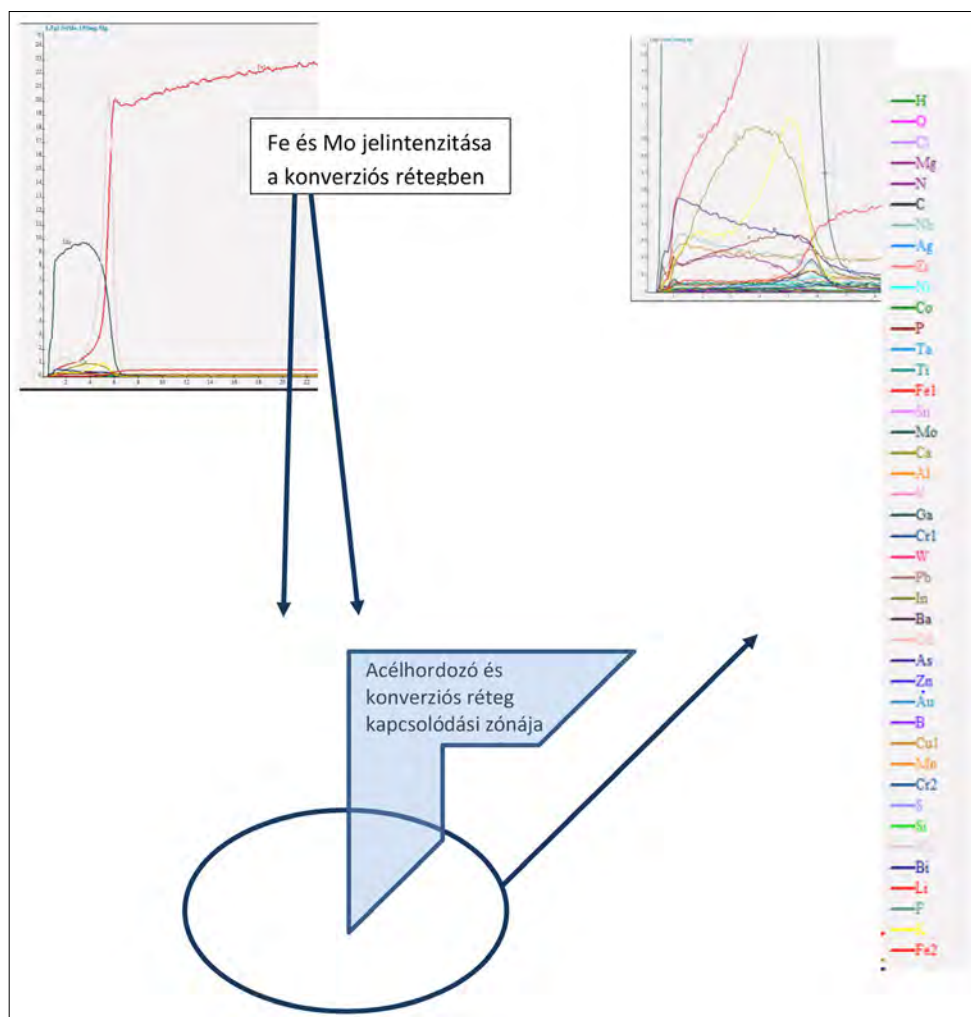
során. Feltételezhető, hogy kezdetben az enyhén savas foszfátozó oldat felületi vasbeoldó (savas maratás) hatására helyenként kezd leválni (precipitálódni) a vas(II)-foszfátos csapadékfilm, majd később már erőteljesebben érvényre jut a nitrátos gyorsító adalék hatása is, és ezzel egyre jobban borítottá válik a felület. Emellett szórófoszfátozásnál különösen erőteljes hatása kell, hogy legyen a felületre folyamatosan és jól átvevőzött állapotban rápermetezett foszfátozó oldat oldott O_2 -tartalmának is. Ennek oxidáló hatására a kiépülő és még nem kristályos vékony (amorf-szerű laza) csapadékfilmben egyre nagyobb arányban képződhet a vas(III)-foszfát-hidrát vegyületfázis is, amely a kifelé vastagodó rétegben egyre nagyobb P/Fe jelintenzitást eredményezett a GD OES spektrumban (9. ábra).

Nagyobb nitrátos gyorsító-adalékkal és molibdátos adalékot is tartalmazó vasfoszfátozó kísérletek közül kiemelve a 24/5 Q-P vasfoszfátozás esetét, a GD-OES regisztrátumon (10. ábra) azonnal szembe-tűnő, hogy a molibdén (Mo) a foszfátos-molibdátos

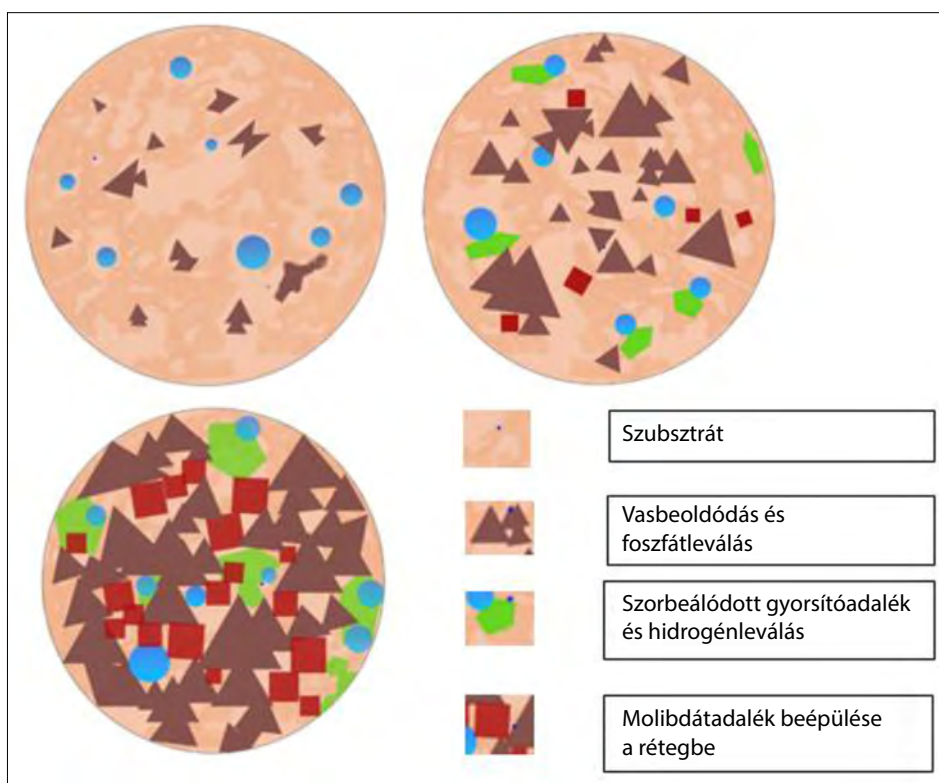
réteg teljes vastagságában (azaz a $\sim 6,5$ – $0,5$ s közötti porlasztási időtartományban) nagy és közel állandó jelintenzitással volt detektálható, jelezve, hogy az oldhatatlan foszfátokkal egyidejűleg oldhatatlan molibdátos precipitátum is leválik a felületi reakciók eredményeképpen.

Ilyen növelt nitrátos gyorsító-adalék esetén a foszfor (P) jelintenzitása már a rétegeképződés kezdetén (azaz a ~ 6 s porlasztási időnél érzékelhető görbeszakaszon) meredeken változik, és némileg csökkenő intenzitással volt detektálható a rétegben kifelé haladva (max. $\sim 0,35$ V-ról $0,15$ V-ra).

A vizes oldatos kezelések többi összetevőjét tekintve a magnézium-nitrátos gyorsító adalékból a Mg, a foszfátozó oldat nátriumtartalmából adódóan a Na és feltehetően az alkalmazott technológiai vizes műveletekből (pl. csapvizet bekeverés és/vagy vizes öblítések) egyéb kationok (Ca, K) is beépülnek kis mennyiségben a foszfátos-molibdátos rétegbe. Vizes oldatos precipitációs szintézissel előállított amorf $FePO_4$ -vegyületbe a Li^+ , K^+ és Na^+ -kationok be-



10. ábra. Molibdátadalékos és nagyobb koncentrációban Mg-nitrátos gyorsítót is tartalmazó foszfátozó oldattal (24/5 Q-P) leválasztott foszfátos-molibdátos réteg GD-OES spektruma. A detektált elemek jelintenzitásai a porlasztási idő függvényében



II. ábra. A vasfoszfát-molibdát-réteg kiépülésének szemléltetése vázlatosan

épülését Mathew és munkatársai [15] energiatároló elektrokémiai cellák fejlesztése céljából vizsgálták, és igazolták e háromféle, általuk tanulmányozott alkálifém-kation beépülési viselkedését. A vasfoszfátos műveletei során a vas és a kezelő vagy öblítő vizes oldatokkal érintkező vas (acél) felületi konverziós reakciói nyilvánvalóan hasonló mechanizmus szerint képezhetnek összetett alkáli-, illetve alkáliföldfém-vas-foszfátokat is a vasfoszfát felületi rétegeiben. Az általunk laboratóriumi körülmények között leválasztott foszfát-molibdát-rétegekben az alkálifém- és alkáliföldfém-kationok (Na, K, Mg, Ca) jelenlétét a nagy érzékenységű GD OES spektrometriás mérésekkel (9, 10. ábra) egyértelműen ki tudtuk mutatni.

A 1,5 g/L koncentrációban adalékolt molibdát jelenléte a vasfoszfátos rétegeképződés folyamatában jelentős változást okozott a rétegeképződés során, abban a tekintetben, hogy a GD OES spektrumok (10. ábra) által egyértelműen igazoltan, a molibdén már a felületi reakciók beindulásától a leváló foszfátos vegyület-réteg egyik összetevő alkotója lett. Vasbeton szerkezetek korrózióvédelmének javítása céljából Verbrungen és munkatársai [16] foszfát-molibdátos vékonyrétegekkel felületmódosított acélbetét mintáikat hasonló célból és többféle felületanalitikai módszerrel vizsgálták, hogy feltérképezzék a legvalószínűbb felületi reakciók mechanizmusát. A levált vegyületek pontos sztöchiometriai összetételét ugyan egyelőre nem tudták egyértelműen meghatározni, de a rétegleválás időbeli előrehaladásának folyamatát a foszfát-molibdátos

kezelőoldatok esetében az idézett szerzők is lényegében ugyanazokkal a reakciólépésekkel írták le, mint amilyeneket a hagyományos foszfátosításra vonatkozóan tekintünk érvényesnek (II. ábra).

1. A gondosan megtisztított és aktív fémes felületűnek tekinthető acéllemezeknek a nedvesítését elősegítő felületaktív adalékoknak köszönhetően a vas (kezdetben csak egyes felületi pontokban) redukálni lesz képes az enyhén foszforsavas (foszfátosító) kezelőoldat oxónium-ionjait (pácolási reakció az ehhez kedvező, ún. katódos helyeken), miáltal párhuzamosan a beoldódó vas(II)-ionok oldhatatlan foszfátos csapadékszigeteket, például vas(II)-foszfát-hidrátokat képeznek a felület egyes részein (nukleáció az ehhez kedvező, ún. anódos helyeken).
2. A redukált atomos, illetve molekuláris és az acélfelületen szorbeálódott hidrogénnek ($H_{(ads)}$, illetve $H_{2(ads)}$) a felületről történő eltávolítását (deszorpció és egyben depolarizációs folyamat is) az oxidálószer-adalékok (pl. klorát, nitrát, molibdát, stb.) elő tudják segíteni vízmolekulákká alakítás, mint például a nitrát-anionok a $2H_{(ads)} + NO_3^-(aq) \rightarrow NO_2^-(aq) + H_2O_{(aq)}$ redox-folyamat által.
3. A csapadékkiválási folyamatok (precipitáció) előrehaladtával és az összetettebb, többkomponensű, például foszfátos-molibdátos-hidrátos vegyület-réteg-kiépülés által egyre növekszik az acélfelület borítottsága, és ebbe a laza, póru-

szos, gélyszerű rétegbe még a kezelőoldat egyéb kationjai (ha vannak, pl. kalcium, magnézium, mangán, nátrium, kálium stb.) is képesek beépülni.

5. Összefoglalás

A foszforsav tartalmú, ún. foszfátozó felületkezelő vegyszeres oldatok fejlődéstörténetében fontos állomás volt a ma is elterjedten alkalmazott cinkfoszfátozó oldatok (ún. cinkfoszfátozó fürdők) kifejlesztése, melyek különféle változatait a járműiparban széleskörűen alkalmazzák, elsősorban katóforetikus alapozó mártófestés előtti előkezelő műveletként. Vasalapú ötvözetekre (acélok, öntöttvasak) emellett még az ún. vasfoszfátozó fürdőket is használják, melyek egyik ipari változatának továbbfejlesztéséről, nevezetesen a molibdátos adalékkal módosított felületkezelő oldatok laboratóriumi kísérleti vizsgálatainak eddigi eredményeiről számoltunk be. Igazoltuk, hogy a molibdátos adalékos vasfoszfátozás során a vékony felületi rétegben a molibdéntartalmú precipitátumok is réteggépző összetevői a kialakult konverziós rétegnek. A plazmaporlasztásos mélységprofil-elemzések GD OES regisztrátumain kimutatható volt a leválasztott oxidos-hidroxidos és kötöttvízes vasfoszfátos-molibdátos vékonyrétegek elemi összetevői közül az oxigénhez képes jóval könnyebben detektálható Fe, P, Mo, Mg, Na, Ca, és K elemek jelintenzitásainak mélység szerinti változása. Egyéb vizsgálati eredményeink (rétegtömegek, optikai mikroszkópos (OM) és pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek, valamint az EDS röntgenanalízis) mellett az ipari bevezetés előtt természetesen még szükséges lesz olyan további vizsgálatokat (pl. a leválasztott vegyületfilmek kémiai és hőstabilitása, korrózióállósága) elvégezni, melyek révén a szokásos ipari szabványos minősítő vizsgálatok alapján is várhatóan bizonyítható lesz ennek a módosított foszfátozó eljárásnak az életképessége, s így egy ígéretes környezetbarát és költségtakarékos alternatív eljárássá válhat az iparban alkalmazott jelenlegi foszfátozó felületkezelő eljárások mellett.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Miskolci Egyetemen dr. Kulcsár Tibor, Kovács Árpád, dr. Czagány Máté és dr. Hlavács Adrienn kollégáknak az anyagszerkezeti vizsgálatokhoz nyújtott segítségükért, továbbá Kern Istvánnak és Kiss Attilának a kísérletek elvégzéséhez nyújtott segítségükért, valamint hogy a kísérletekhez a Metalchem Kft. laborját a rendelkezésünkre bocsátották. Köszönet jár Kővári Richárdnak is a támogatásáért.

IRODALOM

- [1] Yakubovich O., Khasanova N., Antipov E.: Mineral-inspired materials: Synthetic phosphate analogous

for battery applications. *Minerals*, 10 (2020) 524; DOI: 10.3390/min10060524

- [2] Frost R. L., Weier M. L., Martens W., Klopogge J. T., Ding Z.: Dehydration of synthetic and natural vivianite. *Thermochimica Acta*, 401(2) (2003) 121–130.
- [3] Herbáth B., Kovács K., Jakab M., Makó É.: Crystal structure and properties of zinc phosphate layers on aluminum and steel alloy surfaces. *Crystals*, 13 (2023) 369. <https://doi.org/10.3390/cryst13030369>
- [4] al-Swaidani A. F.: Modified zinc phosphate coatings: a promising approach to enhance the anti-corrosion properties of reinforcing steel. *MOJ Civil Engineering*, 3(5) (2017) 370–374.
- [5] Nickel and its compounds are included in REACH Annex XVII restricted substances list (entry 27). http://www.chemsafetypro.com/Topics/Restriction/reach_annex_XVII_nickel_compounds.html
- [6] Nagy T. Z.: Cink-foszfát helyettesítése nehézfémmentes előkezeléssel katóforetikus festősorokon. *BKL Kohászat*, 155(1) (2022) 17–19.
- [7] Popić J. P., et al.: The effect of deposition temperature on the surface coverage and morphology of iron-phosphate coatings on low carbon steel. *Applied Surface Science*, 257 (2011) 10855–10862.
- [8] Popić J. P., Jegdić B. V., Bajat J. B., Mitrić M., Mišković-Stanković V. B.: Determination of surface coverage of iron-phosphate coatings on steel using the voltammetric anodic dissolution technique. *J. Serb. Chem. Soc.*, 78(1) (2013) 101–114.
- [9] Chen C., Liu G. B., Wang Y., Li J. L., Liu H.: Preparation and electrochemical properties of LiFePO₄/C nanocomposite using FePO₄·2H₂O nanoparticles by introduction of Fe₃(PO₄)₂·8H₂O at low cost. *Electrochimica Acta*, 113 (2013) 464–469.
- [10] Jiang C., Gao Z., Pan H., Cheng X.: The initiation and formation of a double-layer phosphate conversion coating on steel. *Electrochemistry Communications* 114 (2020) 106676 <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106676>
- [11] Erdey-Grúz Tibor: *Elektród-folyamatok kinetikája*. Akadémiai Kiadó, 1969
- [12] Despić A. R., Dražić D. M., Savić-Maglić G. A., Atanasoski R. T.: Hydrogen evolution on pyrolytic graphite. *Croatica Chemica Acta*, 44 (1972) 79–87.
- [13] Miyata Y., Kuwahara Y., Asakura S., Shinohara T., Yakou T., Shiimoto K.: Hydrogen evolution reaction on spheroidal graphite cast iron with different graphite areas in sulfuric acid solutions. *Electrochemistry*, 82(2) (2014) 104–108.
- [14] Bockris J. O'M., Dražić D. M., Despić A. R.: *Electrochim. Acta*, 4 (1961) 325.
- [15] Mathew V., Kim S., Kang J., Gim J., Song J., Baboo J. P., Park W., Ahn D., Han J., Gu L., Wang Y., Hu Y-S., Sun Y-K., Kim J.: Amorphous iron phosphate: potential host for various charge carrier ions. *NPG Asia Materials*, 6, (2014) e138. <https://doi.org/10.1038/am.2014.98>
- [16] Verbrungen H., Baert K., Terryn H., De Graeve I.: Molybdate-phosphate conversion coatings to protect steel in a simulated concrete pore solution. *Surface & Coatings Technology*, 361 (2019) 280–291.

Nyúlásértékek átszámítása

Conversion of elongation values

BOCZ ANDRÁS¹, KISS BALÁZS², MÁRKUS DÉNES³,
NARANCSIK ZSOLT⁴, VAINEL VIKTOR⁵

DUNAFERR LABOR NKft., 2400 Dunaújváros, Vasmű tér 1–3.

¹ügyvezető, bocz.andras@dlabor.hu

²anyagvizsgáló mérnök, kiss.balazs@dlabor.hu

³anyagvizsgáló mérnök, markus.denes@dlabor.hu

⁴főosztályvezető, narancsik.zsolt@dlabor.hu

⁵anyagvizsgáló, vainel.viktor@dlabor.hu

A szakítóvizsgálatban meghatározott nyúlásérték valóban átváltható egy másik jeltávolságon meghatározott, nem mért nyúlásra? Milyen pontosan lehet egy mért szakadási nyúlást átváltani? A téma aktualitását az ISO 2566-1 szabvány 2021-ben bekövetkezett és 2022-ben korrigált változásai adják, amelyek a nyúlásértékek átváltásával foglalkoznak. Ebben a cikkben összehasonlítjuk a különböző jeltávolságok – mérőhosszok – esetén mért szakadási nyúlás eredményeit az ISO 2566-1 szabványban szereplő képletek alapján számított nyúlásértékekkel.

Anyagvizsgálóként idegenkedünk attól, hogy a mérhető anyagtulajdonságokat valamilyen módon képzett eredményekkel helyettesítsük. Az anyagvizsgálat eredményei az anyag adott pillanatban mért tulajdonságait rögzítik, ez az adott körülmények között vizsgált anyagra és csak arra az anyagra igaz.

A vizsgálati eredményeken alapuló modellek természetesen olyan összefüggéseket eredményezhetnek, amelyek iránymutatásként használhatók, mint például az acélok keménysége és szakítószilárdsága közötti összefüggés.

Ebben a cikkben azt vizsgáljuk, hogy a szabványban szereplő képletek alapján újrászámított szakadási nyúlásértékek, mennyire felelnek meg a tényleges vizsgálati eredményeknek.

Kulcsszavak: nyúlás, törés utáni nyúlás, mérőhossz, ISO 2566-1

Can an elongation value determined in a tensile test really be converted to an unmeasured elongation of a different signal distance? How accurately can a measured elongation at break be converted? The actuality of the topic is due to changes in the ISO 2566-1 standard in 2021 and corrected in 2022, which deals with the conversion of elongation values. In this article, we compare the results of measured elongation at break at different signal distances – gauge lengths – with the elongation values calculated using the formulae in ISO 2566-1.

As materials testers, we are averse to replacing measurable material properties with somehow trained results. The results of a material test capture the properties of the material at that moment in time, this is true for the material tested under the given conditions and only for that material.

Models based on test results can of course produce relationships that can be used as a guide, a “rule of thumb”, such as the relationship between hardness and tensile strength of steels.

In this article, we examine the extent to which the elongation at break values recalculated using the formulae in the standard correspond to the results from actual testing.

Keywords: elongation, elongation after fracture, gauge length, ISO 2566-1

1. Szabványváltozás

A cikk témája a szakadási nyúlásértékek szabvány által előírt átszámítása, a leírt módszerek összefüggéseinek összehasonlítása tényleges mérési eredményekkel. A téma aktualitását az MSZ EN ISO 2566-1 [1]

szabvány 2021. és 2022. években történő módosítása adja. Az 1999-es kiadású dokumentumot a 2021-ben kiadott verzió váltotta fel, a régi szabványt több mint húsz évig nem módosította a szabványalkotó. A 2021-ben kiadott szabványt az ISO egy helyesbített verzióval korrigálta 2022 júniusában.

A szabvány az alábbi bevezetéssel határozza meg a felhasználási területét:

- Az acélok százalékos nyúlásának meghatározására szakítóvizsgálat során többféle jeltávolságot használnak. Az 50 mm-es, 80 mm-es, 100 mm-es és 200 mm-es rögzített jeltávolságok mellett a $k\sqrt{S_0}$ arányos mérőhosszúság is járatos a lapos és hengeres próbatestekhez, ahol a k értéke lehet például 4, 5,65, 8,16 vagy 11,3.
- A fentiek közül az $5,65\sqrt{S_0}$ érték az általánosan elfogadott arányos mérőhossz.

A különböző jeltávolságokra előírt minimális százalékos nyúlásokból adódóan egyre nagyobb szükség mutatkozott egy olyan nemzetközi szabványra, amely alkalmazható a vizsgálati eredmények különböző jeltávolságokra történő átalakítására. Ennek megfelelően ez a dokumentum tartalmazza a leggyakrabban használt jeltávolságokra vonatkozó átszámítási értékeket, valamint az átváltási táblázatokat [1, 4].

Az ISO 2566-1 szabvány használatának érvényeségi területe:

- A 300 N/mm² és 700 N/mm² közötti szakítószilárdsági tartományba eső, melegen hengerelt, melegen hengerelt és normalizált vagy lágyított állapotban levő szén-, szén-mangán-, molibdén- és króm-molibdén-acélokra alkalmazható.
- Az átszámítás nem alkalmazható, ha a próbatest eredeti jeltávolsága – mérőhossza – meghaladja a $25\sqrt{S_0}$ -t, vagy ha a próbatest jeltávolságon belüli szélesség–vastagság aránya meghaladja a 20-at.
- Nem alkalmazható hidegen hengerelt, edzett és ausztenites acélok nyúlásértékeinek átszámításához.

A szabvány szerint az átalakítások a megadott feltetelek mellett megbízhatónak tekinthetők, de alkalmazásuk csak a megrendelő és a szállító közötti megállapodás alapján történhet.

Vitás esetben a szakadási nyúlást a vonatkozó termékszabványban megadott jeltávolságon kell meghatározni [1].

2. Szakadási nyúlás meghatározása

A különböző acélipari termékek fizikai-kémiai tulajdonságait és az ellenőrzésükre szolgáló vizsgálatokat a vonatkozó termékszabványok tartalmazzák.

Hidegen és melegen hengerelt, 3 mm-nél vékonyabb lemezekenél az A_{80} , 3 mm-nél vastagabb termékeknél az A_5 szakadási nyúlás előírása a jellemző. Az A_5 szakadási nyúlás a próbatest keresztmetszetével arányos érték, az ISO 6892-1 szabvány [2] szerint az alsó index nélküli A jelölés az A_5 nyúlásértéket jelenti.

Cikkünkben minden esetben az arányos nyúlás megjelenítésére az A_5 jelölést használjuk.

A két nyúlásérték eltér egymástól, hiszen az A_{80} eredeti jeltávolsága mindig $L_0 = 80$ mm, míg az A_5 nyúlás L_0 eredeti jeltávolságát a próbatest keresztmetszete határozza meg, ezért hívják az A_5 értéket a próbatest keresztmetszetével arányos nyúlásnak [2].

Az L_0 eredeti jeltávolság értéke A_5 szakadási nyúlásnál:

$$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}. \quad (1)$$

Az S_0 keresztmetszet értékét lapos termékek vizsgálatánál a próbatest vastagságának és szélességének szorzata adja. Az L_0 az az érték, amelyet vizsgálat előtt a próbatestre feljelölnek. A szakadás utáni méretét L_u szakadási jeltávolsággal jelölik, a két értékből számítható a százalékos szakadási nyúlás:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$

Ha a vizsgálandó lemez *névtelen* vastagsága 3,2 mm, és az ebből elkészített szakító próbatest szélessége 20 mm, akkor az L_0 eredeti jeltávolság értéke egész 5 mm-re kerekítve 45 mm. Ha a próbatest *tényleges* vastagsága viszont kisebb 3 mm-nél, például a negatív tűrűsű hengerlés miatt, akkor már az A_{80} szakadási nyúlást kell az $L_0 = 80$ mm eredeti jeltávolságon meghatározni. Az acélokra jellemező szakadáskori lokális befűződés miatt az eltérő eredeti jeltávolságon mért szakadási nyúlások várhatóan el fognak térni egymástól. Ha vizsgálatkor csak az egyik szakadási nyúlást határozzuk meg, akkor lenne/lehetne használható a szabványos segítség a nyúlásértékek egymásba való átszámolására.

Laboratóriumunkban az elmúlt időszakban nagy mennyiségű vizsgálati eredmény keletkezett, amelyeknél a vizsgált próbatesteken A_5 és A_{80} nyúlást is meghatároztunk. A jelentős számú vizsgálati eredmény utólagos feldolgozásával lehetőségünk adódott az ISO 2566-1 szabvány szerinti, konverzióval képzett nyúlásértékeknek a tényleges mérésből származó eredményekkel történő összehasonlítására.

3. Az ISO 2566-1 szerinti átszámítási képletek [1]

Az ISO 2566-1 szabvány Oliver-képletéből származó előírása:

$$A_5 = 2A \left(\frac{\sqrt{S_0}}{L_0} \right)^{0,4}, \quad (3)$$

ahol az A az $5,65\sqrt{S_0}$ -hoz tartozó nyúlás.

Abban az esetben, ha az átszámítást a próbatest keresztmetszetével arányos (A_5) és azzal nem arányos nyúlások között végeznénk (A_{80}), a szabvány a konverziós faktor képletére az alábbi összefüggést adja:

$$2 \left(\frac{\sqrt{S_0}}{L_0} \right)^{0,4} \quad (4)$$

Az A₅-ből A₈₀-ba történő számításnál az A₅ nyúlásértéket szorozni, az A₈₀-ból A₅-be történő számításnál az A₈₀ nyúlásértéket osztani kell a (4) képletben szereplő faktor értékével.

4. Mérések és számítások

Az ISO 2566-1 szabvány alkalmazhatóságát a 2. pontban tárgyaltuk. Az 1 mm-nél vékonyabb lemezek vizsgálati eredményét nem vettük figyelembe a szélesség–vastagság arány miatt.

Az $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$ és $L_0 = 80$ mm jeltávolsággal meghatározott szakadási nyúlások és a konvertált „számolt” több mint 3000 érték közül néhányat szerepeltetünk az 1. táblázatban. A próbatestek a megren-

delők mintáiból származnak, névleges anyagminőségüket a megrendelők adták meg.

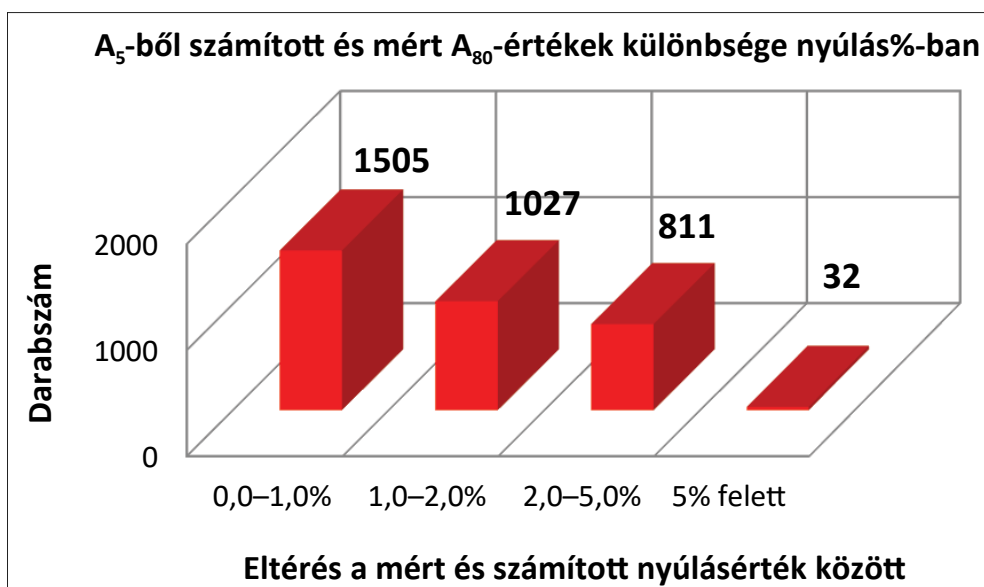
Az 1. ábrán láthatjuk az A₅-ből A₈₀-ba történő átszámítás/mérés eredményének különbségét bemutató diagramot. A mért és számított A₈₀ szakadási nyúláskülönbségeket ábrázoltuk.

Melegen hengerelt lemezekből 3375 vizsgálatot dolgoztunk fel:

- Az átszámítási eltérés 1505 darabnál az 1 nyúlásszázalékot nem haladta meg, ez a vizsgált darabszám 45%-a.
- Az 1–2 nyúlásszázalék eltérés tartományába 1027 eredmény esett, ez a vizsgált darabszám 30%-a.
- A 2–5 tartomány 811 vizsgálatot tartalmaz, ez a vizsgált darabszám 24%-a. Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

1. táblázat: Néhány mért és számított A₈₀ szakadási nyúlásérték

Minőség	Vastagság [mm]	Szélesség [mm]	Terület [mm ²]	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	A ₅ L ₀ [mm]	Mért A ₈₀ [%]	Számított A ₈₀ [%]	Eltérés [ny. %]
S235JR +N	1,49	20,4	30,4	328	427	43,3	30	28,4	29,7	1,3
S235JR +N	1,49	20,1	29,9	325	415	38,9	30	24,2	26,6	2,4
DD11	1,50	20,3	30,5	279	371	48,1	30	30,6	33,0	2,4
DD11	1,50	20,3	30,5	308	386	40,2	30	25,7	27,6	1,9
DD11	1,50	20,2	30,3	278	371	45,3	30	33,1	31,1	2,0
DD11	1,50	20,2	30,3	292	390	38,9	30	25,9	26,7	0,8
DD11	1,50	20,2	30,3	332	403	36,2	30	18,8	24,8	6,0
S235JR +N	1,50	20,1	30,2	331	421	42,7	30	29,1	29,3	0,2
S235JR +N	1,50	20,1	30,2	327	425	41,7	30	27,0	28,6	1,6
S235JR +N	1,50	20,0	30,0	369	465	41,0	30	27,2	28,1	0,9
S235JR +N	1,51	20,4	30,8	340	437	44,7	30	29,3	30,7	1,4
DD11	1,51	20,2	30,5	284	372	47,7	30	32,0	32,7	0,7
S235JR +N	1,51	20,1	30,4	333	419	37,4	30	27,1	25,7	1,4
DD11	1,51	19,9	30,1	319	400	36,6	30	22,4	25,1	2,7
S235JR +N	1,52	20,1	30,6	322	417	45,6	30	30,7	31,3	0,6
S235JR +N	1,52	20,1	30,6	330	419	40,9	30	27,5	28,1	0,6
S235JR +N	3,56	20,1	71,6	332	411	38,4	50	30,4	31,3	0,9
S355J2 +N	3,56	19,9	70,8	378	523	33,0	50	25,4	26,8	1,4
S235JR +N	3,60	19,8	71,3	306	411	34,2	50	27,9	27,8	0,1
S235JR +N	3,61	19,8	71,5	317	420	33,8	50	29,2	27,5	1,7
S235JR +N	3,71	19,9	73,8	299	404	37,6	50	32,6	30,8	1,8
S235JR +N	4,10	19,7	80,8	370	463	33,0	50	25,3	27,5	2,2
S235JR +N	5,80	20,0	116,0	309	417	39,2	60	32,9	35,2	2,3



1. ábra. Átszámítás A₅-ből A₈₀-ba melegen hengerelt lemezeknél

A 2. ábra mutatja az A₈₀-ból A₅-be történő átszámítás/mérés eredményének a különbségét ábrázoló diagramot. Az utólagos kiértékelésbe bevont vizsgálati darabszámok – értelemszerűen – megegyeznek az előzőekben leírtakkal.

Melegen hengerelt lemezeknél

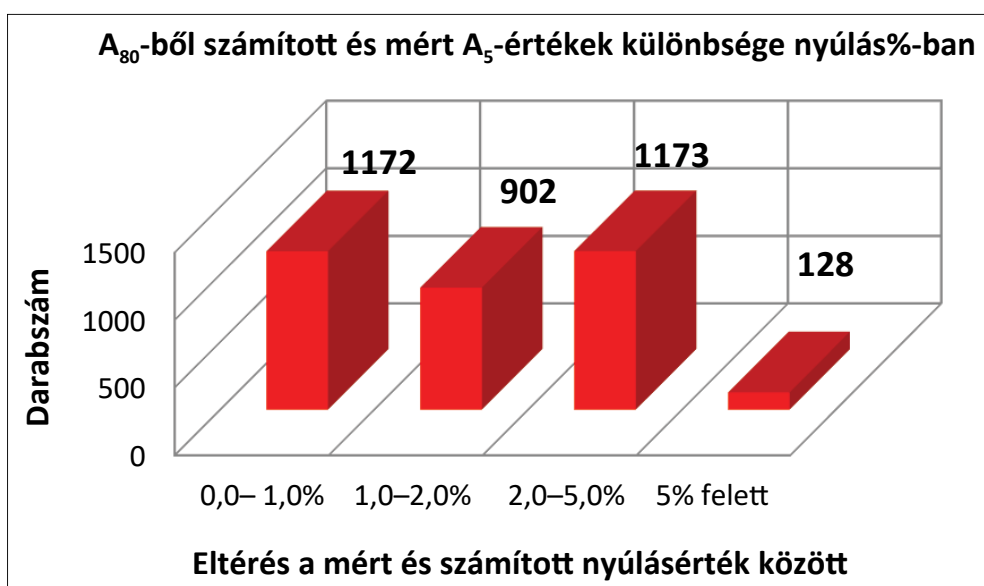
- ❑ a 0–1 nyúlás százalék eltérés tartományba 1172 darab 35%,
- ❑ az 1–2 eltérés tartományba 902 eredmény 27%-a,
- ❑ a 2–5 tartomány 1173 darab, az összes vizsgálat 35%-a esett.
- ❑ Az 5 nyúlás százalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 4%-ánál jelentkezett.

Melegen hengerelt termékek mellett hidegen hengerelt lemezek és zártszelvények nyúlási eredményeit is bevontuk elemzéseinkbe a Megrendelőink kérésére. E termékekre azonban az ISO 2566-1 szabvány hatálya nem terjed ki, így ezek csak tájékoztató értékek.

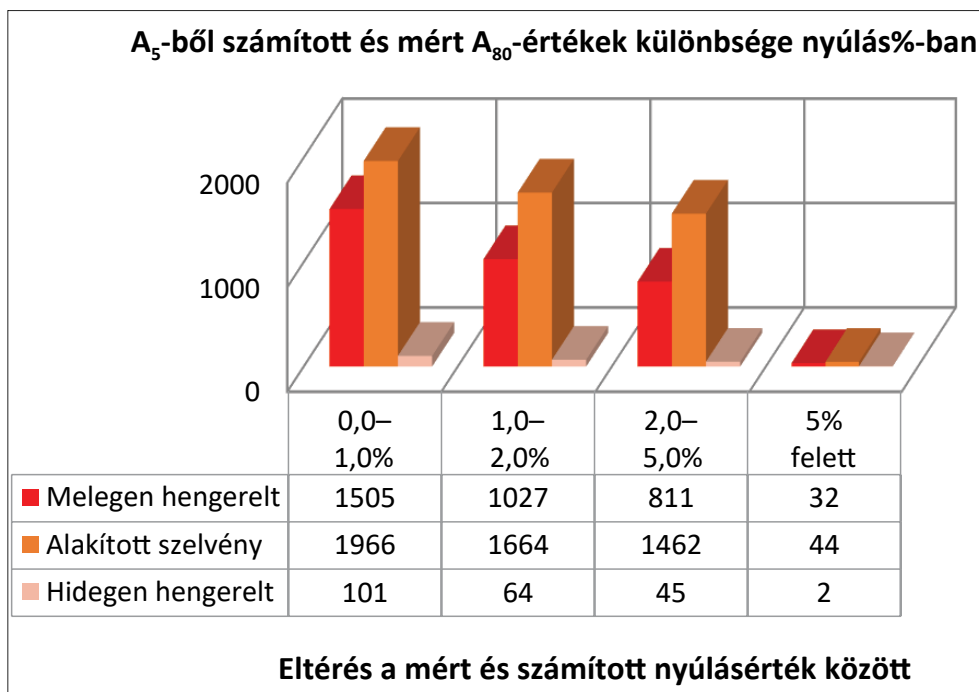
A 3. ábrán látható az A₅-ből A₈₀-ba történő átszámítás/mérés eredményének a különbségét bemutató diagram. A mért és számított A₈₀ szakadási nyúláskülönbségeket ábrázoltuk.

A továbbalakított termékekénél, profiloknál az összes utólag kiértékelt darabszám 5136 volt:

- ❑ a 0–1 nyúlásszázalék eltérés tartományba 1966 darab, 38%,
- ❑ az 1–2 tartományba 1664 darab, 32%,
- ❑ a 2–5 tartományba 1462 darab, az összes darabszám 28%-a esett.



2. ábra. Átszámítás A₈₀-ból A₅-be melegen hengerelt lemezeknél



3. ábra. Átszámítás A₅-ből A₈₀-ba

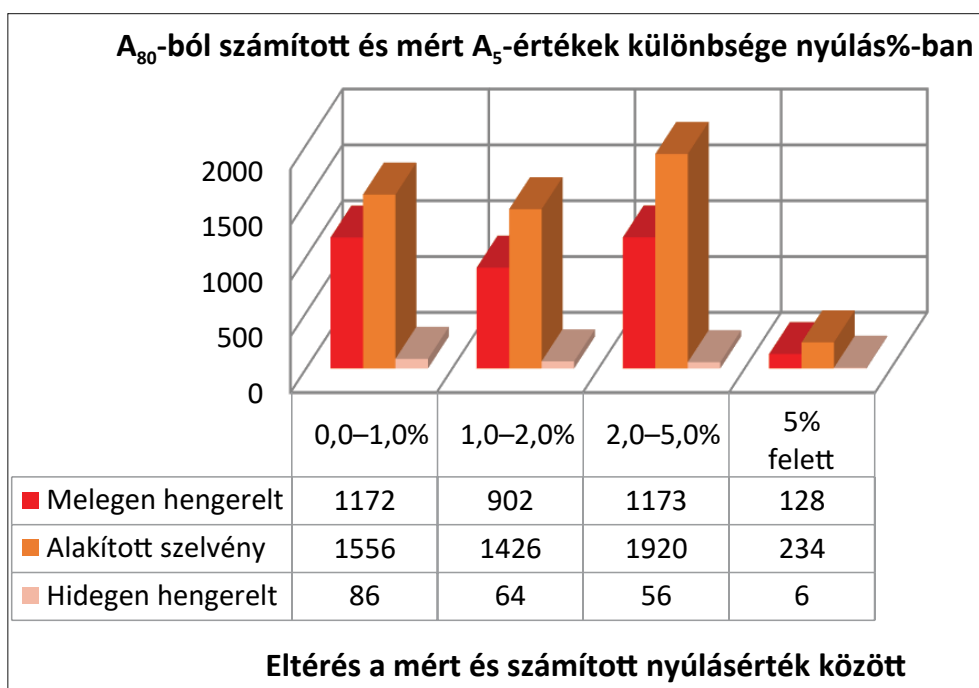
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés itt is a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

Hidegen hengerelt termékek vizsgálatának feldolgozásába 212 vizsgálatot vontunk be. Az eltérések az alábbiak szerint alakultak:

- 0–1 tartomány; 101 darab; 48 %,
- 1–2 tartomány; 64 darab; 30%,

- 2–5 tartomány; 45 darab; 21%.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés itt is csak a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

A 4. ábra diagramja az A₈₀-ból A₅-be történő átszámítás/mérés eredményének különbségét ábrázolja. Az utólagos kiértékelésbe bevont vizsgálati darabszámok megegyeznek az előzőekkel.



4. ábra. Átszámítás A₈₀-ból A₅-be

Továbbalakított termékeknel

- a 0–1 tartományba 1556 darab, 30%,
- az 1–2 tartományba 1426 darab, 28%,
- a 2–5 tartományba 1920 darab, az összes darabszám 37%-a tartozott.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 5%-ánál jelentkezett.

Hidegen hengerelt termékeknel az eltérések az alábbiak szerint alakultak:

- 0–1 tartomány; 86 darab; 41%,
- 1–2 tartomány; 64 darab; 30%,
- 2–5 tartomány; 56 darab; 26%.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 3%-ánál jelentkezett.

5. Értékelés

A 4. pontban bemutatott diagramok és darabszámok azt mutatták, hogy a 80 mm-nél kisebb jeltávolságon mért A_5 -nyúlások A_{80} -ba történt átszámítása a vizsgált darabszám 75%-ánál a ± 2 nyúlásszázalék eltérés tartományába esett, de a vizsgált darabszám 99%-ánál a mért és számolt nyúlás eltérése is csak ± 5 nyúlásszázalék. Adódott 32 vizsgálat, ahol a ténylegesen mért és számolt szakadási nyúlás eltérése meghaladta az 5 nyúlásszázalékot. Az A_5 -nyúlások A_{80} -ba átszámítása jó közelítést ad.

Az A_{80} -ból történő átszámítás kisebb jeltávolságú szakadási nyúlásba nagyobb eltérést eredményezett. Ebben az esetben a vizsgált darabszám 62%-a esett a ± 2 nyúlásszázalék eltérés tartományába, és hozzávetőleg 96%-a esetén volt kisebb az eltérés $\pm 5\%$ -nál. Az 5 nyúlásszázaléknál nagyobb eltérés a melegen hengerelt lemezeknél 128 vizsgálatnál (a vizsgálatok 3,8%-a) jelentkezett, ahol a ténylegesen mért és számolt szakadási nyúlás eltérése meghaladta az 5 nyúlásszázalékot. Megállapítható, hogy az A_{80} nyúlások kisebb jeltávolságú nyúlásba számítása *nagyobb hibát eredményez, mint az előző konverzió.*

Hidegen hengerelt lemezek és zártszelvények vizsgálatának nyúlásátszámítása nem az ISO 2566-1 szabvány témája, de jól látható, hogy a konverzió hiába aránya a melegen hengerelt termékekhez hasonlóan alakul.

A mért és átszámolt nyúlásértékek eltéréseinek okai az alábbiak lehetnek.

- Egyik előző cikkünkben [3] bemutattuk a szakadás helyének hatását a szakadási nyúlás értékére, ami jó kiegészítést ad a szakadási nyúlások konverziójára.
- A próbatetek szakadási helyei az MSZ EN ISO 6892-1:2020 20.1 pontja szerint megfeleltek, ezért a szabvány I melléklete szerinti „A szakadás utáni százalékos nyúlás mérése az eredeti mérőhossz felosztása alapján” módszerrel nem alkalmaztuk vizsgálatok közben. Az utólagosan kiértékelt mérési eredmények esetén nem volt alkalmunk összefüggést találni az Oliver-féle képlet és az I mellékletben leírt „jeltávohelyezési” eljárás között. A CNC marógépen elkészített próbatetek párhuzamosságának hibája a szabványos tűrés töredéke, ezért a próbatetek nagy számban közepesen szakadtak el.
- Vizsgálatainknál az ISO 6892-1 vizsgálati szabvány 8.2 pontja [2] szerint az eredeti jeltávolság L_0 értékét a legközelebbi 5 mm-re kerekítjük, ez is eredményezhet eltéréseket a mért és számolt szakadási nyúlások értékeiben.

6. Összefoglalás

Ha a próbatest szakadásának helye ideális, azaz a szakadás a próbatest közepén és a jeltávolság két jele között közepesen történik, akkor az A_5 – A_{80} matematikai konverzió megfelelő pontosságú értéket adhat. Egyéb esetben a számítás csak jó közelítés lehet a mért eredményhez képest.

HIVATKOZÁSOK

- [1] MSZ EN ISO 2566-1: 2022 Az Sz. K. 2022. évi 8. számában közzétett, az ISO által 2022. júniusban kiadott helyesbített változat. Acélok. A nyúlásértékek átszámítása
- [2] MSZ EN ISO 6892-1: 2020 Fémek. Szakítóvizsgálat 1. rész: Vizsgálati módszer szobahőmérsékleten
- [3] Bocz András, Kiss Balázs, Márkus Dénes, Narancsik Zsolt, Vainel Viktor (2021): Nyúlásmérés rejtelméi lágyacélokban. *Anyagvizsgálók Lapja*, 2021/III, 25–29. https://avilap.hu/view_article.jsp?article=1211
- [4] D. A. Oliver (1928): Proposed new criteria of ductility from a new law connecting the percentage elongation with size of test-piece. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 115/1, 1–38. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1928_115_019_02



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



ALWAYS

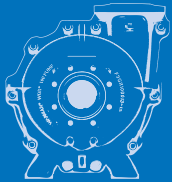
Warman

SINCE. 1938

WEIR

80 YEARS
OF THE VERY BEST

Hat vezető iparági termék.



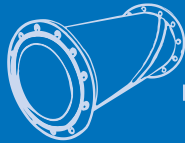
Warman®
zagszivattyúk

+



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

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

WEIR
Minerals

A hidrogéntartalom hatása a földgázz szállító hálózaton átszállítható energiataralomra vonatkozóan

The effect of hydrogen content on the energy content that can be transferred through the natural gas transmission network

GALYAS ANNA BELLA

okl. olaj- és gázmérnök, egyetemi tanársegéd,
Miskolci Egyetem, Bányászat és Energia Intézet



Napjaink egyik legsürgetőbb problémája az éghajlatváltozás megfékezése, amelynek egyik jelentős forrása az energiafelhasználáshoz köthető üvegházhatású gázok légkörbe jutása. Európai szinten is erősödik az igény egy olyan megújuló forrásból származó energiahordozóra, amely a hagyományos fosszilis tüzelőanyagok helyettesítésére részben vagy teljesen alkalmas lehet. A hidrogén erre a célra megfelelőnek ígérkezik. A megújuló forrásból származó hidrogén egyik legnagyobb előnye a jelenleg alkalmazott fosszilis tüzelőanyagokkal szemben, hogy eltűzése során vízgőz keletkezik, ezzel jelentősen csökkentve a légkörbe kerülő CO₂-kibocsátás mértékét. Viszont a hidrogén egységnyi térfogatra vetített energiataralma jelentősen elmarad a földgázétól. Emiatt jelentős kérdésként vetődik fel, hogy a hidrogén földgázhoz való bekeverése, milyen mértékben módosítja a gázvezetéken átvihető energiataralmat. Ennek számszerűsítéséhez bevezetésre került a KF konverziós faktor. Ez megmutatja, hogy milyen mértékű átszállítható energiataralombeli csökkenés jelentkezik egy adott vezetéksz szakaszon a tiszta metántartalomhoz viszonyítva, állandó nyomásvesztés mellett, amennyiben a földgázt alkotó fő komponenshez hidrogént kevernek be.

Kulcsszavak: hidrogénbekeverés, energiataralom, KF konverziós tényező

One of the most urgent problems today is taming the climate change. The most significant sources of the problem are the release of energy use associated greenhouse gases of the atmosphere. There is also a growing demand at European level for renewable energy sources that can partially or fully replace traditional fossil fuels. Hydrogen promises to be suitable for this purpose. One of the biggest advantages of renewable hydrogen over current fossil fuels is that it produces water vapour when combusted, significantly reducing CO₂ emissions into the atmosphere. However, the energy content of hydrogen per unit volume is significantly lower than for natural gas. This raises a significant question of the extent to which the blending of hydrogen with natural gas modifies the energy content that can be transferred through the pipeline. To quantify this, the KF conversion factor has been introduced, which shows the amount of transferable energy content reduction that occurs on a given pipeline section compared to pure methane content with constant pressure loss when hydrogen is already mixed into the main component of natural gas.

Keywords: hydrogen content, energy content, KF conversion factor

Bevezetés

A hidrogén földgáz hálózati megjelenése számos kutatás témájaként jelenik meg nemcsak Európában, hanem Magyarországon is. A hazai egybefüggő földgáz-ellátó hálózatot üzemeltető engedélyesek esetében a hidrogén betáplálása jelentős előkészületeket követel

meg, amely a megfelelő műszaki háttér mellett a hidrogén okozta hatásokra való felkészülést is magában foglalja. Jelen cikkben bemutatjuk, hogy a hidrogén földgázz szállító hálózaton való megjelenésével hogyan változik a vezetékben lévő gáz energiataralma abban az esetben, ha a rendszerben az üzemeltetési nyomások nem változnak.

A csővezetéki gázáramlás viszonyainak leírása

Az átszállítható energiataralom-változás előrejelzésének vizsgálatához a csővezetéki gázáramlást leíró egyenletet használtam fel. Az összefüggés alapjául az elemi hosszúságú csőszakasz esetén érvényes egységnyi mennyiségű gázra felírható súrlódásos Bernoulli-energiaegyenlet szolgál [1]:

$$\frac{dp}{\rho} + wdw + g \sin \alpha dl + \lambda \frac{w^2}{2d} dl = 0, \quad (1)$$

ahol

$\frac{dp}{\rho}$ – nyomásenergia;

$w dw$ – mozgási energia;

$g \sin \alpha dl$ – helyzeti energia;

$\lambda \frac{w^2}{2d} dl$ – súrlódási veszteség.

A csővezetéki gázáramlás alapegyenlete vízszintes vezeték esetében érvényes, valamint a hazai terepviszonyok mellett elmondható, hogy a gázok esetében a magasságkülönbség okozta gázostatikai nyomástöbblet elhanyagolható mértékű (a kisnyomású esetektől eltekintve). Emiatt a helyzeti energia tag elhagyható az egyenletből [2]. A mozgási energia tényező szintén figyelmen kívül hagyható, mivel ez nagyságrendileg jelentősen kisebb a többihez viszonyítva, továbbá a nyomási energia kevesebb, mint 1%-a a gázok kis sűrűsége miatt.

Ennek következtében az (1) egyenlet már csak a nyomási energia összetevőből, valamint a súrlódási veszteségből épül fel az alábbi formában:

$$\frac{dp}{\rho} + \lambda \frac{w^2}{2d} dl = 0. \quad (2)$$

A gázok szempontjából nem elhanyagolható azok sűrűségének, valamint áramlási sebességének nyomásfüggése. Emiatt az egyenletbe behelyettesítjük az ezeket leíró összefüggéseket, amelyek alapjául az általános gáztörvény, illetve a kontinuitás törvénye szolgálnak. A különböző behelyettesítések és matematikai műveletek elvégzése után kialakul a karakterisztikus egyenlet, amely a gázok csővezetékben megvalósuló stacioner áramlását írja le [1, 2]:

$$p_1^2 - p_2^2 = \left(\frac{p_n}{T_n} \right)^2 \frac{M_{\text{lev}}}{(\pi/4)^2 R_u} \lambda \frac{M_{\text{kev}}}{M_{\text{lev}}} T z \frac{L}{d_b^5} q_n^2, \quad (3)$$

ahol

p_n – fizikai normálynomás [101 325 Pa(a)];

T_n – fizikai normálhőmérséklet [273,15 K];

M_{lev} – standard összetételű száraz levegő moláris tömege (MSZ ISO 6976 szerint);

R_u – egyetemes gázállandó;

p_1 – kezdőponti nyomás [Pa(a)];

p_2 – végponti nyomás [Pa(a)];

λ – csősúrlódási tényező [–];

M_{kev} – gázelegy moláris tömege;

T – gázelegy hőmérséklete [K];

z – gáz kompresszibilitási tényezője [–];

L – vezeték szakasz hossza [m];

d_b – csővezeték belső átmérője [m];

q_n – fizikai normálállapotra vonatkoztatott gázáram.

Az egyenletben számos egyszerűsítő feltevést tettünk, mivel nem létezik sztochasztikus megoldása az áramlástan problémának. A vizsgálat során izotermikus áramlást feltételezünk, vagyis nem vesszük figyelembe azt, hogy a csővezetékben való áramlás során a gáz hőmérséklete változik a vezeték hossza mentén. A vezeték szakasz vízszintes, vagyis az összefüggés eltekint a kezdő- és végpont közötti magasságkülönbség okozta hatásoktól. A vizsgált modell állandó keresztmetszetű vezeték szakaszból áll, amelyen a kezdő- és a végpont között nincs közbelső elvétel, azaz az időegység alatt átáramló gáz tömege állandó [2].

Az átszállítható energiataralom változására vonatkozó vizsgálat során alkalmazott peremfeltételek

A bemutatott vizsgálat a hazai földgázellátó hálózatba történő hidrogén betáplálást feltételez, megvizsgálva azt, miként alakul az egyre növekvő mértékű hidrogéntartalom hatására a hálózatba betáplált energiataralom. A vizsgálat pontos lehatárolása érdekében számos peremfeltételt vettem figyelembe.

A vizsgálat során az egyik legfőbb peremfeltétel, hogy a kezdő- és végponti nyomás értéke állandó, vagyis a vezetéken jelentkező nyomáskülönbség állandónak tekinthető bármely gázösszetétel csővezetéki áramlása során. Az elemzés során eltekintek a magasabb rendű szénhidrogén-, valamint az inerttartalomtól, a minta gázelegy kizárólag metánt és hidrogént tartalmaz abból a megfontolásból, hogy a formula általánosan alkalmazható legyen.

Ahhoz, hogy a tiszta metán, valamint a metán-hidrogén gázelegy csővezetéki áramlására vonatkozó átszállítható energiataralom változása leírhatóvá váljon – állandó nyomásvesztéssel feltételezve – felírtam a már hidrogént is tartalmazó, kétkomponensű gázelegy esetén érvényes, valamint a kizárólag CH₄-tartalmú gázra rögzített, az áramlási viszonyokat kifejező összefüggést. Az átszállítható energiataralom-változás meghatározásának alapját tehát a metán-hidrogén gázelegyre felírható, valamint a tiszta metántartalom mellett érvényes karakterisztikus egyenletek hányadosa adja. Az összefüggés az alábbiakban látható.

$$p_1^2 - p_2^2 = \left(\frac{p_n}{T_n} \right)^2 \frac{M_{lev}}{(\pi/4)^2 R_u} \times \frac{\overline{\lambda}_{kev}}{M_{lev}} \overline{T}_{kev} \overline{z}_{kev} \frac{L}{d_b^5} q_{n,kev}^2, \quad (4)$$

$$p_1^2 - p_2^2 = \left(\frac{p_n}{T_n} \right)^2 \frac{M_{lev}}{(\pi/4)^2 R_u} \times \frac{\overline{M}_{CH_4}}{M_{lev}} \overline{T}_{CH_4} \overline{z}_{CH_4} \frac{L}{d_b^5} q_{n,CH_4}^2, \quad (5)$$

ahol

- $\overline{\lambda}_{kev}$ – a gázelegy esetén jelentkező átlagos súrlódási tényező [-];
- $\overline{\lambda}_{CH_4}$ – a metán esetén jelentkező átlagos súrlódási tényező [-];
- \overline{T}_{kev} – a gázelegy átlagos hőmérséklete [K];
- \overline{T}_{CH_4} – a metán átlagos hőmérséklete [K];
- \overline{z}_{kev} – a gázelegy átlagos kompresszibilitási tényezője [-];
- \overline{z}_{CH_4} – a metán átlagos kompresszibilitási tényezője [-];
- $q_{n,kev}$ – a gázelegy fizikai normálállapokra vonatkoztatott gázárama [nm^3/s];
- q_{n,CH_4} – a metán fizikai normálállapokra vonatkoztatott gázárama [nm^3/s].

Mivel a vizsgálatok során peremfeltételként vettem figyelembe a kezdő- és végponti nyomáskülönbségek állandóságát, így a baloldal egyenlősége miatt – a matematika törvényszerűségei következtében – az összefüggések jobb oldalai is egyenlők egymással. Az így keletkezett hányados esetében egy sor egyszerűsítő feltételezést alkalmaztam. A csősúrlódási tényező értékét a földgázellátó rendszeren a belső csőfal relatív érdessége határozza meg az áramlást jellemző Reynolds-számok nagyságrendje miatt. A gázelegy összetétele elhanyagolható mértékben befolyásolja a súrlódási tényezőt, aminek következtében az átlag λ értékek azonosak, ezáltal az összefüggés tovább egyszerűsíthető. A gázösszetétel hatása a hőmérséklet-eloszlásra gyakorlatilag jelentéktelen, értéke 1,5% alatt marad [3, 4]. Az eltérő gázelegyek vizsgálata során természetesen a csővezeték geometriája, valamint a gáz hőmérséklete is azonos. E peremfeltételek mellett összefüggés áll fenn, amely szerint a tiszta metántartalomhoz viszonyított térfogatáram-változást a hidrogéntartalom gázelegyben történő megjelenése jelenti. Ennek értéke láthatóan a relatív sűrűség – amely a standard összetételű száraz levegő és a gáz moláris tömegeinek hányadosaként adódik –, és ezt a kompresszibilitási tényező befolyásolja.

$$\frac{q_{n,kev}}{q_{n,CH_4}} = \sqrt{\frac{\rho_{rel,CH_4} \overline{z}_{CH_4}}{\rho_{rel,kev} \overline{z}_{kev}}}, \quad (6)$$

ahol

- ρ_{rel,CH_4} – a metán relatív sűrűsége [-];
- $\rho_{rel,kev}$ – a gázelegy relatív sűrűsége [-].

Bevezetve az egységnyi energiatartalmat kifejező hőértéket a térfogatáram-változást leíró egyenletbe, a kapott összefüggés segítségével meghatározhatóvá válik a hidrogéntartalom hatására bekövetkező, a csővezetéken átszállítható energiatartalom-változás, mely állandó nyomásvesztéséget feltételezve:

$$KF = \frac{E_{kev}}{E_{CH_4}} = \frac{H_{a,kev}}{H_{a,CH_4}} \sqrt{\frac{\rho_{rel,CH_4} \overline{z}_{CH_4}}{\rho_{rel,kev} \overline{z}_{kev}}}, \quad (7)$$

ahol

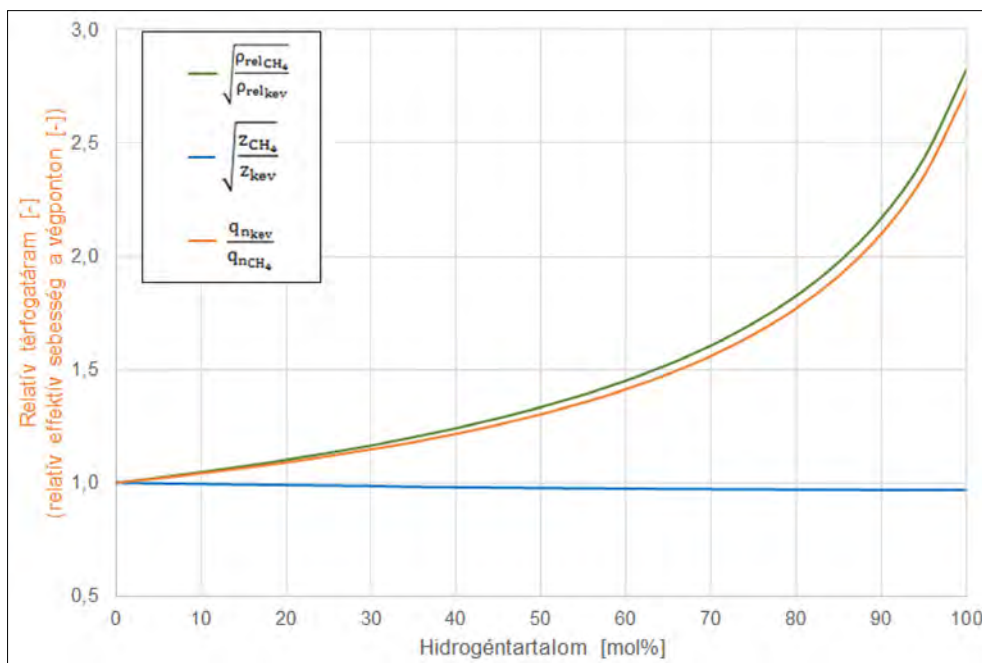
- KF – konverziós faktor [-];
- E_{kev} – a gázelegy alsó hőértéke [kWh/m^3];
- E_{CH_4} – a metán alsó hőértéke [kWh/m^3];
- $H_{a,kev}$ – a gázelegy energiatartalma [kWh/m^3];
- H_{a,CH_4} – a metán energiatartalma [kWh/m^3].

A számítások során a metán, a hidrogén, valamint az ezekből alkotott gázelegy relatív sűrűsége, valamint alsó hőértéke az MSZ ISO 6976:1997 Földgáz. A hőértéket, a sűrűség, a relatív sűrűség és a „Wobbe-szám számítása a gázösszetételből” c. szabvány alkalmazásával számítottam ki.

Bevezetve a KF konverziós faktort az előzőleg bemutatott egyenletbe, a kapott mutatószám kifejezi, hogy a tiszta metántartalomhoz viszonyítva a hidrogéntartalom megjelenésével hogyan változik a gázvezetéken átszállítható gázmennyiség energiatartalma, amennyiben a vezetéken jelentkező nyomásvesztés állandó. Az egyenletből egyértelműen látható, hogy a földgázszállító hálózati gázmennyiségek energiatartalom-változását jellemző konverziós faktor a nyomás, a hőmérséklet, valamint a hidrogéntartalom függvényében határozható meg.

A kapott egyenlet alapján a csővezetékben áramló gáztérfogat csak a relatív sűrűség, valamint a kompresszibilitási tényező függvénye. A továbbiakban az így nyert összefüggés alapján számított, a csővezetéken átszállítható energiatartalom-változás kerül bemutatásra a magyar földgázelosztó-, illetve szállítóhálózaton érvényes jellegzetességeket figyelembe véve.

A karakterisztikus egyenletek hányadosából képzett egyenlet alapján ábrázolom a normál térfogatáram-változást a hidrogéntartalom szállítóhálózati megjelenése során, amelyet az 1. ábra szemléltet. A növekvő hidrogéntartalom mellett jelentkező relatív normál térfogatáram-változás vizsgálata során az egyenlet tagjait külön-külön ábrázoljuk.

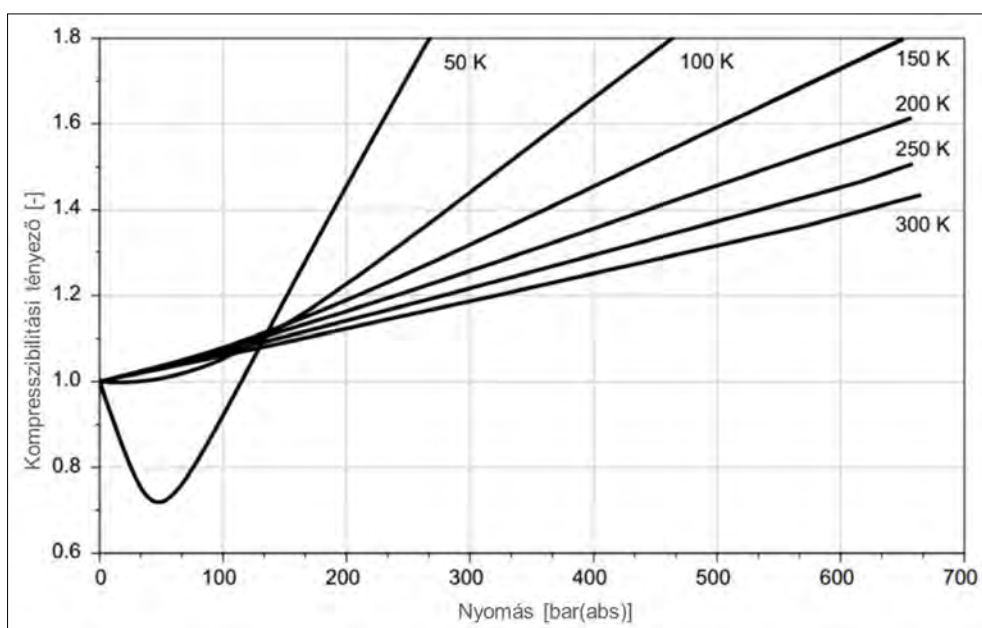


1. ábra. A relatív normál térfogatáram és relatív áramlási sebesség alakulása a végponton

Az 1. ábrán látható, hogy a metán- és a hidrogéntartalmú gázelegy adott nyomáson és hőmérsékleten érvényes kompresszibilitási tényezőiből képzett hányados négyzetgyöke az 1,0-es értéktől még 100 mol% hidrogéntartalom esetében is kismértékben tér el. A térfogatáram-változást jelentősebb mértékben határozza meg a relatív sűrűségek hányadosának négyzetgyöke, aminek oka a metán és a hidrogén sűrűségkülönbségében keresendő, mivel a hidrogén közel nyolcszor kisebb sűrűséggel rendelkezik a földgázokat alkotó legfőbb komponensnél. A két görbe eredője adja a relatív térfogatáram görbét, amely megmutatja, hogy a növekvő hidrogéntartalom mellett milyen

mértékben növekszik a térfogatáram a csővezetékben. Az 1. ábrán is megfigyelhető, 10 mol% H₂-tartalmú gázelegy esetében 4,1%-kal, 20 mol% mellett megközelítőleg 9,0%-kal növekszik a metánhoz viszonyított normál térfogatáram. Tiszta hidrogéngáz csővezetékben történő szállítása esetében (a narancssárga görbe) 2,7-szer nagyobb normál térfogatáram lép fel, mintha az kizárólag metán molekulákból épülne fel.

A hazai és nemzetközi gyakorlatban a szállítói engedélyek 10 m/s értéken maximalizálják a hálózaton jelentkező áramlási sebességeket. A kontinuitási törvényből eredően a gázáram egyenes arányban változik a végponton jelentkező effektív áramlási sebes-



2. ábra. A hidrogén kompresszibilitási tényezője a nyomás és hőmérséklet függvényében [5]

séggel. Ebből következően a térfogatáram változását leíró görbe megegyezik a vezeték végpontján kialakuló effektív áramlási sebesség görbéjével.

A kompresszibilitási tényező alakulása metán–hidrogén gázelegy esetén a gázszállító hálózaton jelentkező nyomástartományon

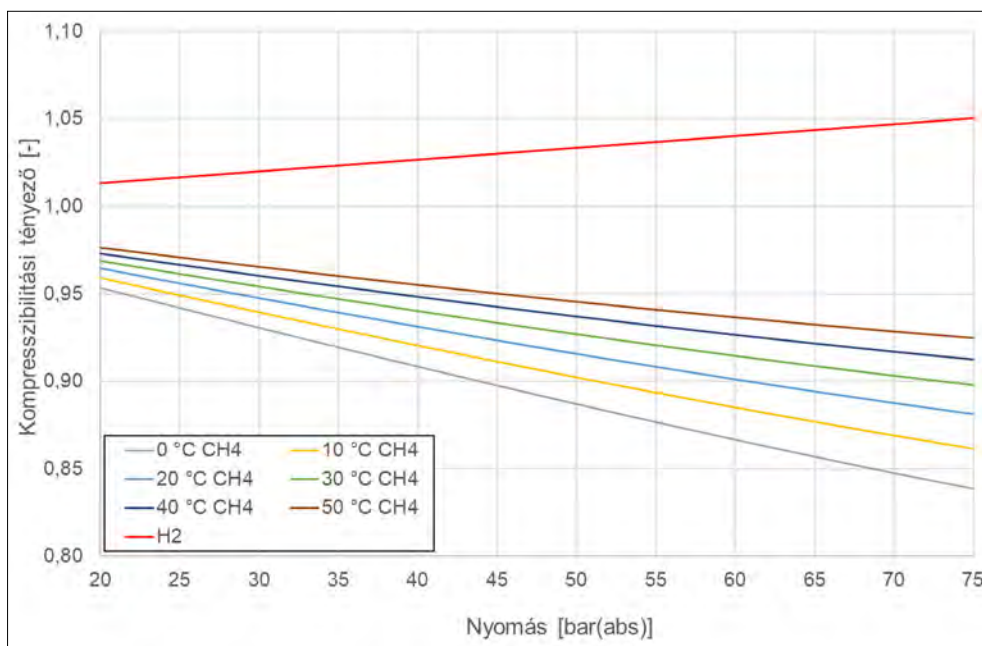
A hazai földgázszállító rendszer jellemző névleges nyomása 64 bar, a belső engedélyezési túlnyomások nagyságrendileg 40–75 bar tartományban van. Vizsgálataimat ettől szélesebb, 20–75 bar(a) nyomástartományban végeztem el, 5 bar nyomáslépcsőt alkalmazva. A hőmérséklettartományt 0–50 °C között határoztam meg 10 °C hőmérsékletlépcsővel, a hidrogéntartalmat pedig 0–100 mol% között vizsgáltam.

A földgázszállítás során jelentkező, a hidrogéntartalom bekeverésének hatására végbemenő, állandó nyomásvesztéséget feltételező, csővezetéken átszállítható, energiatartalom-változást kifejező konverziós faktor meghatározásában jelentős szerepet játszik a kompresszibilitási tényező, emiatt ennek részletes vizsgálatától nem lehet eltekinteni. A kompresszibilitási tényező görbéinek alakulását az olaj- és gáziparban széles körben alkalmazott Aspen HYSYS szimulációs szoftver segítségével határoztam meg. A szimuláció során használt állapotegyenlet kiválasztásához a szakirodalomban fellelhető, a hidrogén kompresszibilitási tényezőjét leíró görbéire történő illeszkedést vizsgáltam (2. ábra). Számos futtatás eredményeként megállapítottam, hogy a legjobb illeszkedés a Soave–Redlich–Kwong (SRK) állapotegyenlet alkalmazásával érhető el, főként a vizsgálatok szempontjából jelentős 300 K hőmérsékletre tartozó görbe esetén.

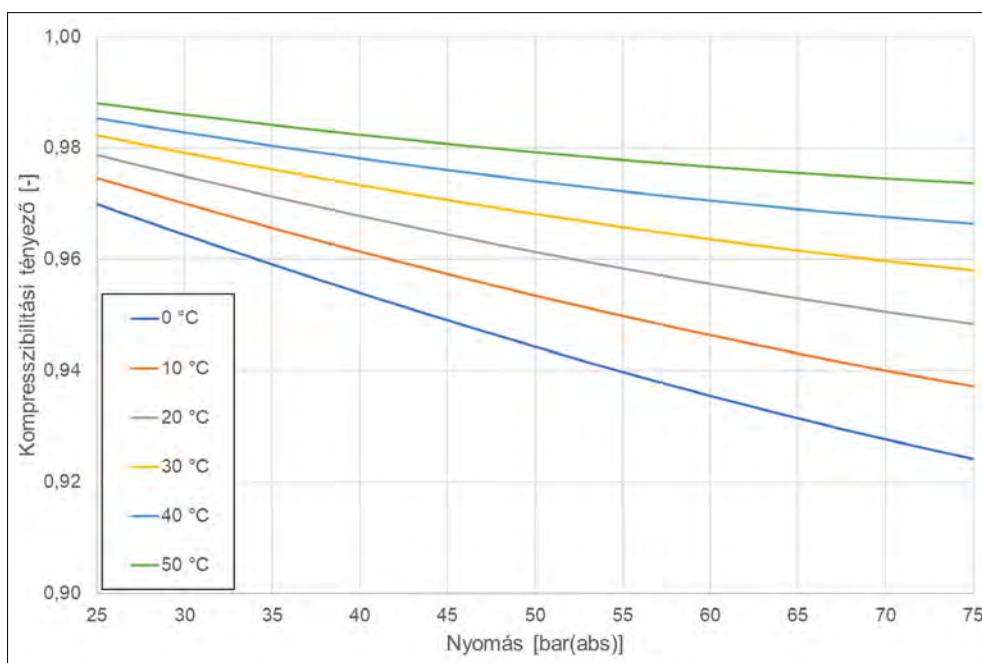
Elsőként a metán és a hidrogén kompresszibilitási tényezőjét vizsgáltam. A számítás eredményeit a 3. ábra szemlélteti. A metán esetében a nyomás növekedésével az eltérő hőmérsékletekhez tartozó kompresszibilitási tényező görbéi egyre inkább elkülönülnek egymástól. A metán eltérési tényezője a legkisebb értéket a vizsgált legalacsonyabb hőmérsékleten és legnagyobb nyomáson veszi fel. Szembetűnő különbség, hogy míg a metán kompresszibilitási tényezője a nyomás növekedésével csökken, addig a hidrogén esetében növekedés tapasztalható, vagyis a metán–hidrogén gázelegy kompresszibilitási tényezőjének alakulására a két komponens viselkedése ellentétesen hat. A másik jelentős eltérés, hogy a hidrogén kompresszibilitási tényezője a hőmérséklettől szinte független, a különböző hőmérsékletre tartozó görbék egybeesnek, emiatt a 3. ábrán csak egyetlen, piros színnel jelölt görbét ábrázoltam.

A 4. ábra a 20 mol% H₂-tartalmú metán–hidrogén gázelegy kompresszibilitási tényező menetét mutatja be 20–75 bar abszolút nyomás- és 0–50 °C hőmérséklet-tartományt vizsgálva. Az ábrán megfigyelhető, hogy a gázelegy kompresszibilitási tényezője a nyomás növekedésével csökken, a csökkenés kisebb hőmérsékleten szignifikánsabb. A hőmérséklet emelkedésével a kompresszibilitási tényező értéke láthatóan növekszik, illetve az is megfigyelhető, hogy a hőmérséklet növekedésével a görbék meredeksége csökken.

A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a hidrogén a földgázt legnagyobb arányban alkotó metánnal ellentétesen hat a gázelegy kompresszibilitási tényezőjének alakulására. Ahogyan nő a hidrogéntartalom a gázelegyben, úgy közelít az eltérési tényező a hidrogén adott nyomáson érvényes eltérési tényezőjéhez.



3. ábra. A metán és a hidrogén kompresszibilitási tényezőjének alakulása eltérő nyomás- és hőmérsékletértékeken



4. ábra. A 20 mol% H₂-tartalmú metán-hidrogén gázelegy kompresszibilitási tényező görbéi a nyomás és hőmérséklet függvényében

A konverziós faktor a földgázszállító hálózaton jelentkező nyomás- és hőmérséklet-tartomány esetében

A nyomás és hőmérséklet mint paraméterek függvényében meghatároztam a különböző hidrogéntartalmú gázelegyek esetében jelentkező konverziós faktor alakulását, amelyek közül az 5 mol% H₂-tartalommal rendelkező gázelegy KF konverziós faktorát az 5. ábra mutatja.

A konverziós faktorok lefutását szemléltető 5. ábra szerint a görbék egyenessel jól közelíthetők, ezt szaggatott vonallal tüntettem fel. Ennek alapján a

vizsgált nyomás- és hőmérséklettartományokban az eltérő összetételű metán-hidrogén gázelegyek konverziós faktora a (8) összefüggéssel határozható meg, amit lineáris regresszió segítségével írtam le:

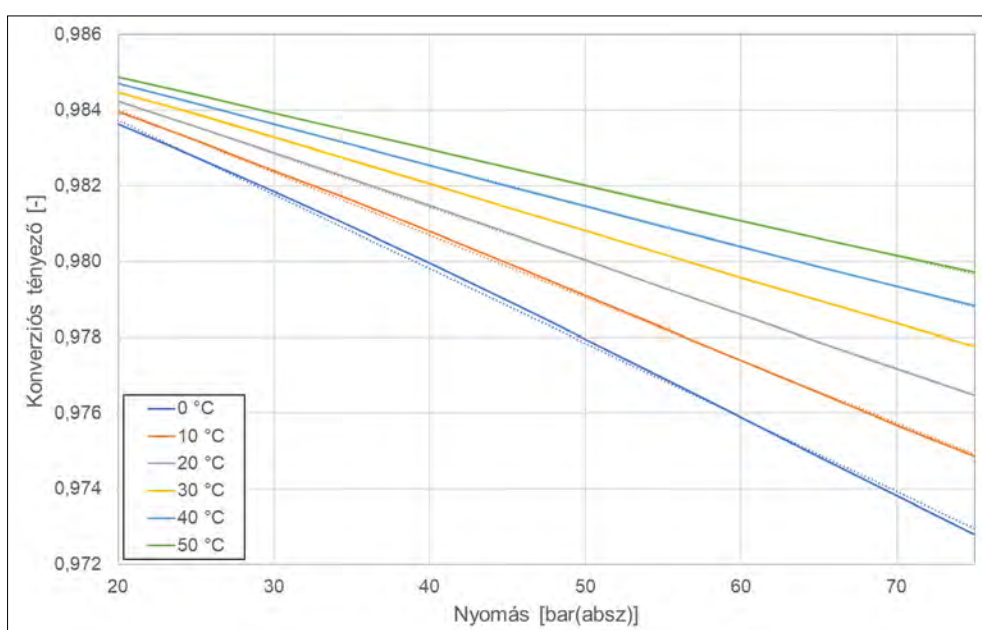
$$KF = \alpha p + \beta, \quad (8)$$

ahol

p – átlagnyomás [bar(a)];

α, β – paraméterek [-].

Az egyenlet alkalmazása során célszerű behelyettesíteni a vezetéken jelentkező átlagnyomást a vezeték



5. ábra. A konverziós faktor 5 mol% H₂-tartalom esetén a nyomás és hőmérséklet függvényében

hossza mentén érvényes átlagértékeinek figyelembe vétele érdekében. Ez az alábbi összefüggés alapján határozható meg [6]:

$$p_{\text{átl}} = \frac{2}{3} \left(p_1 + \frac{p_2^2}{p_1 + p_2} \right), \quad (9)$$

ahol

$p_{\text{átl}}$ – átlagnyomás [bar(a)];

p_1 – kezdőponti nyomás [bar(a)];

p_2 – végponti nyomás [bar(a)].

Az α paraméter változását a hőmérséklet függvényében a 6. ábra szemlélteti, amely szerint az együttartó értéke mind a hőmérséklettől, mind pedig a gáz-elegy hidrogéntartalmától jelentősen függ.

A 6. ábra görbéi másodfokú polinommal jól leírhatók, így az α paraméter változásának hőmérséklet-függése az alábbi egyenlettel fejezhető ki:

$$\alpha = \gamma T^2 + \delta T + \varepsilon, \quad (10)$$

ahol

$\gamma, \delta, \varepsilon$ – hőmérsékletfüggést kifejező paraméterek [-];
 T – hőmérséklet [°C].

A hőmérsékletfüggést leíró paraméterek hidrogéntartalomtól függő további vizsgálata is szükséges, a paraméterek hidrogéntartalomtól függő viselkedését a 7. ábra mutatja.

A kapott viselkedés harmadfokú polinommal kellő pontossággal leírható, amely alapján a paraméterek a következő összefüggésekkel definiálhatók:

$$\gamma = \gamma_1 (H_2)^3 + \gamma_2 (H_2)^2 + \gamma_3 (H_2) + \gamma_4, \quad (11)$$

$$\delta = \delta_1 (H_2)^3 + \delta_2 (H_2)^2 + \delta_3 (H_2) + \delta_4, \quad (12)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 (H_2)^3 + \varepsilon_2 (H_2)^2 + \varepsilon_3 (H_2) + \varepsilon_4, \quad (13)$$

ahol

$\gamma_i, \delta_i, \varepsilon_i$ ($i = 1-4$) – hidrogéntartalmat kifejező paraméterek [-];

H_2 – hidrogéntartalom [mol%].

A görbékre jól illeszkedő harmadfokú polinomok alapján az 1. táblázatban feltüntetett értékeket veszik fel az együtthatók:

Az előző egyenletekbe behelyettesítve a paraméterek pontos értékeit, megkaphatóak az alábbi összefüggések:

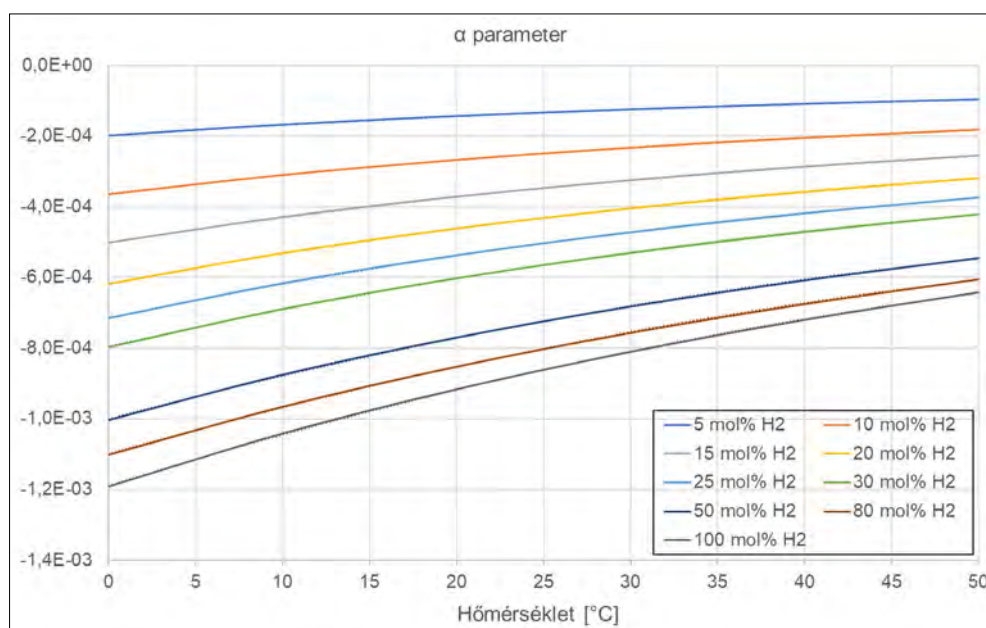
$$\gamma = -2,847 \cdot 10^{-13} (H_2)^3 + 5,601 \cdot 10^{-11} (H_2)^2 - 3,576 \cdot 10^{-9} (H_2) - 7,357 \cdot 10^{-9}, \quad (14)$$

$$\delta = -3,932 \cdot 10^{-11} (H_2)^3 - 7,951 \cdot 10^{-9} (H_2)^2 - 5,485 \cdot 10^{-7} (H_2) - 7,216 \cdot 10^{-7}, \quad (15)$$

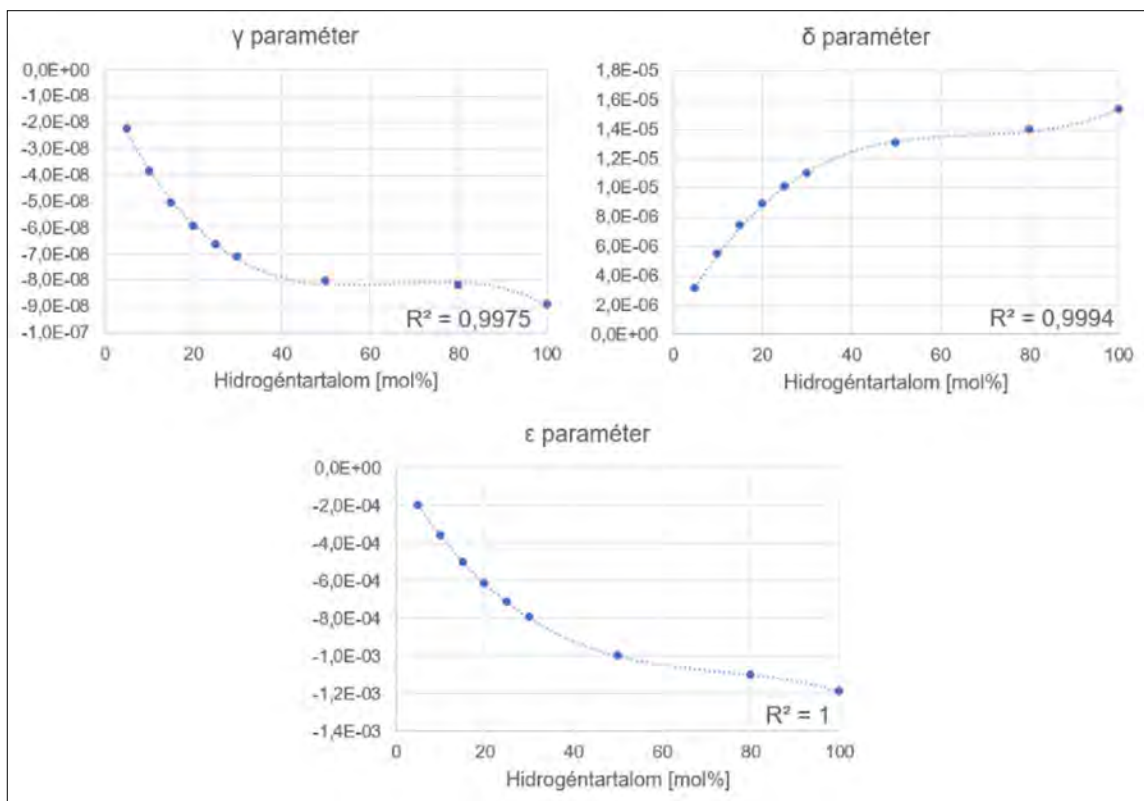
$$\varepsilon = -2,280 \cdot 10^{-9} (H_2)^3 + 5,003 \cdot 10^{-7} (H_2)^2 - 3,894 \cdot 10^{-5} (H_2) - 1,865 \cdot 10^{-5}. \quad (16)$$

1. táblázat. A függvényillesztés alapján kapott egyenletek paramétereinek értékei

γ_1	γ_2	γ_3	γ_4
-2,847E-13	5,601E-11	-3,576E-09	-7,357E-09
δ_1	δ_2	δ_3	δ_4
3,932E-11	-7,951E-09	5,485E-07	7,216E-07
ε_1	ε_2	ε_3	ε_4
-2,280E-09	5,003E-07	-3,894E-05	-1,865E-05



6. ábra. Az α paraméter változása



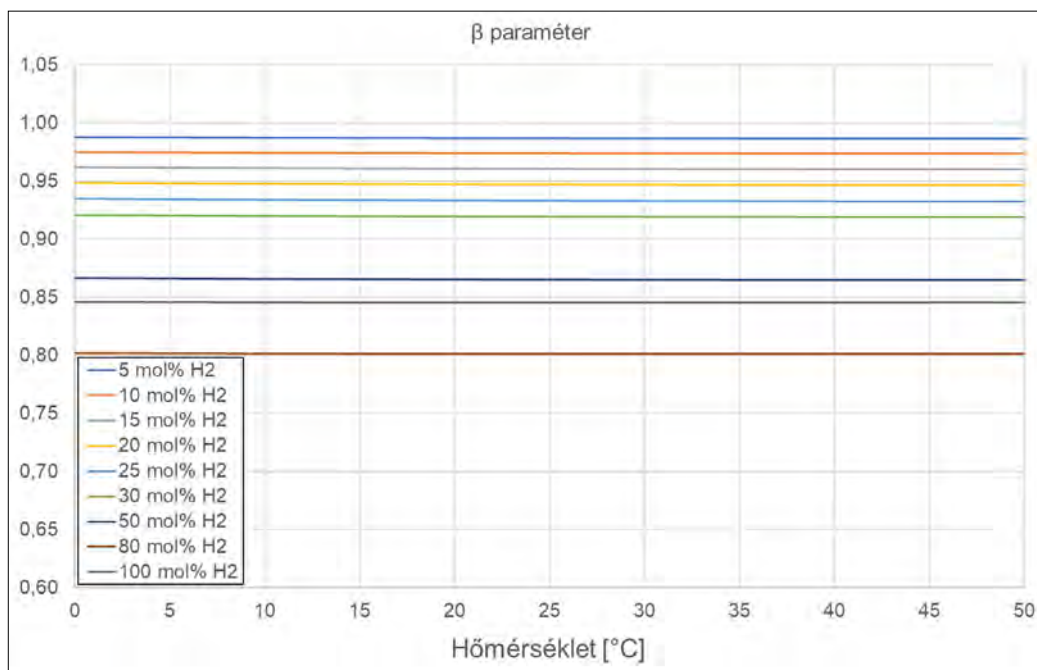
7. ábra. A γ , δ és ϵ hőmérsékletfüggetű paraméterek változása a hidrogéntartalommal

A konverziós faktort leíró összefűgés meghatározásához elengedhetetlenül szükséges a paraméter (tengelymetszet) vizsgálata is. A kezdeti egyenletben szereplő paraméter hőmérséklet szerinti ábrázolását a 8. ábra szemlélteti, amely alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a vizsgált paraméter a gázelegy hő-

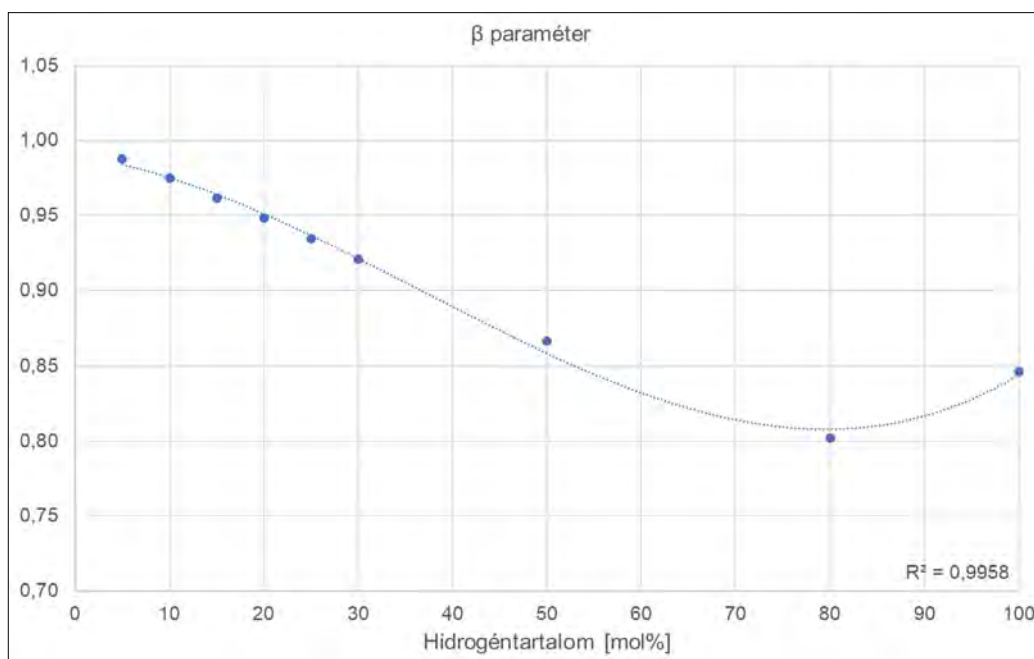
mérsékletétől indifferens, csak a hidrogéntartalmától függ.

Mivel a vizsgált paramétert a hőmérséklet nem befolyásolja, emiatt elegendő a hidrogéntartalomtól való függését vizsgálni, melyet a 9. ábra mutat.

A β paraméter viselkedése, harmadfokú polinommal kellő pontossággal leírható, ennek következtében



8. ábra. A β paraméter változása



9. ábra A β paraméter függése a hidrogéntartalomtól

a paraméter függését a hidrogéntartalomtól a következő összefüggés adja meg:

$$\beta = \beta_1 (H_2)^3 + \beta_2 (H_2)^2 + \beta_3 (H_2) + \beta_4, \quad (17)$$

ahol

β_i ($i = 1-4$) – a hidrogéntartalomtól való függést leíró paraméterek [-];

H_2 – hidrogéntartalom [mol%].

A görbére jól illeszkedő harmadfokú polinom alapján a 3. táblázatban található értékeket veszik fel az együthetők.

3. táblázat. A függvényillesztés alapján kapott egyenletek paramétereinek értékei

β_1	β_2	β_3	β_4
5,807E-07	-6,361E-05	-9,050E-04	9,900E-01

A (17) egyenletbe behelyettesítve a paraméterek pontos értékeit kapjuk a β paramétert megadó összefüggést:

$$\beta = 5,807 \cdot 10^{-7} (H_2)^3 - 6,361 \cdot 10^{-5} (H_2)^2 - 9,050 \cdot 10^{-4} (H_2) + 9,900 \cdot 10^{-1}. \quad (18)$$

Az egyenlet abszolút hibájának tartománya 20 mol% hidrogéntartalom esetében 0,3–0,5% közötti, legnagyobb eltérés 50 mol% H_2 -tartalom mellett tapasztalható, de nem haladja meg a 0,8% értéket.

Összefoglalás

A KF konverziós faktort megadó összefüggés tehát azt a relatív mutatószámot adja meg, hogy milyen

mértékű átszállítható energiatartalombeli csökkenés jelentkezik egy adott vezetéksz szakaszon, tiszta metántartalomhoz viszonyítva állandó nyomásvesztés mellett, amennyiben a földgázt alkotó fő komponenshez már hidrogén is bekevernek. A földgázz szállító rendszerüzemeltetők számára az egyenlet segítséget nyújthat abban, hogy a jelenlegi üzemeltetési feltételek mellett a hidrogéntartalom földgáz hálózati megjelenése pontosan mekkora energiatartalombeli csökkenést jelent, amelyből a következtetéseket levonva a földgázellátó rendszer üzemeltetésére, a fogyasztók biztonságos ellátására vonatkozóan hozhatnak döntéseket.

IRODALOM

- [1] Bobok E. (1997): Áramlástan. Miskolci Egyetemi Kiadó, pp.128–202. ISBN 963 661 317 6
- [2] Vida M. (főszerk.) (1984): Gáztechnikai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [3] Andre J., Auray S., Brac J., De Wolf D., Maisonnier G., Ould-Sidi M.-M., Simonnet A. (2013): Design and dimensioning of hydrogen transmission pipeline networks. European Journal of Operational Research, 229(1), 239–251. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.02.03
- [4] Kuczynski S., Laciak M., Olijnyk A., Szurlej A., Wlodek T. (2019): Thermodynamic and technical issues of hydrogen and methane-hydrogen mixtures pipeline transmission. Energies, 12(3). DOI: 10.3390/en12030569
- [5] Klell M. (2010): Storage of Hydrogen in the Pure Form. Handbook of Hydrogen Storage (pp.1–37) DOI: 10.1002/9783527629800.ch1
- [6] Szilas A. P. (1975): Production and transport of oil and gas. Akadémiai Kiadó, Budapest

Szerzői életrajzok

BOCZ ANDRÁS a Veszprémi Vegyipari Egyetemen 1983-ban okleveles vegyészmérnöki diplomát, 1994-ben analitikai szakmérnöki oklevelet szerzett, majd 2004-ben Master of Business Administration oklevelet. A Duna-ferr Labor Nonprofit Kft. ügyvezetője.

GALYAS ANNA BELLA a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán szerzett 2015-ben olaj- és gáz-mérnöki diplomát. 2015-től a Kőolaj és Földgáz Intézetben PhD hallgató, majd 2020-tól egyetemi tanársegéd. Főbb oktatási-kutatási területei a földgázelosztáshoz, a megújuló gázok földgázhálózati betáplálásához, szimulációs modellezéséhez kötődnek. Doktori értekezésében a hidrogén földgázhálózati megjelenését érintő műszaki kérdéseket vizsgált meg, amelyek elősegíthetik a hidrogén hasznosíthatóságát a földgázhálózaton keresztül. Magyarországon.

KISS BALÁZS a Dunaújvárosi Főiskolán 2013-ban szerzett anyagmérnöki oklevelet. A Duna-ferr Labor Nonprofit Kft. anyagvizsgáló mérnöke.

MÁRKUS DÉNES a Gábor Dénes Főiskolán 2006-ban szerzett mérnök informatikusi, majd 2012-ben gépészmérnöki oklevelet. A Duna-ferr Labor Nonprofit Kft. anyagvizsgáló mérnöke.

NAGYNÉ FEKETE MÓNIKA okleveles környezetmérnök (2015), vegyészmérnök (2009), jelenleg a Miskolci Egyetemen, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolának a doktorandusza. PhD témája, Vasötvözetek korrózióvédelme nehézfém-mentes felület-előkezeléssel. 2004-től foglalkozik felületkezeléssel, elhivatott a környezetvédelem iránt.

NARANCSIK ZSOLT a dunaújvárosi NME Kohó- és Fémipari Főiskolai Karán 1988-ban fémszerkezetgyártó üzemmérnöki, 1990-ben hegesztési szaküzemmérnöki oklevelet, 1992-ben minőségügyi mérnöki oklevelet szerzett. A Duna-ferr Labor Nonprofit Kft. Mechanikai Anyagvizsgáló Főosztály vezetője.

OMASZTA ISTVÁN 1985-ben szerzett diplomát az NME-n Bányagépész- és Villamosmérnök szakon. Ezt követően az Országos Érc- és Ásványbányák Vállalatnál tervezőmérnök-ként, majd tervezési osztályvezető helyettesként dolgozott. Ez idő alatt elvégezte a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem Mérnök-Közgazdász szakát. 1990-ben az ausztriai Allgaier Verfahrenstechnik GmbH, Hofkirchen fejlesztőmérnöke lett. A Montanuniversität Leoben (Ausztria) magánhallgatójaként, a végeselemes módszerek használatát sajátította el. 2000-től a Semperit Technische Produkte GmbH, Wimpassing nemzetközi projektvezetőjeként dolgozott, magyarországi műanyag- és gumiipari fejlesztéseken és Kinában. 2008–2015-ig a GWT GmbH munkatársaként fátüzelésű erőművek fejlesztésén és hatásfokának javításán dolgozott. 2015-től 2022-ig, nyugdíjba vonulásáig az Edtmayer Systemtechnik GmbH, Wien szenior projektvezetőjeként tervező és fejlesztőmérnök-ként tevékenykedett energetikai területen, mint energetikai tanácsadó és fejlesztő mérnök.

RÓNAFÖLDI ARNOLD címzetes egyetemi tanár, a HUN-REN – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport tagja, a Miskolci Egyetem Fém-tani, 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 Vegyészmérnöki Kar Fém-tani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Fém-tani és Képlékenyalakítási Intézeti Tanszékének professor emeritusa.

PROF. DR. TÖRÖK TAMÁS ISTVÁN okleveles kohómérnök (1974), az MTA doktora, az MTA nem akadémikus közgyűlési képviselője, a Magyar Korróziós Szövetség főtitkára, jelenleg a Miskolci Egyetemen a Fém-előállítási és Öntészeti Intézetben professor emeritus. Törzstagja a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolának. Szakmai érdeklődése a kétezres években fokozatosan a kémiai metallurgiai szakterületen belül a felülettechnológiák kutatása irányába fordult, és elsősorban a korrózióvédelem, a fémötvözetekből készült tárgyak felületkezelése vált szakterületévé. Az egykori Műszaki Anyagtudományi Kar Metallurgiai és Öntészeti Intézetében jelentős részt vállalt a kémiai metallurgiai és felülettechnikai intézeti tanszék megalapításában. Vezető oktatóként és kutatóként kidolgozott és oktatott számos tantárgyat a felülettechnikai kezelések és a bevonattechnológiák tárgykörében, melyek új tudományos szakterületet alapoztak meg a karon.

VANIEL VIKTOR a Bánki Donát Szakközépiskolában 1992-ben kohóipari technikus végzettséget szerzett. A Dunafer Labor Nonprofit Kft. anyagvizsgálója.

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

BALASSA CSILLA PhD-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

PATAKY CSILLA MSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

ANTAL KRISZTIÁN MSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

TÁTRAI CSABA MSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

GYENES IVÁN BSc-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

HASAN ETERAF PhD-hallgató, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

FÖLDESSY JÁNOS professzor emeritus, TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

Útmutató a *Bányászati és Kohászati Lapok* szerzői számára

– az együttműködés jegyében –

A folyóirat célja. A *Bányászati és Kohászati Lapok* az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület (OMBKE) hivatalos tudományos szakfolyóirata. Célja eredeti tudományos munkák, áttekintő szemlék, rövid közlemények, vitairatok megjelentetése a bányászat és kohászat területéről, magyar és/vagy angol nyelven.

A folyóirat egyben lehetőséget biztosít az Egyesület társadalmi és szakmai eseményeivel foglalkozó hírek közlésére, rendezvényeinek, konferenciáinak, valamint szakmai iránymutatásainak, ill. szakkönyvek ismertetésére. A folyóirat a társszakmák képviselőinek is biztosít publikálási lehetőséget. Alkalmat ad arra érdemes (PhD, MSc) disszertációk, továbbá (szakmai, akadémiai stb.) előadások közlésére.

A kéziratok elbírálásának és elfogadásának joga a Szerkesztőséget illeti meg. A dolgozatok elbírálása szakmai lektorálás után történik. A közlemények végső elfogadásának feltétele, hogy azok formailag megfeleljenek a jelen Útmutatóban foglalt ajánlásoknak.

A kéziratok beküldése. A közleményeket az OMBKE, 1107 Budapest Hízlaló tér 1. címen vagy Hajnal József felelős szerkesztő részére, e-mail: hirfor2000@gmail.com keresztül lehet benyújtani.

A kézirat készüljön közismert szövegszerkesztő(v/kk)el (Word, (La)TeX stb.) vagy egyértelműen strukturált, egyszerű szövegfájlként, különleges formátumok mellőzésével. A kéziratból készült PDF-formátumú másolatot elsősorban a lektorálás megkönnyítése céljából kérjük mellékelni.

A kéziratok szerkezete. A kéziratokkal kapcsolatos általános követelményként az alábbiak szem előtt tartását kérjük a Szerzőktől. A kézirat benyújtásának feltétele, hogy

1. a dolgozatot korábban még nem publikálták (kivéve előadás-kivonat vagy PhD-tézis formájában),
2. a kéziratot valamennyi szerző jóváhagyta,
3. a dolgozat nem sérti a Helsinki Deklaráció (1975, revízió 2008) előírásait.

A kéziratnak a következőket kell tartalmaznia: 1. címlap; 2. magyar összefoglalás, kulcsszavak; 3. angol összefoglalás (angol címmel), keywords; 4. szöveg; 5. irodalomjegyzék; 6. táblázatok; 7. ábrajegyzék; 8. ábrák. Az oldalszámozást a címlaptól kezdve folyamatosan kell megadni.

1. A **címlapon** sorrendben a következők szerepeljenek:
– a kézirat címe magyar és angol nyelven, amely rövidítést nem tartalmazhat;

– a szerzők neve (fényképpel, titulussal együtt), valamint a szerzők munkahelyének pontos, hivatalos megnevezése, a helységnevével együtt (és ha van ORCID azonosítója);
– a levelező szerző megjelölésével együtt a postai és e-mail címe.

2–3. Az **összefoglalások és kulcsszavak** megadása:

- *magyar nyelvű* cikk esetén rövid magyar nyelvű tartalmi kivonat (összefoglalás) és a témát jellemző kulcsszavak, ehhez csatlakozó hosszabb, egy oldalt lehetőleg nem meghaladó terjedelmű, részletes angol nyelvű tartalmi kivonat („abstract”) és kulcsszavak („keywords”);
- *angol nyelvű* cikk esetén rövid angol nyelvű tartalmi kivonat és a témát jellemző kulcsszavak, valamint ezt követő hosszabb magyar nyelvű kivonat és kulcsszavak;

4. A kézirat világos szerkesztése különösen fontos az olvasó számára.

Bevezetés, előzmények: A munkához kapcsolódó azon legfontosabb korábbi szakirodalmi kutatási eredmények összefoglalása, melyekhez szorosan kapcsolódik a tanulmány egyértelműen megfogalmazott célja.

Anyag és módszerek (opcionális): A vizsgált anyag, esetleg korábbi származó adatok, azok forrása, az alkalmazott mérési, kiértékelési eszközök és módszerek ismertetése, a kapcsolódó hivatkozásokkal együtt. Standard eljárások esetén csak a hivatkozott módszertől való eltérést kell megfogalmazni.

Eredmények: A téma kifejtése, az új adatok és elért kutatási eredmények ismertetése, dokumentációja jól áttekinthető ábrákkal és táblázatokkal, ha szükséges megfelelő alcímekkel tagoltan.

Diszkusszió: A kapott eredményeknek a saját korábbi eredményekkel és a szakirodalmi ismeretekkel való összevetése, értékelése, beágyazása a tágabb tudományos környezetbe, az új eredmények kiemelése. Indokolt esetben az eredményekkel összevonható.

Következtetések: A tanulmány következtetéseinek tézisszerű, rövid ismertetése az eredmények és a diszkusszió ismétlése nélkül.

A szerzői **Köszönetnyilvánítást** a kézirat végén kérjük feltüntetni. A köszönetnyilvánítás opcionális.

5. Hivatkozott irodalom:

A hivatkozásokat a szövegbeli megjelenés sorrendjében kell megadni. A hivatkozás történhet számozott (pl. [1, 2], ..., [12]) megjelöléssel vagy szerzői névre való hivatkozás (pl. (Andersen 1988); (Frank N., et al. 2017); stb.) formájában.

Számozott hivatkozások esetén pl.:

[1] Kleiber M., Havasi I., Konkoly Á. (2015): Bányamérési munkák a Mátrai Erőmű Zrt. Bükkábrányi Bányauzemében. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 148/2, 7–14.

[2] Hári L. (2021): Nyersvasgyártás példatár. Magánkiadás. Dunaújváros, p. 26.

Szerzői névre történő hivatkozások esetén pl.:

Andersen T. (1988): Evolution of peralkaline calcite carbonate magma in the Fen complex, southeast Norway. *Lithos*, 22, 99–112.

Frank N., et al. (2017): Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. *Ironmaking & Steelmaking*, 44/5, 333–343. DOI: 10.1080/03019233.2017.1303914.

6. A **táblázatokat** word dokumentumként kell beküldeni, címmel kell ellátni. A címben és a táblázatban szereplő esetleges rövidítések magyarázata a táblázattal együtt szerepeljen.

7. **Ábrajegyzék:** Valamennyi ábra címét és a hozzájuk tartozó esetleges rövidítések magyarázatát egy közös lapon kérjük megadni.

8. Az **ábrák** mérete lehetőleg 8,5 vagy 17,5 cm széles legyen. Korábban már közölt ábra csak a szerzője és a kiadója engedélyével közölhető. A beküldött képfájlok grafikai minősége: szöveges ábrákat Power Point/Excel stb., egyéb ábrákat min. 300 dpi felbontású jpg, tif, külön fájlban, tömörítve (*.zip) és nem a kézirat szövegbe másolva kérjük mellékelni.

HÍRLEVÉL

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület (OMBKE) azzal a céllal indította el a *Hírlevélét*, hogy gyorsan és frissen reagáljon a tagságát érintő eseményekre. Adjon hírt, hétről hétre a bányász-kohász társadalom életét érintő történésekről. Prezentálja a jövő eseményeinek meghívóját, felhívja a figyelmet olyan műszaki, tudományos fejleményekre, esetekre, megoldásokra, amelyek feltehetően érdeklik a két szakma képviselőit. Számoljon be a tagsághoz közel álló cégek, vállalatok különleges, közérdeklődésre számot tartó fejlesztéseiről, az ott zajló, tagsággal összefüggő rendezvényekről.

A *Hírlevél* pontosan értesít az OMBKE szervezeti életéről. Tudósít a szakosztályok életéről, rendezvényeiről, kezdeményezéseiről. Hírt ad az Elnökség, illetve a Küldöttgyűlés munkájáról, a megválasztott bizottságok döntéseiről az Egyesületünk gazdálkodásáról, évenkénti céljairól, azok megvalósításának módjáról.

Fontos funkciója a *Hírlevélnek*, hogy népszerűsítse az OMBKE eseményeit. Egyrészt invitáljon azokra, másrészt beszámoljon a lezajlott konferenciákról, találkozókról, megemlékezésekről.

A *Hírlevél* további feladata, hogy éltesse az OMBKE hagyományait. Felhívja a figyelmet a nagy elődök életére, munkásságára, s helyt adjon azoknak a búcsúszavaknak, amelyek a tagságunk köréből, földi létükből eltávoztakról szólnak. Feladata, hogy beszámoljon az ifjú tagjaink kezdeményezéseiről, a selmeci diák-hagyományok éltetéséről, s vigye tovább azt az örökséget, amelyet Péch Antal és az Egyesület valamikori tagjai másfél évszázaddal ezelőtt ránk hagyományoztak.

Mit nyújt Önnek hétről hétre a *Hírlevél*?

- Tájékoztat
- Emlékeztet
- Meghívót nyújt át
- Hagományt őriz

* * * * *

NEWSLETTER

The Hungarian National Mining and Metallurgical Association (OMBKE) has launched its *Newsletter* with the aim of reacting quickly and freshly to events that affect its members. It informs week by week about the events affecting the life of the Mining and Metallurgical Society. It presents the invitation to future events, draws attention to technical and scientific developments, cases and solutions that are likely to be of interest to the representatives of the two professions. It reports on the special developments of companies close to the members and of public interest, as well as on the member-related events held there.

The *Newsletter* provides accurate information about the organizational life of OMBKE. It reports on the life, events and initiatives of the departments. It informs about the work of the Board of Directors and the Assembly of Delegates, about the decisions of the elected committees for the management of our association, about its annual goals and how to achieve them.

An important function of the *Newsletter* is to promote OMBKE events. On the one hand, to invite you to them, and on the other hand, to report on the conferences, meetings, and commemorations that have taken place.

Another task of the *Newsletter* is to keep the traditions of OMBKE alive. It draws attention to the lives and work of our great predecessors and honors the words of farewell spoken by those who have taken leave of our membership and their earthly existence. His task is to report on the initiatives of our young members, on the life of the student traditions in Selmec and on the continuation of the legacy that Antal Péch and former members of the Association left us a century and a half ago.

What does the *Newsletter* offer you week by week?

- Informs
- Remembers
- Invites
- Keeps the tradition alive

FÉMALK



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

**CSATLAKOZZ
CSAPATUNKHOZ!**

WWW.FEMALK.HU/KARRIER