

2023. II. SZÁM
156. ÉVFOLYAM

BKL

JÓ SZERENCSEÁT!



BÁNYÁSZATI és KOHÁSZATI

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



FROM THE CONTENTS

The 114th Assembly of Delegates of OMBKE met in Budapest 2

SÁNDOR ENDRE KOVÁCS, LÁSZLÓ VARGA: Examination of residual stresses in products produced with additive technology 10

KRISZTIÁN JANCSEK: The present and perspectives of rare earth elements mining in the world 16

LÁSZLÓ HÁRI: Investigation of vertical sulphur relations using the cumulative sulphur yield principle 24

BKL: It's a great experience to work in a team with people with different mindsets. *Interview with Prof. Dr. Péter Szűcs, who was elected a corresponding member of the Hungarian Academy of Sciences in May 2022* 32

ÁRPÁD ÓSZ SR.: The 51st blowout, the history, events, lessons and some theoretical issues 38

ANDRÁS BOCZ, BALÁZS KISS, DÉNES MÁRKUS, ZSOLT NARANCSIK, VIKTOR VAINEL: The need to know the toughness limits at transition temperature 52

* * *

3B Hungária Ltd. 62

27th Hungarian Foundry Days Conference and Exhibition 64

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. Vouczki Péter

Kiadja:

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

A kiadásért felel:

Dr. Hatala Pál

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

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

HU ISSN 2498-9322

TARTALOM

Budapesten tanácskozott az OMBKE 114. Küldöttgyűlése	2
KOVÁCS SÁNDOR ENDRE, DR. VARGA LÁSZLÓ: Additív technológiával előállított termékekben kialakuló maradó feszültségek vizsgálata	10
JANCSEK KRISZTIÁN: A ritkaföldfém-bányászat jelene és perspektívái a világban	16
HÁRI LÁSZLÓ: A vertikumi kénviszonyok vizsgálata a kumulált kénkihozatal elvének alkalmazásával	24
BKL: Hatalmas élmény különböző gondolkodású emberekkel egy csapatban dolgozni – <i>Interjú prof. dr. Szűcs Péterrel, akit 2022 májusában választottak az MTA levelező tagjává</i>	32
ID. ŐSZ ÁRPÁD: Az ötvenegyedik gázkitörés tanulságai, elméleti kérdései	38
BOCZ ANDRÁS, KISS BALÁZS, MÁRKUS DÉNES, NARANCSIK ZSOLT, VAINEL VIKTOR: Szívóssági korlátok megismerése átmeneti hőmérsékleten	52

(for English titles see B2 page)

Inzert: Bányaterv Mérnökiroda Zrt.

WEIR Minerals Sand Wash Plant

3B Hungária Kft. 62
27. Magyar Öntőnapok Konferencia és Kiállítás 64

Címlapon: Az 51. A felvétel a zsanai gázkitörés helyszínén készült.
(Fotó: id. Trömböczky Péter)

Borító: SPINTO Hungária Kft.
FÉMALK Zrt.

*A kiadvány a FÉMALK és a Magyar Tudományos Akadémia
támogatásával jelenik meg.*

Budapesten tanácskozott az OMBKE 114. Küldöttgyűlése

The 114th Assembly of Delegates of OMBKE met in Budapest

Budapesten ülésezett az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 114. Küldöttgyűlése. A tanácskozás résztvevői meghallgatták az Elnökség elmúlt év munkájáról, gazdálkodásról, a korábban meghozott határozatok végrehajtásáról szóló beszámolóját. Döntöttek a 2023-as év terveiről, legfontosabb feladatairól. Új tagot választottak az Elnökségbe, és elfogadták a befektetési szabályzatot. Ezután kitüntetések átadására került sor.

Kulcsszavak: küldöttgyűlés, gazdálkodás, tervek, határozatok, kitüntetések

The 114th Assembly of Delegates of the Hungarian Mining and Metallurgical Society met in Budapest. The participants of the Assembly listened to the report on the work of the Presidium in the past year, the management and the implementation of the previously adopted resolutions. They decided on the plans and main tasks for 2023. A new member was elected to the Presidium and the investment rules were adopted. Afterwards, awards were presented.

Keywords: assembly of delegates, management, plans, resolutions, awards

Üdvözlő szavakkal és a Himnusz eléneklésével vette kezdetét 2023. május 20-án Budapesten az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 114. Küldöttgyűlése.

Dr. Hatala Pál elnök köszöntötte a megjelenteket, Egyesületünk küldötteit, tiszteleti tagjait, pártoló tagjait, a Miskolci Egyetem képviselőit, a Valétabizottságok képviselőit, a hatóságok képviselőit és meghívott vendégeinket, közöttük dr. Tolnay Lajos, exelnököt, tiszteletbeli elnököt, dr. Tardy Pál exelnököt, a Seniorok Tanácsa elnökét, Rabi Ferencet, a Bánya-, Energia- és Ipari Dolgozók Szakszervezetének elnökét, dr. Vigh Lászlót, a Magyar Öntészeti Szövetség elnökét, dr. Debreczeni Ákost, az OMBKE Felügyelőbizottságának elnökét.

Ezután Rabi Ferenc köszöntötte a tanácskozás résztvevőit. Bevezető szavaiban arról szölt: az elmúlt évtizedek mind azt bizonyították, hogy a bányaiiparban, a kohászatban munkát vállalók, az itt tudást szerzők és tovább adók azok, akik képesek arra, hogy jövöképet alkossanak a munkavállalók számára, jövöképet alkossanak az iparnak és ezen belül természetesen az általunk nagyon fontosnak tartott szakterületeknek. Hangsúlyozta, az OMBKE legnagyobb és legpozitívabb üzenete mindig az volt, hogy a fejlődéshez szükséges tudást összefogta és továbbította. De mindannyiunk számára nagy kihívás a következő időszakban: hogyan, milyen módon lehet ezeket az ismereteket majd megjeleníteni a gyakorlatban. Utalt arra, hogy az európai szintű új, kritikus nyersanyagok-



A tanácskozás a Himnusz eléneklésével kezdődött. Felvételünkön az Elnökség tagjai

ról szóló szabályozás lehetőséget teremt arra, hogy modernizálva a bányaiipar megújuljon. A kérdés az, hogy ki tudjuk-e, ki lehet-e használni ezt a lehetőséget. Megjegyezte, vannak olyan kihívások is, amelyek közösek, ilyen például az MVM Mátra Energia Zrt. munkavállalóiról történő gondoskodás, ennek kapcsán három európai projektet bonyolítottak le. Egy GINOP projektet, a közelmúltban Start szakértők jártak az Európai Bizottságtól a cégnél, és folyik egy LIFE program is. Ezeknek a programoknak az a célja, hogy igazságos legyen az átmenet, ugyanakkor az is kihívás, hogy miként lehet megőrizni vagy meg lehet-e egyáltalán őrizni a szénre, lignitre épülő villamos áram termelést. Az önök szaktudása, tapasztalata – mondta – hozzájárulhat ahhoz, hogy az energiaellátásban biztonság lehessen, hogy a kohászati tevékenységhez legyen energia, és az új beruházásokhoz, amelyeket most terveznek, legyen villamosenergia-háttér és -ellátás. Hangsúlyozta, abban reménykedik, hogy ez a közös munka közös eredményt hoz, munkahelyeket őriz meg, munkahelyeket teremt, és képesek leszünk akár együttesen is arra, hogy tudjunk sikereket elérni. Itt szeretném megköszönni – emelte ki –, hogy az OMBKE választott vezetői részt vettek két konferenciánkon, és úgy gondolom, hogy a hozzászólásukkal segítették az eredményes munkavégzést. A tanácskozás fő témája éppen a villamosenergia-iparban történő igazságos átmenet volt. Mondandóját azzal zárta: azt kívánom, hogy jó egészségben nagyon sokáig tudjanak még együtt dolgozni, és tudjunk közösen eredményeket elérni. Ehhez kívánok: Jó szerencsét!

A köszöntőt követően a Küldöttgyűlés megválasztotta a tanácskozás tisztségviselőit. *Izing Ferenc*, a Mandátum és Szavazatszámoló Bizottság elnöke elmondta, hogy a hetvenhat jelen lévő küldött részvételével az ülés határozatképesen kezdheti meg munkáját.

A napirendek elfogadása után a kegyelet percei következtek, az elhunyt tagtársakról emlékeztek meg a konferencia résztvevői, majd *dr. Hatala Pál* elnök megnyitóbeszéde következett. Az OMBKE elnöke kiemelte: az elmúlt évben mintegy 125 rendezvényt tartottunk. Az esztendő a választmány Péch Antal- emlékévének nyilvánította, számos programmal és rendezvénnyel emlékeztünk meg Péch Antaltól, és „Péch Antal emlékezete” címmel könyvet is kiadott az Egyesület.

A tisztújítást követően az új alapszabály szerint az Egyesületet két küldöttgyűlés között az Elnökség irányítja. *Dr. Hatala Pál* úgy értékelte: az Elnökség jól működik, sikerült az SZMSZ-t is létrehozni, ami régi hiányt pótolva megteremt a szakosztályok és helyi szervezetek finanszírozását is. Jelentős változáson ment át a *Bányászati és Kohászati Lapok* (BKL). A többszöri átszervezést és összevonást követően idén

megvalósult az új, egységes *Bányászati és Kohászati Lapok*, amely ezentúl csak digitálisan jelenik meg, és amelyet magas színvonalú tudományos lapként pozícionálunk – mondta az elnök. Ezután arról szövelt, hogy gyakorlatilag befejeztük a székház birtokbavételét, felújítását, a fűtési rendszer korszerűsítését. Összegezve: az Egyesületünk már a XXI. században elvárható módon működik.

Az előadást követően *dr. Szombatfalvy Anna* alelnök terjesztette elő az Elnökség beszámolóját.



Dr. Szombatfalvy Anna terjesztette elő az Elnökség beszámolóját

Hangsúlyozta, hogy az OMBKE 2022-ben a közhasznú szervezetekről szóló törvény és az Egyesület alapszabályában megfogalmazott előírások szerint működött. A 113. Küldöttgyűlés határozatai elfogadták az Egyesület 2021. évi pénzügyi beszámolóját, közhasznúsági jelentését és a 2022. évi tervet. A Küldöttgyűlés két olyan határozatot is hozott, melyek az Elnökségtől intézkedéseket igényeltek. Idézte a határozatokat: „A Küldöttgyűlés felkéri az Elnökséget, hogy a szakosztályokra vonatkozó éves költségtervek elkészítésének rendjét dolgozza ki, és fogadja el legkésőbb 2022. október 31-ig.” A testület a határozatot végrehajtotta, és a 2023. évi pénzügyi terv ennek megfelelően készült el. A másik határozat így szólt: „A Küldöttgyűlés elfogadja a BKL Bányászat és BKL Kőolaj és Földgáz Szerkesztőbizottságok összevonásáról szóló előterjesztést, és a BKL Kőolaj és Földgáz beolvadását a BKL Bányászat lapba.” Az Elnökség a határozatot végrehajtotta.

Ezt követően *dr. Szombatfalvy Anna* az elmúlt esztendő legjelentősebb feladatairól adott számvevő beszámolót. Úgy értékelte: az elmúlt év legfontosabb feladata az új alapszabályhoz illeszkedő SZMSZ tervezet elkészítése és véglegesítése volt. Az Alapszabály



A tanácskozás résztvevői

Bizottság és a szakosztályok több körben egyeztettek tartalmi kérdésekről. Szólt a *BKL* létrehozásához szükséges tennivalókról. Kiemelte, mivel a *BKL Bányászat* egyetlen lapszáma sem jelent meg nyomtatott formában 2022-ben, s a *BKL Kohászatnak* is csak egy lapszáma jelent meg nyomtatásban, így az Elnökség 2023. január 25-én úgy határozott, hogy a *BKL* előfizetőit (93 tagtárs) úgy kompenzálja, hogy a *BKL Kohászat* előfizetői részére az idei tagdíjukba 4500 Ft-ot, a *BKL Bányászat* előfizetői esetében 6000 Ft-ot beszámítunk. A lapok újbóli összevonása, valamint csak digitális megjelenítése fő indokaként egyértelműen a nyomtatási költségek jelentős emelkedését kell megemlíteni. Csak az arányokat tekintve is figyelemre méltó, hogy a nyomtatott lapok 10 millió Ft feletti éves költséggel járnának, s hozzávetőlegesen ennyi az Egyesület éves tagdíjbevétele. Ez a költség az infláció, az energia ára és a papír árának brutális növekedésével még tovább emelkedne. Az új, összevont *BKL* felelős szerkesztői posztjára kiírt és többször meghosszabbított pályázat nyertese végül a Kiadói Bizottság javaslata és az Elnökség döntése alapján *Hajnal József* okleveles kohómérnök lett. Az új felelős szerkesztővel egyetértésben az OMBKE Kiadói Bizottsága 2023. április 13-ára összehívta a *BKL* új Szerkesztőbizottságának alakuló ülését. Ezzel megkezdődött az új felállás szerinti munka, reményeink szerint elősegítve, hogy a nagy elődünk, Péch Antal által 1868-ban alapított *Bányászati és Kohászati Lapok* a jövőben is a 155 éves dicső múltjához méltó színvonalú tudományos lapként jelenhessen meg, ezentúl digitális formában – mondotta *dr. Szombatfalvy Anna*, majd azzal folytatta, hogy az egyesület napi-heti híreinek közlését – két és fél év után bizvást mondhatjuk, hogy sikerrel – teljes mértékben átvette a *Hírlevél*. A *BKL*-ben ezentúl csak tudományos cikkek jelennek meg. Az egyesületi „médiamix”

további fontos eleme az új honlap, mely www.ombke.hu webcímen érhető el. Az új honlap már a jelenlegi modern elvárásoknak is megfelel, rezponzív felületének köszönhetően minden digitális eszközön (számítógép, mobiltelefon, tablet) egyaránt tökéletes megjelenést biztosít. A honlap felületébe integráltuk az új, online tagnyilvántartó rendszert is. A *Hírlevél* tagságnak történő közvetlen kiküldését is a honlapról lehet indítani.

Az alelnök ezután külhoni eseményekről szólt. Megemlítette, hogy a Selmezbányai Szalamander mind 2020-ban, mind 2021-ben elmaradt a pandémia miatt. Viszont tavaly már a megszokott módon tudunk részt venni a selmeci Szalamander felvonuláson és annak nagy keretrendezvényén, az Európai Knap-pentagon szeptember 7. és 11. között.

Az Elnökség kitüntetések odaítéléséről, valamint új tiszteleti tagunk küldöttgyűlésre való előterjesztéséről is határozott.

Az Egyesület pénzügyi helyzetét az Elnökség, a Felügyelőbizottság és a könyvvizsgáló rendszeresen elemezte, majd döntött a 2022. évi mérleg és közhasznúsági jelentés küldöttgyűlés elé terjesztéséről, hogy a testület azt jóváhagyja. Hasonlóképp döntött a 2023. évre vonatkozó gazdálkodási terv küldöttgyűlés elé terjesztéséről, összhangban a Felügyelőbizottság és a könyvvizsgáló véleményével.

Ezt követően az alelnök a taglétszám alakulását elemezte. Tavaly december 31-én az Egyesületnek 2337 tagja volt. Ez 44 fővel meghaladja az előző évi taglétszámot. Ennek ellenére továbbra is jelentős problémát jelent az, hogy a tagok számottevő része nem fizette be a tagdíját. 2022. 12. 31-ig mindösszesen 1377 tagtársunk fizette ki a 2022 évi tagdíját. 2023. május 16-ig további 97 tagtársunk rendezte elmaradását, ezzel együtt összesen 1477 tagtársunk fizette meg az előző évi tagdíját. Az új alapszabály előírása

szerint, akinek az előző évről tagdíjmaradása van, meg kell szüntetnünk a tagságukat! Ezért ismételten felhívjuk a szakosztályok és helyi szervezetek figyelmét, hogy egyeztessenek a nem fizető tagjaikkal.

A tagság életkor szerinti megoszlását az alelnök által bemutatott táblázat ismerteti.

Életkor szerinti megoszlás	2020. 12. 31.	2021. 12. 31.	2022. 12. 31.
60 év alatt	891	815	844
60–69 év között	475	463	464
70–74 év között	323	352	267
75 év felett	723	663	762
OMBKE összesen:	2412	2293	2337

hogy a 60 év alatti korcsoport létszáma is nőtt, ami az új belépőknek köszönhető. Legidősebb tagunk *Mészáros Lászlóné*, a Bányászati Szakosztály tagja 1924. április 8-án született. *Dr. Pilissy Lajos*, aki az Öntészeti Szakosztály tagja, 1925-ben született, és legrégebbi tagja Egyesületünknek, 1948-ban lépett be! A magas életkor, a hosszú egyesületi tagság tiszteletet érdemel... Köszöntsük őket: Vivát! Vivát! Vivát!”

Dr. Szombatfalvy Anna az Egyesület gazdálkodásával kapcsolatban elmondta, hogy az egyéni tagdíjbevételek a tervhez képest jelentősen nőttek, ami alapvetően az elmaradt tagdíjak befizetése érdekében intézett többszöri felhívásunknak köszönhető. Tavaly a személyi jövedelemadó egy százalékából származó bevételünk ismét meghaladta – ha minimálisan is – az egymillió Ft-ot. Hangsúlyozta: továbbra is kérjük aktív dolgozó tagtársainkat, hogy az egy százalék átutalásával, valamennyien tiszteljék meg az Egyesületünket a jövőben. A pártoló tagdíjak összege nőtt, ez részben a MOL befizetése átsorolásának köszönhető. A rendezvények bevételei és a rendezvényekhez köthető támogatások összességében jelentősen nőttek mind a tervhez, mind az előző évi tényhez viszonyítva. A legnagyobb súllyal a sikeres tatabányai BKET-nek, valamint a Kő- és Kavicsbányász Napoknak és az Országos Bányászati Konferenciának köszönhető. Összességében sikerült tízmillió Ft-tal túlszárnyalni a tervben szereplő bevételeket. Ami a kiadásokat illeti, elmondta, hogy a célzott kiadások összege összességében kevéssel maradt el a tervtől, de ez főleg annak köszönhető, hogy az elmúlt évben csak a *BKL Kohászat* I. száma jelent meg nyomtatva, limitált példányszámmal (150 példány). Ezzel szemben az események kiadásai, a sok sikeres rendezvény miatt nőttek. A közös költség típusú kiadások alapvetően harmonizálnak a tervvel, de így is közel négymillió Ft megtakarítást értünk el. Hangsúlyozta: összességében az Egyesület rekorderedményt ért el: 19 millió Ft-ot.

Ezután az alelnök elemzésében a következőket mondta: „Az Egyesület életkor szerinti megoszlásának táblázata azt mutatja, hogy a taglétszám enyhe emelkedése mellett csak a 75 év felettek létszáma nőtt jelentősen, ami az egyesület átlagéletkorának a növekedéséből következik. Ennek ellenére biztató,

A bevételekről szólva az alelnök kiemelte, hogy az Egyesület idei tervének elkészítésében már az Elnökség által előírt „szakosztályi bontást” is tartalmazó sablont használták. A terv bázisául a 2022-es év tényszámait vették figyelembe, konzervatív módon, azzal a kiegészítéssel, hogy idén lényegesen kisebb tagdíjbevételekkel számolunk, illetve értelemszerűen a BKET-val nem kalkuláltunk. Hangsúlyozta, hogy a kiadási oldalra is az a jellemző: alapvetően tavalyi tényértékeket vették bázisnak. Egyes költségelemknél, (közüzemi, rendezvények kiadásai, bér) 16 százalékos inflációval számoltak.

Elmondta: négy *BKL* lap megjelenését tervezzük, ezért magasabb a tavalyi ténynél a terv. A rendezvények kiadásainál ismét az előző évben nagy súllyal szereplő BKET nem jelenik meg. Végeredményben mintegy 4 millió Ft-os adózott eredménnyel számolunk.

Az alelnök beszámolójában felsorolta a legfontosabb tavalyi eseményeket. Ezek a következők voltak:

- Az Egyesület Választmánya a 2022-es évet Péch Antal-émlékvé nyilvánította, és ennek keretében számos eseményen emlékeztünk meg, valamint kiadásra került a „Péch Antal emlékezete” c. könyv.
- 06. 14.: Koszorúzás Péch Antal sírjánál, Selmecebányán
- 06. 17–19.: XI. Országos Bányász-Kohász-Erdész Találkozó Tatabányán
- 06. 23.: A „200 éve született Péch Antal Kamarai Kiállítás” megnyitása és az erre az alkalomra készült „Péch Antal Emlékezete” c. könyv bemutatója
- 06. 24.: 125 éves az OMBKE Borsodi Helyi Szervezet Konferencia és Szakestély, Miskolc-tapolcán
- 08. 26.: 85 éves volt a hazai iparszerű kőolaj-kitermelés Magyarországon, emléknappal zajlott, Bázakerettyén,

- ❑ 09. 07–11.: Európai Knappentag és Szalamander ünnepségek, Selmechbányán
- ❑ 10. 25.: A selmeci utód karok valétaelnökeinek és dékánjainak találkozója
- ❑ 11. 09–11.: Országos Bányászati Konferencia Herceghalmon
- ❑ 11. 25.: 130 éves az OMBKE és Péch Antal-emlékév lezárása, OMBKE Székházavató Szakestély
- ❑ 12. 04.: Szent Borbála napi ökumenikus istentisztelet, Sziklakápolna, Budapest

Események 2023-ból

- ❑ 02. 25–26.: OMBKE bál, Gyulán
- ❑ 03. 06–08.: Kő- és Kavicsbányászati Napok Velencén
- ❑ 03. 30–04. 02.: EMT XXIV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia Resicabányán

A Felügyelőbizottság jelentését *dr. Debreczeni Ákos*, a grémium elnöke terjesztette a Küldöttgyűlés elé. Elmondta, hogy a Felügyelőbizottság a 2022-es év gazdálkodásának ellenőrzése során az alábbi dokumentumokat tárgyalta meg:

- ❑ az Egyszerűsített éves beszámoló mérlegét,
- ❑ az Egyszerűsített éves beszámoló eredménykimutatását,
- ❑ a Kiegészítő mellékletet az egyszerűsített éves beszámolóhoz,
- ❑ a Kiegészítő mellékletet a közhasznúság bemutatásához,
- ❑ a Független könyvvizsgálói jelentést.



Dr. Debreczeni Ákos a Felügyelőbizottság elnöke a gazdálkodást értékelte

A független könyvvizsgáló megállapította, hogy az egyszerűsített éves beszámoló megbízható és valós képet ad az egyesület 2022. december 31-én fennálló vagyoni és pénzügyi helyzetéről. Az egyszerűsített mérleg és az eredménykimutatás szerint, az eszközök és a források egyező végösszege 167 729 000 Ft, a tárgyévi eredmény 19 105 000 Ft nyereség. Az eredmény teljes összege közhasznú tevékenységből származik. Az Egyesületnek a vállalkozási tevékenységből nem volt bevétele. A saját tőke 2022-ben 19 105 000 Ft-tal nőtt.

Dr. Debreczeni Ákos elmondta, hogy a Felügyelőbizottság javasolja a 2022-es pénzügyi év előzőekben felsorolt dokumentumainak elfogadását. A testület megvizsgálta a 2023-as pénzügyi tervet és az azt alátámasztó kalkulációkat. Megállapítjuk – mondotta –, hogy az egyesület vezetése az általa ismert adatok alapján igyekezett reális költségtervet készíteni. A gazdálkodás tervezett eredménye 3 861 247 Ft, amely tartalékot jelent váratlan pénzügyi események fedezetére. Ezenkívül a szakosztályok is képeztek összesen 2 652 300 Ft tartalékot, előre nem látható költségeikre. Az idei költségvetés jelentős elmozdulás abba az irányba, hogy a szakosztályok, az alapszabálynak megfelelően, éves munkaprogram és költségterv alapján működhessenek.

A Felügyelőbizottság javasolta a 2023. évi pénzügyi terv elfogadását.

A tanácskozás következő napirendjeként *dr. Lengyel Károly*, az Alapszabály Bizottság elnöke mondta el előterjesztését. Hangsúlyozta: az Alapszabály 9. § (8) j) pontja szerint az Egyesület küldöttgyűlésének kizárólagos hatáskörébe tartozik – a Felügyelőbizottság egyetértésével – egy olyan szabályzat jóváhagyása, amely biztosítja az Egyesület likvid pénzeszközének alacsony kockázatú, de jó jövedelmet biztosító, hosszú távú, lehetőleg diverzifikált, biztonságos befektetését, segítve a működőképesség megőrzését és szem előtt tartva közhasznú céljainak megvalósítását.

A Küldöttgyűlés küldöttjeinek rendelkezésére áll az Elnökség által jóváhagyott és a Felügyelőbizottság által támogatott javaslat, amely tartalmazza a szabályozás, a befektetési tevékenység célját, a befektetés során alkalmazandó alapelveket, a hosszú távú, egy éven túli befektetések típusait, részletesen felsorolva az általunk igénybe vehető, illetve tiltott befektetéseket, a hosszú távú befektetések devizanemét, a rövid távú, igazából a likviditást támogató befektetéseket és azok devizanemét, a Küldöttgyűlésre, az Elnökségre és az egyesületi igazgatóra vonatkozó döntési hatásköröket és felelősséget, végül az egyesületi igazgatót, a Felügyelőbizottságot, az Elnökséget és a Küldöttgyűlést érintő jelentési rendszert. Úgy vélte, hogy a dokumentum imént felsorolt tartalma biztosítja az Egyesület pénzeszközének megfontolt, felelősség-



Dr. Lengyel Károly a befektetési szabályzat elfogadást javasolta

teljes kezelését és annak teljes körű ellenőrzését. A szabályzat elfogadása azért is időszerű, mert a folyószámlakamatok említésre sem méltó értékek, az extrém magas infláció pedig jelentős mértékben erodálja a nem lekötött, befektetett pénzeszközöket. Ezután javasolta a Küldöttgyűlésnek a befektetési szabályzat elfogadását.

Ezután hozzászólások következtek az elhangzott témakörök sorrendjében, majd *dr. Hatala Pál*, az Egyesület elnöke felkérte *Nagyné Halász Erzsébetet*, s az általa vezetett Határozatszövegező Bizottságot, hogy a testület kezdje meg a munkáját, és készítse el a határozati javaslat szövegét.

A Küldöttgyűlés munkája ünnepi aktussal folytatódott, *dr. Szombatfalvy Anna* ismertette az Elnökség javaslatát a „Tiszteleti tag” kitüntető címre. Ennek értelmében a Küldöttgyűlés *Sipos István* kohómérnököt tiszteleti taggá választotta.

Ezt követően *dr. Dül Jenő*, a Jelölőbizottság elnöke elmondta, minthogy *Törő György* lemondott elnökségi tagságáról, a testületbe új tagot kell választania a Küldöttgyűlésnek. A jelölés szerint *Kovácsics Árpád* neve került fel a szavazólistára, melyről a konferencia nyílt szavazással döntött is.

Ezt követően szünetre vonultak a küldöttek, majd ünnepélyes aktussal folytatódott a tanácskozás. Kitüntetések átadása következett. Az elismeréseket *dr. Hatala Pál* elnök és *dr. Szombatfalvy Anna* alelnök nyújtotta át a kitüntetetteknek.

Péché Antal-emlékérmeket kapott:

<i>Balogh Csaba</i>	geológus technikus
<i>Boa Márton</i>	kőolaj technikus
<i>Csath Béla</i>	okl. bányamérnök
<i>Dr. Havasi István</i>	okl. bányamérnök



Társalgás a szünetben

Munkáját Kerpely Antal-emlékéremmel jutalmazták:

Boros Árpád kohógépész üzemmérnöknek
Penk Márton okl. kohómérnöknek

Christoph Traugott Delius-emlékéremmel jutalmazták:

Dr. Réger Mihály okl. kohómérnököt

Zsigmond Vilmos-emlékéremet kapott:

Dr. Komornoki László Péter okl. gázmérnök

Az Egyesület „Kiemelkedő Támogatója” címet kapta:

Dr. Sándor József okl. kohómérnök
Dr. Tolnay Lajos okl. kohómérnök,
mérnök közgazdász

**Az év bányászati-kohászati kiállítóhelye lett:
Oroszlányi Bányászati Múzeum**

Az 50 éves tagságáért egyesületi kitűzőt kapott:

Annus János geológus technikus
Bánhegyesi Attila János okl. kohómérnök
Blaha Béla okl. bányaművelő mérnök
Blaha István okl. olajmérnök
Breuer János okl. bányaművelő mérnök
Dr. Buza Gábor okl. kohómérnök
Dr. Buzáné Dénes Margit okl. kohómérnök

Dr. Farkas Géza

Fehérvári István

Dr. Hári László

Jeney Zsigmond

Kántor Miklós

Dr. Lakner József

Lauday Miklós

Orosz Géza

iff. Sztermen Gusztáv

Dr. Szücs László

Tóth László

Turi Gyula

Tüske István

Ulrich József

Varga Tibor

Vas László

iff. Vass László

okl. bányagépész és
bányavillamos mérnök

okl. villamosmérnök

okl. kohómérnök

okl. olajmérnök

okl. villamosmérnök

okl. fizikus

okl. bányamérnök

villamosipari technikus

okl. bányaművelő mérnök

okl. kohómérnök

okl. kohász üzemmérnök

okl. bányaművelő mérnök

bányaipari technikus

okl. bányamérnök

bányaipari technikus

okl. bányamérnök

okl. bányamérnök

Egyesületi emlékplakettet kapott:

Bánfai Sándor

Csiky Emil

Csordás Ottó

Dr. Hegedűs Balázs

Kovács József

Lukács Ottó

Nagy Sándor

Németh Zoltán

földtudományi mérnök

okl. bányamérnök

okl. bányamérnök

jogász

bányagépész technikus

okl. gázmérnök

mérnök informatikus, tanár

okl. olajmérnök



Az Egyesület „Kiemelt Támogatója” címet kapta dr. Tolnay Lajos. Képünkön dr. Hatala Pál az elismerés laudációját ismerteti



Egyesületi emlékplakettet kintüntetést kapott Pintér Mária rendezvénytervező



Szavaz a 114. Küldöttgyűlés

<i>Pintér Mária</i>	kulturális rendezvény- szervező
<i>Dr. Riedl István</i>	okl. bányaművelőmérnök, jogász
<i>Szabó András</i>	olvasztár

Egyesületi oklevél elismerésben részesült:

<i>Drotár István</i>	aknász technikus
<i>Gyurcsik Péter</i>	okl. bányamérnök
<i>Hartyán Csaba</i>	elektroműszerész
<i>Kisné Cseh Julianna</i>	régész, történelemtanár

A kitüntetések átadását követően *Nagyné Halász Erzsébet* ismertette a határozati javaslatokat.

A Küldöttgyűlés részére a következő határozatok kerültek előterjesztésre:

- 1-114/2023. (05.20.) számú határozat:
A Küldöttgyűlés elfogadja az OMBKE 2022. évről szóló közhasznúsági jelentését.
- 2-114/2023. (05.20.) számú határozat:
A Küldöttgyűlés elfogadja az OMBKE 2022.

évről szóló számviteli beszámolóját és a mérleget.

- 3-114/2023. (05.20.) számú határozat:
A Küldöttgyűlés elfogadja a Felügyelőbizottság jelentését az OMBKE 2022. évi tevékenységéről.
- 4-114/2023. (05.20.) számú határozat:
A Küldöttgyűlés elfogadja az OMBKE 2023. évi gazdálkodásáról szóló tervet.
- 5-114/2023. (05.20.) számú határozat:
A Küldöttgyűlés elfogadja az egyesület befektetési szabályzatát

Izing Ferenc, a Mandátum és Szavazatszámlláló Bizottság elnöke bejelentette, hogy a Küldöttgyűlés határozatképessége fennáll. Így az OMBKE 114. Küldöttgyűlése az előterjesztett határozatokat egyhangúlag, tartózkodás és ellenszavazat nélkül elfogadta.

Az OMBKE Elnökség új tagja *Kovácsics Árpád* okleveles bányamérnök lett.

A tanácskozás az erdész, a bányász és a kohász himnuszok eléneklésével ért véget.

Additív technológiával előállított termékekben kialakuló maradó feszültségek vizsgálata

Examination of residual stresses in products produced with additive technology

KOVÁCS SÁNDOR ENDRE

kohómérnök, tanszéki mérnök

DR. VARGA LÁSZLÓ

kohómérnök, egyetemi docens



Az additív gyártástechnológia (AM), elterjedtebb nevén 3D nyomtatás, az egyik leggyorsabban fejlődő gyártási terület. Azonban bármilyen fejlett technológia, nem mindenható. Minden AM eljárással gyártott alkatrész maradó feszültségeket hordoz magában, melynek forrása a gyártási technológia lényegében keresendő [1]. Ahhoz, hogy a 3D nyomtatás létrejöhesse, a gyártóberendezésnek fókuszált termikus energiát kell előállítania, hogy a beadagolt nyersanyagot képes legyen feldolgozni. Ez az energia azonban hatással bír a korábban felhelyezett rétegekre is. Ez az egyedi termikus ciklus befolyásolja a maradó feszültségek mértékét [2, 3].

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, rozsdamentes acél, fémpor, maradó feszültség, röntgendiffrakció

Additive manufacturing, more commonly known as 3D printing, is one of the fastest growing industries of our time. In the past decades, after making its grand debut, it has grown into one of the most frequently researched manufacturing methods existing today. No matter how powerful this method might be, it is not omnipotent. Every part made by additive methods carries residual stresses, which phenomena can be traced back to the main characteristics of layer-by-layer deposition of materials. For metal-based machines, the machine requires a great deal of energy, to be able to execute a sintering or melting processes. However, the process requires not only power, but also accuracy. To make this possible, each machine has a focused thermal energy source supplied by an optical system. This optical part makes it possible to connect the power of the energy source with the base material and scan the cross-section fast and evenly. The energy input after the first deposition, will not only affect the layer in work, but the previously deposited ones as well. During our work, we used a Laser Power Bed Fusion (LPBF) technique, with Selective Laser Melting (SLM) method. The basic requirement for powder bed techniques is the ability to ensure a continuous supply of the base material, especially for metals, where the system is sealed and under shield gas, which does not allow further modifications inside the build chamber until the part is done. Inside the machine, there is a building platform taking place under the scanning optics together with a powder reservoir and a powder delivery system. In our instance, the machine works in a circular composition, which means, that our powder delivery system rotates counterclockwise. For each successive lasers, the building platform descends one set distance, which is the layer height, and the powder reservoir ascends. This way, the rotating arm, delivering the base material with a rubber coater, picking up the excess material and making an even layer on the top is the building platform, where the melting phase will start. The SLM process works with molten material, however, this melt only exists for a very short period, until it solidifies again. This will cause the powder material to change phases twice in an instant. The phase change will also include a change in volume. All this, combined with the fact that the source of energy affects the previously deposited layers too, will create a unique thermal cycle further influencing the occurrence of residual stresses as well.

Keywords: 3D printing, stainless steel, metal powder, residual stress, x-ray diffraction

1. Maradó feszültségek kialakulása

A definíció szerint maradó feszültség alatt azokat a mechanikai feszültségeket értjük, melyek valamely munkadarabban, illetve szilárd testben léteznek, és úgy vannak egyensúlyban, hogy a darabra semmilyen külső erő vagy nyomaték nem hat [4].

Ezek a feszültségek mértéküktől függően többféle módon képesek kifejteni a hatásukat, a szemcsék szintjétől egészen a teljes struktúráig. Szemcse szinten mikromechanizmusokat fog befolyásolni, és az ebből eredő hibák nem vagy ritkán fejtik ki hatásukat közvetlenül a testek tulajdonságaira, azonban nagyobb volumenű megjelenései képesek hatni az anyagfolytonosságra, amely hosszú repedésekben, törésekben, vetemedésekben jelenik meg [5]. A méretskála alapján három fő fajtájuk van:

- ❑ makrofeszültség,
- ❑ szemcse szintű feszültségek,
- ❑ molekuláris feszültségek.

Ezenkívül kialakulásuk szerint szintén három fő csoportba sorolhatók:

- ❑ mechanikai feszültség alapján,
- ❑ hőmérséklet-gradiens alapján,
- ❑ kémiai indukált feszültség alapján kialakuló feszültségek.

Az évek során számos kutatás foglalkozott a maradó feszültségek karakterisztikájának vizsgálatával. Mérésekkel megállapították, hogy a geometriai viszonyok szoros összefüggésbe hozhatók a maradó feszültségek mértékének felépülésével. Fémek esetében a támaszelemek kettős célt játszanak. Egyrészt rögzítik az épített geometriát a tárgyasztalhoz, másrészt ezeken keresztül hővezetés is végbemegy. Így éri el a rendszer, hogy működés közben ne tudjon túlmelegedni a munkatér, valamint hogy a megszilárdulás lejátszódjék [6]. Amennyiben a támaszgeometriák nem elég erősek, és azok építés közben elengednek, ez befolyással lehet a terelőegységre, mely a porbeadagolásért felel, és a nyomtatás sikertelen lesz. Azonban minden esetben a támasz – nyomtatott darab kapcsolat nagy maradó feszültségeket fog magában hordozni. Ez a folyamat bizonyos mértékben valamennyi paraméterétől függ. Szerepet játszik a nyomtatási orientáció, a lézerteljesítmény, ennek mozgási sebessége stb. Különböző alapanyagok között ez a kapcsolat drasztikusan változhat [7].

Az anizotrópia elkerülése céljából számos beépített megoldás is létezik, melyet a gyártók különböző kialakításokkal értek el. Mivel SLM¹ technológiával

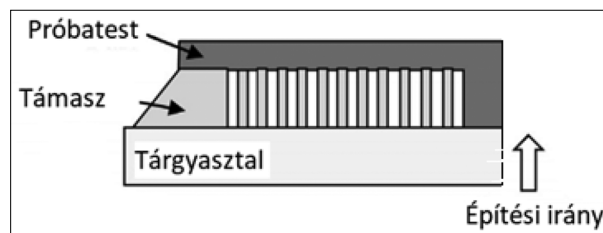
¹ Selective Laser Melting (SLM) – A szelektív lézerolvasztás egyike a sok szabadalmaztatott névnek, az additív gyártási technológiának (AM), amely hőforrással ellátott porágyat használ fémalkatrészek előállításához. (<https://link.springer.com/book/10:1007/978-1-4939-2113-3>)

nem lehet üreges elemeket építeni, mert a bezárt port nem lehetséges a geometria roncsolása nélkül eltávolítani, így olyan tömbi elemeket célszerű tervezni, amelyek nyomtatása során rövid lézerútvonalak alkalmazhatók [8]. További maradó feszültséget csökkentő módszer a munkatér emelt hőmérsékleten tartása. Ezzel az eljárással a maradó feszültségek 85%-a távolítható el a térfogatból. Azonban az emelt hőmérséklet hatására a porágy maradandó változáson mehet keresztül. Szomszédos szemcsék szintereződhetnek, ezzel emelve az átlag szemcseméretet és rontva a viszajárathatósági tulajdonságokat [9].

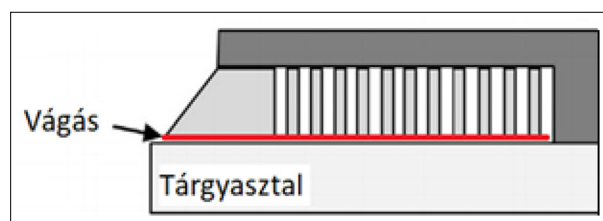
2. 3D-nyomtatott maradó feszültséget mérő próbatetek

A próbatetek nyomtatásának gyakorlati lényege, hogy megvastagított támaszelemekkel közvetlenül a tárgyasztalra kerülnek kinyomtatásra, majd a támaszokat egy horizontális vágással távolítják el, aminek következtében a testek engedni fognak a maradó feszültségeknek, és maradó alakváltozáson mennek keresztül. Ezt a folyamatot mutatja be az 1., 2. és 3. ábra.

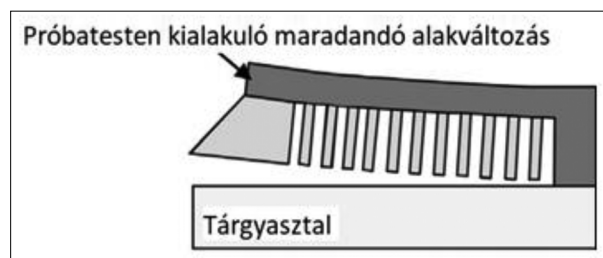
Roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálati lehetőségek is rendelkezésre állnak a maradó feszültség mérésére. Azonban számunkra – mivel fontos szem-



1. ábra. AM eljárásoknál alkalmazott maradófeszültség-mérő próbatest



2. ábra. Horizontális vágás bemutatása



3. ábra. Maradó alakváltozás a vágás után

pont a nyomtatási idő és felhasznált alapanyag-mennyiség is – a roncsolásmentes vizsgálatok voltak kedvezőek. Ahhoz, hogy számszerű értékeket kapjunk, a leggyorsabb és leginkább népszerű roncsolásmentes megoldásnak a röntgendiffrakciós (XRD) analízis bizonyult.

3. Maradó feszültség analízise XRD-vel

Az XRD-eljárás a kristálysíkok közötti távolságot használja feszültségmérési alapnak. A deformációk hatására a rácssíkok távolsága a feszültségmentes értékükről egy új értékre változik, amely megfelel a maradó feszültség nagyságának. Ha húzófeszültséget alkalmazunk, a Poisson-szám hatása miatt a rácsháló távolsága a feszültség irányára merőleges síkok esetében nő, a feszültség irányával párhuzamos síkok esetében pedig csökken. Ez az új távolság az alkalmazott feszültséghez képest minden hasonlóan tájolt síkban azonos lesz, ezért a módszer csak kristályos, polikristályos és félkristályos anyagok esetén alkalmazható. A diffrakciós szöveget (2θ) kísérletileg határozzák meg, majd a rácstávolságot ebből a diffrakciós szögből és az ismert értékekből számítják ki a Bragg-törvény segítségével [10, 11]. A próbatetek gyártási paramétereit és anyagtulajdonságát az 1. és 2. táblázat szemlélteti.

A port gázporlasztásos eljárással készítették szferoidikus morfológiával. Korrózióálló, 3D-nyomtatásos alkalmazásra kifejlesztett különleges ötvözet, melyet a 4. ábra mutat be.

A maradófeszültség-vizsgálatok készültek nyomtatás után, közvetlenül és hőkezelve is. A választott hőkezelés a gyártó által ajánlott 1 órás, 500 °C-os feszültségmentesítő program volt, amelyet egy lassú, levegőn történő lehűlés követett.

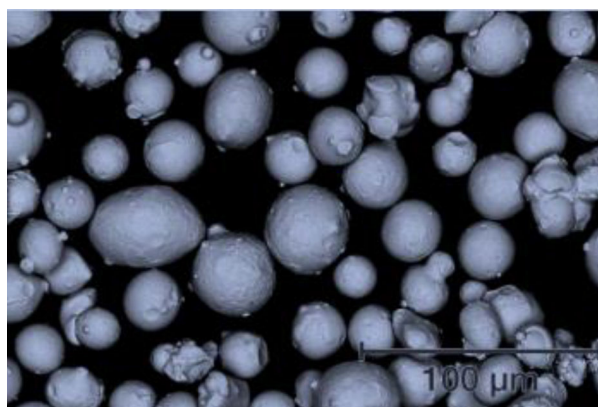
1. táblázat. A 3D nyomtatás paramétereit

Gyártási paraméter	Érték
Lézer és energiatípusa	Yb: szálas, 250 W
Lézer hullámhosszúsága	1070 nm
Tárgasztal méretei	100 mm átmérő, 110 mm magasság
Részletpontosság	$x = 80 \mu\text{m}$, $y = 80 \mu\text{m}$, $z = 20 \mu\text{m}$
Általános pontosság	40 μm
Adagoló rendszer	Simító lapát, 200%-os adagolási ráta*
Védőgáz	Nitrogén

*Nagyobb mennyiségű porbejuttatás nagyobb felületek nyomtatása során ajánlott annak érdekében, hogy minden felvitt réteg por egyenlően legyen elosztatva a teljes felületen.

2. táblázat. A 17-4ph rozsdamentes acélpor kémiai összetétele

Összetétel	Tömegszázalék (m/m%)
Karbon	0,07
Mangán	1,00 max.
Kén	0,030 max.
Szilícium	1,00 max.
Króm	17,00
Nikkel	5,00



4. ábra. A 17-4ph acélpor SEM-felvétele

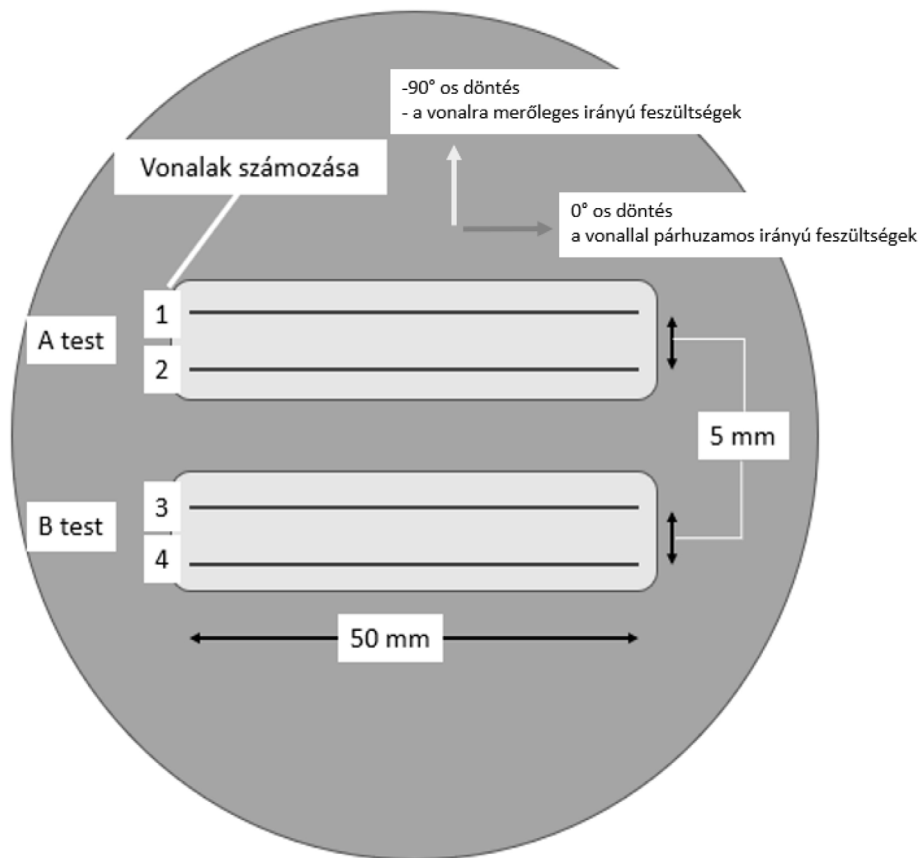
A 17-4ph porból kinyomtatott próbatesteken az XRD-vizsgálat során minden esetben két vonal mentén, tizenegy különböző mérési pontot vettünk fel, ezt szemlélteti az 5. ábra.

A felvett vonalakra minden esetben 11 db mérési pont definiálása történt. A megkapott értékek között szerepelnek a vonalra párhuzamos és merőleges irányú feszültségek, azonban geometriai megkötések miatt merőleges irányban a próbatest nem vagy csak elhanyagolható szinten képes az alakváltozásra, így a kiértékelés során minden esetben a párhuzamos értékek láthatók. Az első mérési sor eredményeit mutatja be a 6. és 7. ábra.

Ahogy az a mérési eredményekből látszik, egy időben készített próbatetek esetében is rendkívül nagy különbségek jelentkezhetnek. Az „A” jelű próbatestet tovább vizsgálva megállapítható, hogy vágás után mekkora feszültségkülönbség jelentkezik a rögzített és a maradó alakváltozást szenvedett darabok között.

Ezeket a mérési értékeket később összehasonlítottuk a hőkezelt értékekkel. A hőkezelés célja a maradó feszültség csökkentése volt a térfogatban, ennek az eredményeit mutatja be a 9. ábra.

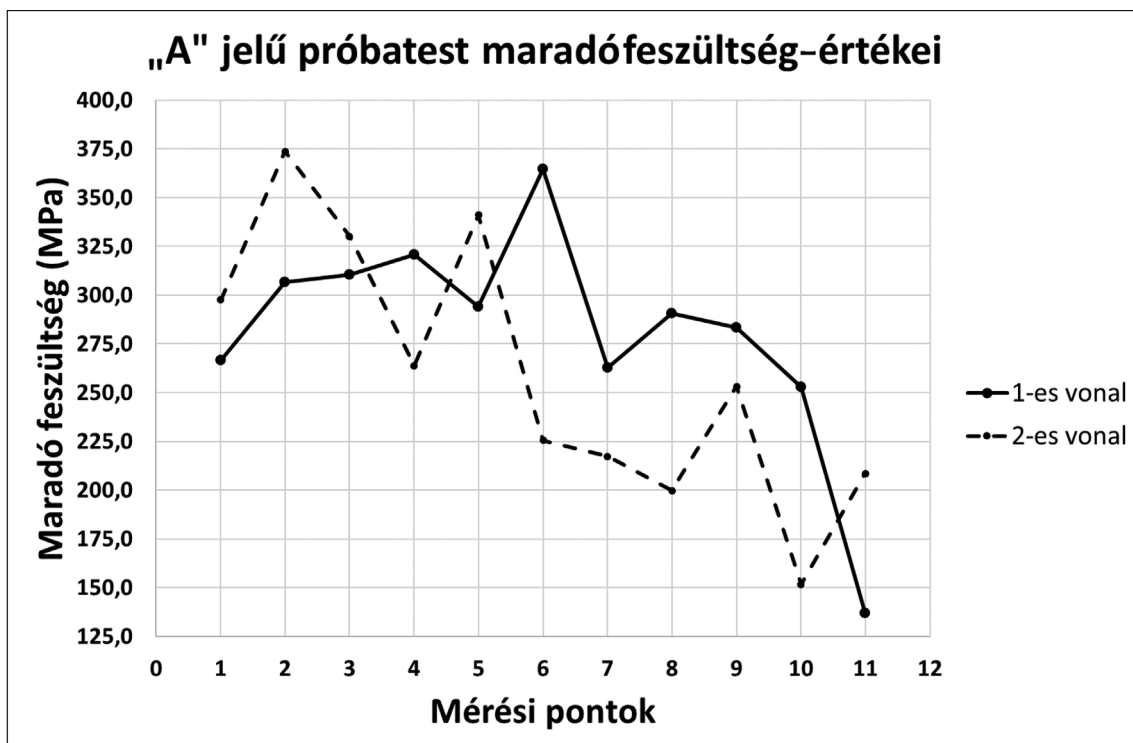
Ahogy a 8. és 9. ábrán látható, a maradó feszültség hőkezeléssel a maradó alakváltozásnál fel-



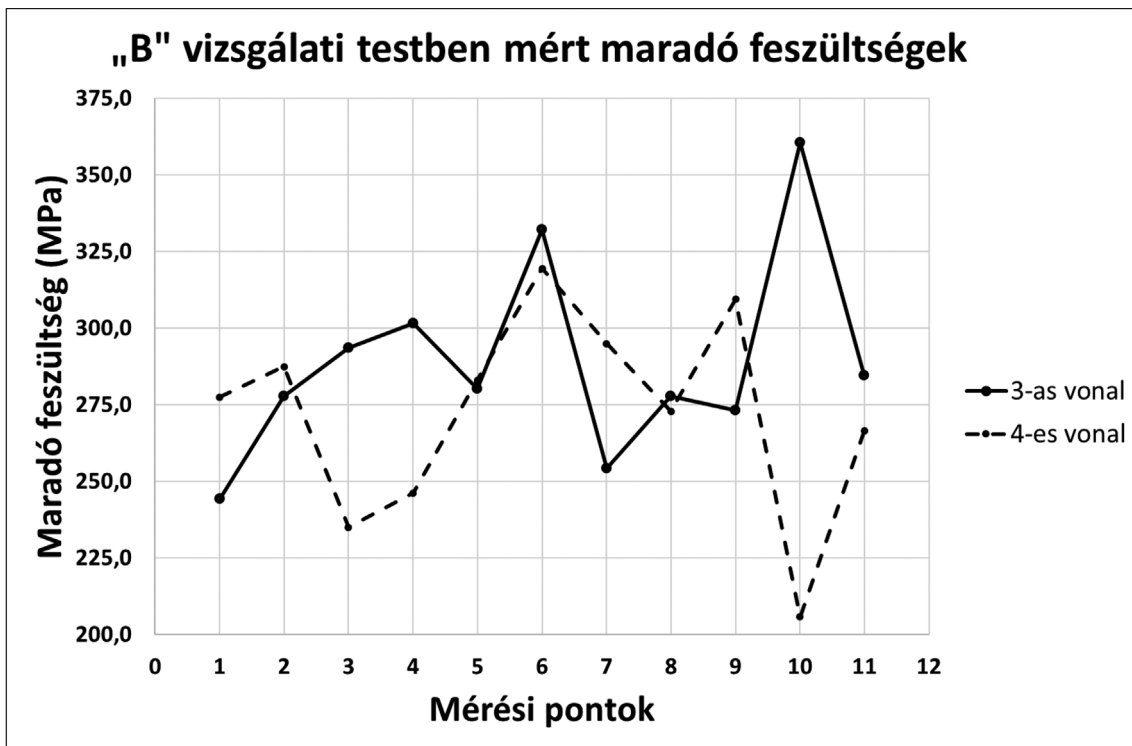
5. ábra. Az XRD-vizsgálathoz a próbatesten felvett mérési vonalak

vett értéket közelíti meg. Ezzel kijelenthető, hogy egy alaphőkezelés is rendkívül nagy hatással van az

AM-eljárással készített alkatrészek beépíthetőségi tulajdonságaira.



6. ábra. „A” jelű próbatest maradófeszültség-értékei



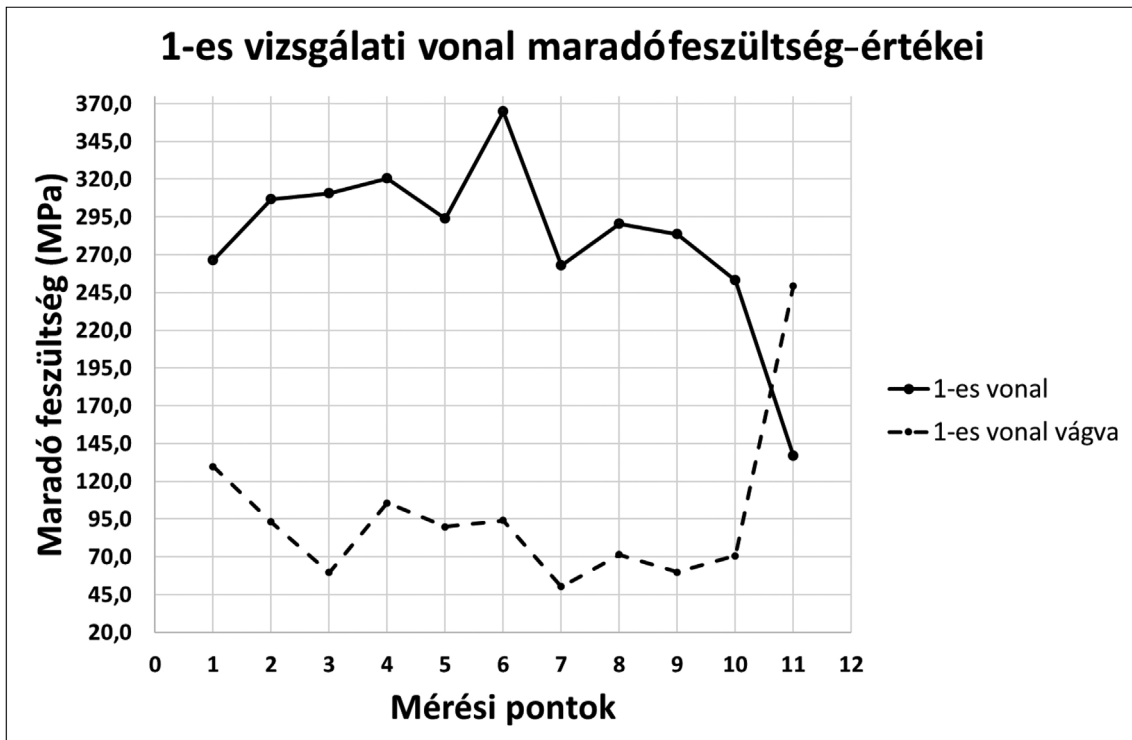
7. ábra. „B” testben mért maradó feszültségek

Összefoglalás

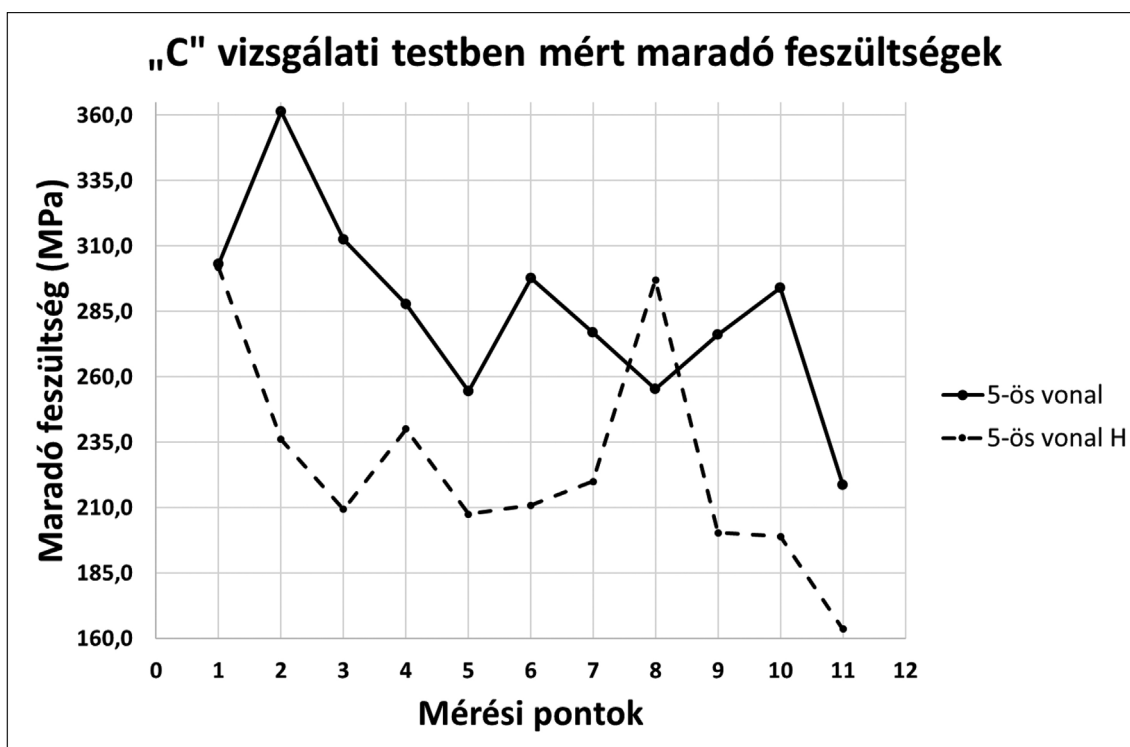
3D nyomtatás során a maradó feszültségek elkerülhetetlenek, ez a folyamat velejárója. A precíz, gyorsan mozgó energiaforrás rendkívül bonyolult termikus és fizikai folyamatokat hoz létre, amelyeknek a teljesen

pontos leírása továbbra is napjaink egyik fő kihívása.

Az eredményekből látható, hogy egy nyomtatás során – de akár egy próbatesten belül is – hatalmas eltérések jelentkezhetnek a feszültségek terén. Nagyon fontos a beépítésre szánt alkatrészek tervezése során ezekre a feszültségekre figyelemmel lenni, hogy



8. ábra. Az 1-es vizsgálati vonal vágás előtt és vágás után



9. ábra. „C” test 5-ös vonalának vizsgálati értékei

a későbbiekben ez ne legyen hatással az eszköz élettartamára.

Az additív gyártástechnológia sosem lesz igazán utómunkálást nélkülöző folyamat. Fémek esetében ez hatványozottan igaz. A támaszelemeket minden esetben el kell távolítani, a felületet kezelni kell, valamint ahhoz, hogy a gyártott alkatrész elérje a megfelelő mechanikai paramétereket, hőkezelés szükséges. Egy megfelelően elkészített 3D-nyomtatott acél próbatest hőkezelve akár meg is haladhatja a hagyományosan elkészített darabok mechanikai tulajdonságait. Itt azonban további figyelmet kell fordítani a rétegtépcsés irányára, valamint arra, milyen irányból szenved el a legnagyobb terhelést a beépítésre szánt alkatrészünk. Ez kifejezetten fontos vizsgálati lépés, mivel különböző irányok különböző maradó feszültségi értékekkel rendelkeznek, melyek közvetlen összefüggésben vannak a beépíthetőségi tulajdonságokkal is.

IRODALOM

- [1] Frazier W. E. (2014): Metal additive manufacturing: A review. *J. Mater. Eng. Perform.*, 23, 1917–1928. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>
- [2] Li C., Liu Z. Y., Fang X. Y., Guo Y. B. (2018): Residual stress in metal additive manufacturing. In: 4th CIRP Conference on Surface Integrity. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.05.039>
- [3] Li C., Liu J. F., Fang X. Y., Guo Y. B. (2017): Effi-

cient predictive model of part distortion and residual stress in selective laser melting. *Additive Manufacturing*, 17, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.08.014>

- [4] Nagy E.: Maradó feszültség meghatározása. Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Gyakorlati útmutató.
- [5] Withers P. J. (2007): Residual stress and its role in the future. *Rep. Prog. Phys.*, 70, 2211. DOI: 10.1088/0034-4885/70/12/R04
- [6] Jiang J., Xu X., Stringer J. (2018): Support structures for additive manufacturing: A review. *J. Manuf. Mater. Process.*, 2, 64. <https://doi.org/10.3390/jmmp2040064>
- [7] Chahal V., Taylor R. M. (2020): A review of geometric sensitivities in laser metal 3D printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 15, 227–241. <https://doi.org/10.1080/17452759.2019.1709255>
- [8] Gusarov A. V., Pavlov M., Smurov I. (2011): Residual stresses at laser surface remelting and additive manufacturing. *Physics Procedia*, 12A, 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.03.032>
- [9] Jacob G., Brown C., Donmez A., Watson S., Slotwinski J. (2017): Effects of powder recycling on stainless steel powder and built material properties in metal powder bed fusion processes. <https://doi.org/10.6028/NIST.AMS.100-6>
- [10] Mertinger V.: Röntgendiffrakciós módszerek.
- [11] Prevý P. S. (1986): X-ray diffraction residual stress techniques. *American Society for Metals*, pp. 380–392. <https://www.shotpeener.com/library/pdf/1986155.pdf>

A ritkaföldfém-bányászat jelene és perspektívái a világban

The present and perspectives of rare earth elements mining in the world

JANCSEK KRISZTIÁN

PhD-hallgató



A felgyorsult digitalizáció és automatizáció korszakába lépve egyre nagyobb az igény a ritkaföldfémekre. Számos lelőhelyet tartanak számon, de kevés esetében történt meg az ásványvagyon felmérése. Elsősorban karbonátitokhoz és alkáli magmás tevékenységekhez köthetőek a legjobb minőségű telepek. Az utóbbi években megtörni látszik a kínai hegemonia mind a kitermelés, mind a készletek tekintetében. Egyre több ország folytat kiterjedt kutatásokat és jelenik meg a ritkaföldfémpiacon. Ezzel párhuzamosan Európa fáziskésésben próbálja behozni a lemaradását és felmérni a saját nyersanyag-potenciálját.

Kulcsszavak: ritkaföldfém-bányászat, lelőhelyek, hegemonia

As we enter the accelerated automation era and the so-called green revolution, the demand for rare earth elements (REE) grows. But what are these elements? Fifteen of them belong to the lanthanoids or lanthanides: lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), as well as yttrium (Y) and scandium (Sc) from the transition metals. The main REE ore-minerals are bastnäsite, monazite, loparite and ion adsorption clays. The first three occur in carbonate or phosphate primary deposits, while the clay type of enrichments is related to sedimentation.

There are many deposits around the globe, but few have been assessed so far. In recent years, the Chinese hegemony in extraction and resource/reserve evaluation seems to be breaking down. More and more countries are entering the rare earth elements market and conducting explorations. That is welcome news in respect of mutual raw material security, especially in the shadow of global phenomena such as the coronavirus, chip shortages, or monopoly situations. At the same time, Europe is trying to catch up and assess its raw material potential somewhat behind schedule.

The following conclusions are made about the world's rare earth deposits and their potential. China, the most dominant player in the market, has vast carbonatite and hydrothermal mineralization. Mining of ion adsorption clays is significant too. The next big player in rare earth mining in Asia could be Vietnam, but Russia and India also have enormous reserves. Looking at North America, the USA is dominated by carbonatite deposits, such as Elk Creek, while in Canada, they are more of hydrothermal origin. In South America, Brazil is considered to have the third largest reserves of rare earths. Australia is a dominant player both in extraction and in terms of net mineral wealth. Africa's rare earth mining occurs in Madagascar from high-quality ion adsorption plants. The Republic of South Africa has one of the best monazite deposits in the world. Additional carbonatite deposits occur in the Democratic Republic of Congo, Tanzania, etc. The dependence of the European Union on raw materials and the achievement of the climate goals set in the Green Deal can be promoted by such crucial discoveries as the Swedish Per Greijer deposit this year. Europe's more well-explored raw material deposits are located in Scandinavia and Greenland, such as the carbonate Fen, Alnö, or the complex peralkaline Kvanefjeld. Many European Raw Material Alliance partners are exploring further opportunities across the continent.

Keywords: rare earths elements mining, deposits, hegemony

Napjainkban a felgyorsult digitalizáció, automatizáció az életünk minden területére kihat. De ez még csak a kezdet! Hamarosan beléphetünk az ipar 4.0 korszakába, aminek köszönhetően az információáramlás, digitalizáció és robotizáció gyökeresen változtatja meg az életünket. Ennek megfelelően, évről évre nő az emberiség nyersanyagigénye. A kutatókat és döntéshozókat egyre inkább foglalkoztatja, hogy a jövőben milyen forrásból és milyen technológiával tudjuk majd kielégíteni ezt az igényt. A ritkaföldfémeknek más nyersanyagokkal együtt kiemelt szerep jut. Ebben az értekezésben röviden bemutatom a ritkaföldfémeket általánosságban, szerepüket a modern gazdaságban, valamint a legfontosabb lelőhelyeiket a világban, és felvillantom a hozzájuk kapcsolódó nyersanyagpolitikai kérdéseket.

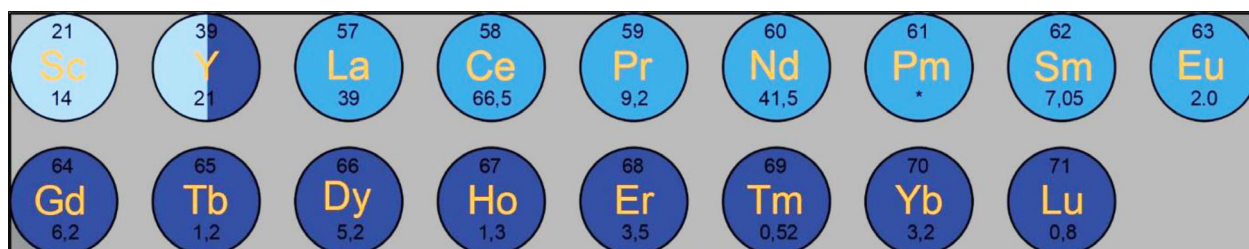
1. A ritkaföldfémekről általában

A ritkaföldfémek nem annyira ritkák, mint azt a nevük sugallja, hanem a természetben kevés helyen dúsultak fel [1]. Jó példa erre a cérium, amelynek átlagos földkéregbeli koncentrációja a rézével mérhető össze. De mik is ezek a ritkaföldfémek? A ritkaföldfémekhez 17, a hétköznapi ember számára szinte teljesen ismeretlen elemet szokás sorolni, közülük 15 lantanoidákhoz vagy másnéven lantanidákhoz tartozik: lantán (La), cérium (Ce), praezodímium (Pr), neodímium (Nd), prométium (Pm), samárium (Sm), eurórium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), diszprórium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), túlium (Tm), itterbium (Yb), lutécium (Lu), valamint az átmeneti fémektől kettő az ittrium (Y) és szkandium (Sc) tartoznak ide (1. ábra) [2, 3]. Prométium a természetben nem vagy csak nagyon ritkán fordul elő [4]. A leggyakoribb osztályozásuk az atomtömegem alapján, és ennek alapján megkülönböztetünk könnyű (LREE), nehéz (HREE), és bizonyos esetekben középső (MREE) ritkaföldfémeket (1. ábra). Legújabbán egy, a kritikuságra vonatkozó kategóriát, a kritikus ritkaföldfémeket (CREE) is bevezettek [5]. A ritkaföldfémek rendkívül hasonló fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Fontos megjegyezni a lantanoidakonttrakciót, azaz azt a jelenséget, hogy a lantántól kezdve

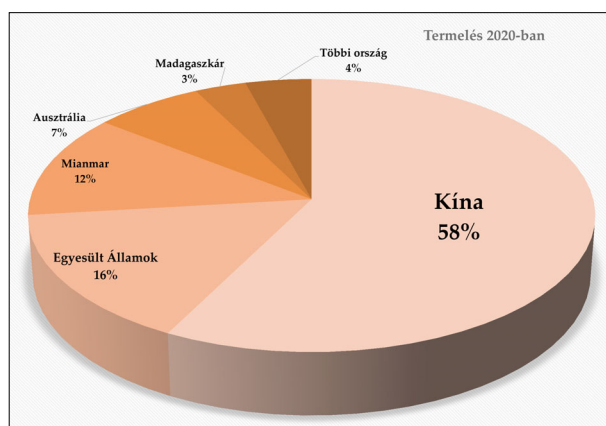
a lutéciumig a rendszám növekedésével az ionsugár folyamatosan csökken [6].

A ritkaföldfém-ásványokat és a hozzájuk köthető feldúsulásokat létrehozó folyamatokat két csoportra lehet bontani. A magmás és hidrotermális tevékenységek hozzák létre az elsődleges telepeket, míg a másodlagos lelőhelyeket a lepusztulás-üledékképződés kettőse eredményezi. Az elsődleges telepeket tekintve az alkáli-peralkáli magmás kőzetekhez és karbonatitokhoz köthetőek a legjobb minőségű telepek. Ehhez kapcsolódóan a reagens ritkaföldfémek a természetben számos ásványban megtalálhatóak, legyenek azok szilikátok, karbonátok vagy foszfátok [6]. Jelenleg mintegy 200–250 ilyen ásványt ismerünk, de gazdasági értékkel a mai technológiai színvonalon kizárólag a komplex összetételű bastnäsit (Ce,La)CO₃(F,OH₄), monacit (Ce,La,Nd,Th)PO₄, loparit (Na,Ce,Sr)(Ce,Th)(Ti,Nb)₂O₆ rendelkeznek, az ionadszorpciós agyagokkal kiegészülve [6]. Gyakran más ásványokkal együtt bányásszák ezeket [7].

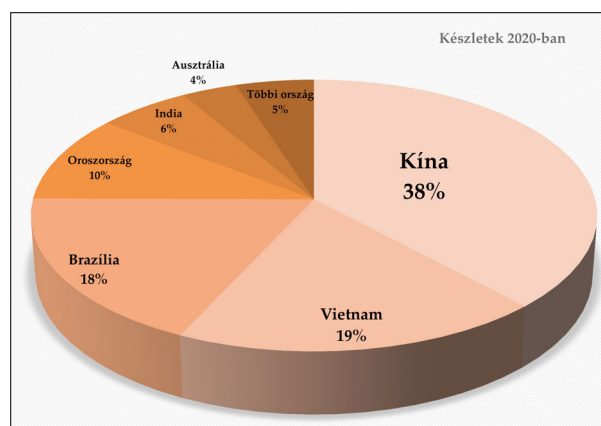
A közelmúltban Barakos és társai (2016) összesen több mint 400 potenciális ritkaföldfém-lelőhelyről és kapcsolódó projektről számoltak be [5]. Ugyan ez elsősre megnyugtathatónak tűnik, azonban e lelőhelyeknek csupán a töredéke van a teljes felmérés és készletszámítás szintjén. Sőt a cikk írásakor az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának (USGS) utolsó, 2021-ben elkészült és a 2020-as évre vonatkozó jelentése még inkább árnyalja a képet. A 2. és 3. ábrán látható, hogy a ritkaföldfémek bányászatának 96%-áért mindössze öt ország felel: Kína, Egyesült Államok, Mianmar, Ausztrália és Madagaszkár, sorrendben 140, 38, 30, 17 és 8 kilotonnás ritkaföldfémoxid- (REO-) termeléssel. Igaz, hogy a korábbi évekhez képest Kína részaránya valamelyest csökkent, mégis önmagában, majdnem a világ termelésének 60%-át adja. Ez az arány bizonyosan magasabb lehet, mivel meglehetősen gyakori az illegális bányászat az országban. Az ásványvagyonok tekintetében hasonló a helyzet. A jelenlegi megkutatottság alapján Kína, Vietnam és Brazília hármasa birtokolja a készletek háromnegyedét, azaz a feltételezett 120 millióból 87 millió tonnát.



1. ábra. Ritkaföldfémek csoportosítása. Halványkék: szkandium és ittrium; világoskék: könnyű ritkaföldfémek (LREE); sötétkék: nehéz ritkaföldfémek (HREE). Az egyes elemek rövidítései felett a rendszám, míg alul az átlagos földkéregbeli gyakoriságuk van feltüntetve, ppm-ben megadva. * A prométium a természetben nem fordul elő



2. ábra. Ritkaföldfém-termelés országok szerinti megoszlása a 2020-as év során



3. ábra. Ritkaföldfémkészletek országok szerinti megoszlása a 2020-as év során

A ritkaföldfémeket az ipar számos területén használják fel: mágnesek, katalizátorok, fenntartható és megújuló energiatermelés (napelem, szél-turbina), telekommunikációs eszközök, nemzetvédelmi és csúcstechnológiás katonai eszközök (éjjellátó távcsövek stb.) és e-mobilitás [2, 8–11]. Természetesen az egyes technológiák eltérő mennyiségben igénylik a 17 elem valamelyikét, viszont általánosságban a kevésbé gyakori HREE elemek, pl. Tb és Dy számítnak ellátottság szempontjából fokozottan kritikusnak. Az iparban betöltött szerepüket jól jelzi, hogy évente kb. 6–10%-kal növekszik a felhasználásuk, ami a zöld technológiák térnyerésével tovább fokozódhat [10]. Egy korábbi, óvatossággal becsült alapján 2035-ig 350–400 ezer tonna lesz az emberiség éves ritkaföldfémigénye, amely közel duplája a jelenlegi felhasználásnak [7]. Nem egyszerű megjósolni a jövőbeli igényeket, hiszen a technológiai innovációk fejlesztése minden eddiginél gyorsabban zajlik, pl. a ritkaföldfémek egyik fő és dinamikus fejlődő piacát az elektromobilitást tekintve. Bizakodásra ad okot, hogy ez idáig a termelés tudta fedezni az igényeket.

A ritkaföldfémipar számára azonban intő jelek is akadnak, amire jó példa a jelenleg zajló globális mikrochiphiány. Ezt a jelenséget három tényező együttes hatása alakítja, a 2020-ban berobbant koronavírus-járvány, az Egyesült Államok és Kína között zajló kereskedelmi háború és különböző természeti csapások, mint a tajvani aszály [12]. Tajvan felel a globális mikrochipgyártás jelentős részéért. A koronavírus-járvány hatására az otthoni munkavégzésre és kikapcsolásra kényszerült emberek hatalmas mennyiségben kezdték el felvásárolni az elektronikai eszközöket. A lezárásoktól sújtott és ellátási gondokkal küzdő elektronikai ipar törekedett az ugrásszerűen megnövekedett kereslet kielégítésére, méghozzá a hibrid- és elektromosautó gyártásának rovására. Elsősorban a félvezetők, pl. szilícium hiánya okozta ezt az autóiipari válságot, azonban nem szabad arról sem megfeledkezni, hogy az elektromotorokhoz

ritkaföldfémeket is felhasználnak. Ennek ellenére ritkaföldfémhiány nem lépett fel, a kínai export így is 20%-ot esett 2020 első hónapjaiban az egy évvel korábbi teljesítményhez képest [13]. Belátható, hogy egy járvány, az egyre gyakoribbá váló szélsőséges időjárási jelenségek vagy éppen egy ország monopolhelyezete, akár az egész világ nyersanyag-előállítására is kihathat.

A fentebb taglaltak alapján a cikk további részében az egyes régiók ritkaföldfém-bányászatát ismeretemen röviden, kiemelt fókuszba helyezve Kínát és a szempontunkból fontos Európai Uniót.

2. Kína

Ahogy láthattuk, a 2. és 3. helyen lévő, 140 kilotonnás termeléssel és 44 millió tonnás készletével jelenleg Kína a ritkaföldfém-bányászat legmeghatározóbb szereplője. Azonban Zhou és társai (2017) szerint a ritkaföldfémipacot tekintve már beléptünk a 'poszt-kínai' korszakba, amit a 2009 óta egyre csökkenő, államilag szabályozott kínai termelés is alátámaszt [14]. Ennek legfőbb oka a kínai kormány protekcionista szemlélete, mely szerint nemzetbiztonsági érdek a ritkaföldfémek felhalmozása, a hazai ipar kiszolgálása és az export arányának csökkentése [15]. Szintén jelentős tényező a kínai kormány határozott fellépése az illegális nyersanyagbányászat és a fekete piaci értékesítés ellen, amelyek jelentős arányt képviseltek és bizonyosan ma is képviselnek a kínai kitermelésben [16]. Az illegális bányászat gyakran környezetkárosító tevékenységekben nyilvánul meg [5]. A kínai ritkaföldfémipar igazi ereje és előnye abból fakad, hogy az egyetlen ország, ahol a termelés mellett teljes ritkaföldfémeket feldolgozó ipar és ellátási lánc épült ki [14].

A kínai termelés döntő része a bastnäsit és monacit ásványok bányászatából származik, melyeket az ionadszorpciós agyagok és a loparit követ [14]. A legfontosabb kínai telep a Belső-Mongóliában talál-

ható Bayan Obo, amely a világ legnagyobb ritkaföldfém-lelőhelye [17]. Komplex REE-Nb-Fe ércesedése dolomitot átmetező karbonattitlérekben alakult ki [f4]. A legfontosabb ritkaföldfémásványok a bastnäsit és a monacit; nióbium elsősorban fergusonit-hoz és kolumbit-hoz, míg a vas magnetit-hoz és hematit-hoz köthető [18]. A ritkaföldfémeket a vasércbányászat során keletkezett meddőhányókból nyerik ki [19]. A pontos nyersanyagkészlet nem ismert. További fontos, jelenleg is kitermelés alatt álló karbonattit-lelőhelyek, a Miaoya szienit-karbonatit komplexum, bastnäsit, parisit, monacit ércesedéssel; a Maoniuping, amely Kína második legnagyobb lelőhelye, és az ércstest szieniteket átszővő erekben képződtek; valamint a tipikusan karbonatitban kialakult hidrotermális Weishan lelőhely [19].

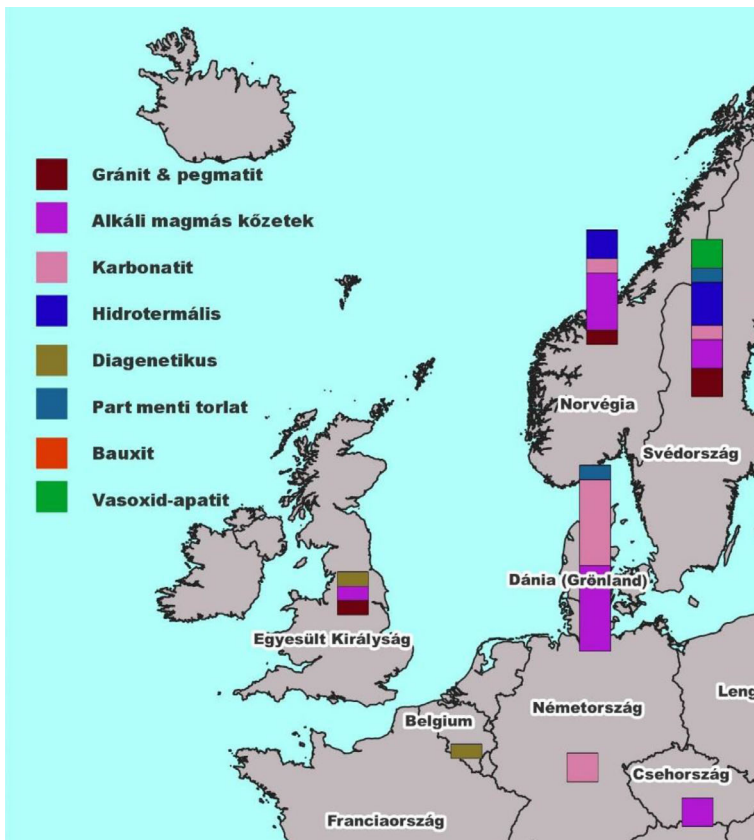
A kínai lelőhelyek másik nagy csoportját az ionadszorpciós agyagtelepek képviselik. Ezek úgy jönnek létre, hogy a csapadékosabb területeken, a magas hőmérsékletű talajvizek kilúgozzák a ritkaföldfémeket, melyeket ezután a gránitos anyakőzetben képződött agyagtalajok gyengén megkötik. A teljes kínai készletnek mindössze 3%-át adják a gyenge minőségű (0,03–0,50% REO) ionadszorpciós telepek. Gazdasági értékük mégis kiemelkedő, mivel az egész világon a bányászható közepes és nehéz ritkaföldfémek mintegy 80%-a ezekben a telepekben található, és a gyengén kötött ionok könnyen újra mobilizálhatók a különböző kioldásos (leaching) technológiákkal [8]. Az ionadszorpciós telepek Dél-Kínában fordulnak elő, mely régió egybeesik az illegális bányászat fő területével [14].

3. Az Európai Unió ritkaföldfém-politikája

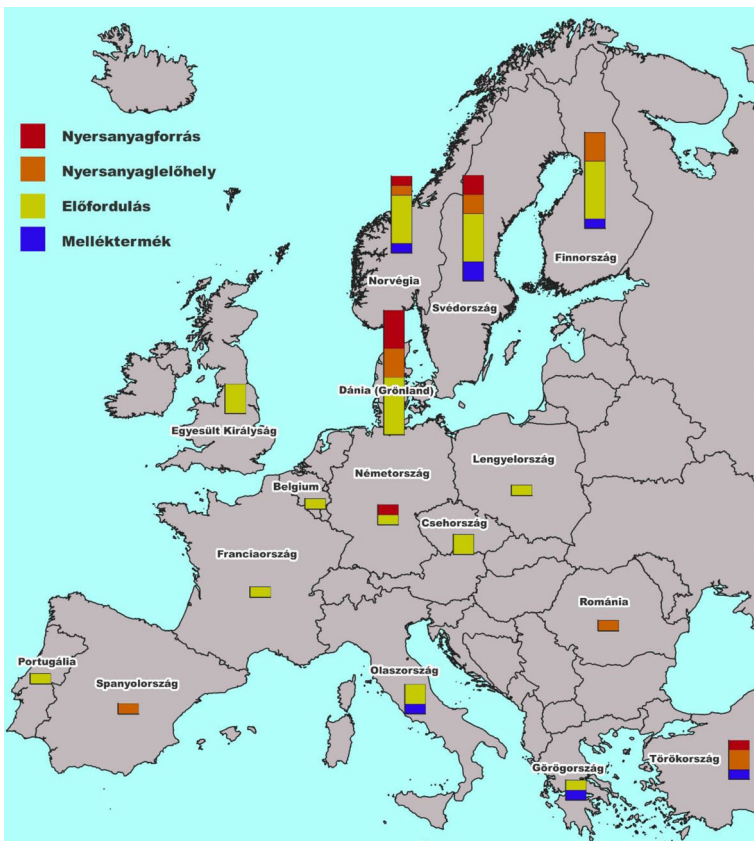
2019 decemberében az Európai Unió Bizottsága közzétette az „európai zöld megállapodás” (Green Deal) című stratégiai elképzelését, melyben vázolják a 2050-ig kitűzött klímacélokot. Ennek alapítója a karbonsemlegesség elérése és ezzel párhuzamosan az uniós polgárok általános jólétének megteremtése és fenntartása. Ezen ambiciózus célok megvalósításához többek között a megújuló erőforrások és az atomenergia kiaknázása a kulcs. Ezeknek erőforrásoknak a kiaknázásáról megoszlanak a vélemények mind a szakértői körökben, mind pedig a közvéleményben. A bevezetésben már láthattuk, hogy a zöld technológiák alkalmazásakor a ritkaföldfémek – ha kis mennyiségben is – nélkülözhetetlenek. Itt kezdődnek a problémák. Az 1860-as években tetőző csúcst követően folyamatosan csökken Európa aránya a világon folyó bányászatban, és a 2000-es évek eleje óta gyakorlatilag pár százalékon stagnál. Ily módon nem meglepő, hogy az Unió a legtöbb nyersanyagból, köztük a ritkaföldfémekből is behozatalra szorul. Sőt, ez utóbbiak szinte kizárólagos importforrása Kína, ami

már önmagában veszélyezteti az Unió tagállamok nyersanyagbiztonságát. Ehhez kapcsolódik a kritikus elemek listája, amelynek utolsó, 2020-ban kiadott jelentése – összesen 30 – az Unió jövőbeli boldogulásához és fejlettségének megőrzéséhez kulcsfontosságú, de ellátási kockázatot jelentő nyersanyagot tartalmaz, mint pl. ritkaföldfémek, lítium, magnézium stb. A kritikus elemek listáját is jegyző Európai Nyersanyag-szövetség, röviden ERMA (European Raw Material Alliance) felel a nyersanyagbiztonsági lehetőségek és projektek előkészítő kutatásának EU szintű finanszírozásáért és kivitelezéséért. A szervezet jelenleg több mint 130 céget, 50 szervezetet és 20 egyetemet, valamint több száz kutatót tömörít.

A Goodenough és társai (2016) által összegyűjtött adatokból a 4. és 5. ábrán láthatók a különböző európai ritkaföldfém-lelőhelyeket típus és a megkutatottság szintje alapján bemutató térképek [20]. Az előfordulások négy csoportba sorolhatók: feltáratlan nyersanyagforrás, megkutatott nyersanyag-lelőhely, termelői előfordulás és másodlagos melléktermék-kinyerés. Megfigyelhető, hogy a jelenlegi megkutatottság és készletfelmérések alapján Grönland és a Skandináv-félsziget országai rendelkeznek a legtöbb potenciális érccel. Grönland annyira felértékelődött, hogy az Egyesült Államok korábbi elnöke, Donald Trump megkísérelte megvásárolni a dán autonóm területet, míg a jelenlegi amerikai vezetés gazdasági segélycsomaggal kívánja szorosabbra fűzni a viszonyt a helyiakkal. A sziget déli részén, a Gardar Provincia alkáli intrúzióhoz kapcsolódóan három kiemelkedő minőségű telepet találunk, a Motzfeldt Sø, a Kringlerne és a Kvanefjeld lelőhelyeket. Utóbbi kettő a több mint egymilliárd éves Ilímaussaq intrúzió és az Igaliko Nefelinszenit Komplexumon belül helyezkedik el. A Kvanefjeld projekt az egyik legígéretesebb a világon [21]. Jelentőségét annak köszönheti, hogy a komplex lelőhely, összesen mintegy 437 millió tonna ritkaföldfém-, urán-, lítium-, cirkónium- és fluorércet tartalmaz [22]. Az anyakőzet a lujavrit nevű peralkáli szienit változat, mely ritka, nagy térejeű elemekben (Zr, Nb, Ta stb.) gazdag ásványokat, mint pl. steenstrupint, lovozeritet tartalmaz [23]. Hasonló kőzetekkel Grönlandon kívül az orosz Kola-félszigeten és Dél-Afrikában találkozhatunk [24]. A grönlandi ritkaföldfémvagyoneért felelős képződmények másik nagy csoportja a karbonatitok, melyek a sziget nyugati felén helyezkednek el. Legjelentősebb telepei a Sarfartoq, Qaqarssuk és a Tikiussaq, ahol főleg különböző fluorokarbonát ásványok, quarssukit, szinchizit és a Tikiussaq esetében a monacit a fő ritkaföldfém-hordozók. A sziget érceinek jövőbeli kiaknázásával összefüggésben azonban határt szabhat a grönlandi parlament tavaly novemberi határozata, mely szerint az uránérc-kutatást és -bányászatot egyaránt megtilt



4. ábra. A ritkaföldfém-lelőhelyekkel rendelkező országok és a lelőhelyek genetikai típusai



5. ábra. A ritkaföldfém-lelőhelyekkel rendelkező országok és a lelőhelyek megkutatottság szerinti típusai

ják a területen, amely intézkedés különösen hátrányosan érinti a Kvanefjeld projektet.

Grönland szigetét elhagyva térjünk rá a Skandináv-félszigetre! A 4. és 5. ábrán feltüntetett európai lelőhelyek majdnem fele található Norvégiában, Svédországban és Finnországban. A valószínűleg ez az arány bizonyosan még magasabb lehet, hiszen a proterozóikum-i orogének során számos gránithoz és pegmatithoz köthető előfordulást ismerünk részletezés nélkül. A Japetus-óceán felnyílását (~580 millió év) követően létrejött norvég Fen és a svéd Alnö lelőhelyek tipikus képviselői a sövitteléreket tartalmazó karbonatitlepeknek [25, 26]. A korábban vasércre és nióbiumra bányászott Fen a számítások alapján 84 millió tonna, 1,08% TREO-s minőségű kimutatott ásványvagyonnal rendelkezik [20]. Az Alnö Alkáli Komplexum Svédország egyik legjobb minőségű telepe számos ritkaföldfémásványt tartalmaz, mint pl. a monacit, apatit, szinchizit, eszchinit stb. Norra Kärr a legjobban megkutatott és termelésre előkészített svéd előfordulás. Finnország területén alkáli- és karbonatitlepek fordulnak elő. Számos további lelőhely és előfordulás található a skandináv országokban, de bővebb bemutatásukra ebben az értekezésben nincs lehetőség.

Európa többi részén is találhatunk kutatásra érdemes telepeket. Nyugat-Európában az alkáli magmás anyakőzetű telepek közül a skóciai Loch Loyal Szienit Komplexumot lehet kiemelni, melynek Cnoc nan Cuilean nevezetű intrúziója jelentős mennyiségben és 2% TREO-s minőségben tartalmaz ritkaföldfémeket, főként fluorapatit- és allanitásványokban [27]. Az Egyesült Királyság, Franciaország, Belgium és Portugália paleozoós üledékes medencéiben egyaránt megtalálhatóak a gyenge minőségű, diagenetikus eredetű gumós monacittelepek [20]. Dél- és Délkelet-Európában változatos lelőhelyekkel és előfordulásokkal rendelkezik. Alkáli magmás telepek közül elsősorban a spanyol Galiñeiro Komplexum ismert. A gneiszes anyakőzetben hidrotermális hatás eredményeként jöttek létre bastnäsit-, allanit-, tantál- és nióbiumásványok, valamint foszfátok,

mint pl. xenotim és monacit [28]. Hidrotermális eredetű a török Kizilcaören is. Karbonatit-előfordulások Törökországban és Olaszországban jelennek meg. Jelentős csoportot képviselnek a gumós monacit-hasonlóan másodlagos telepek közé sorolt part menti torlatok, melyek főként Görögországra, Törökországra és Olaszországra jellemzőek [29]. A torlatokban elsősorban monacit, ritkábban xenotim található meg [30]. Jelenleg kiaknázatlan, de nagy potenciál rejlik a bauxit feldolgozásakor, a Bayer-eljárás során melléktermékként keletkező vörösiszapban is, melyben feldúsulnak a bauxit agyagásványai által megkötött ritkaföldfémek. Deadly és társai (2014) szerint a főleg Dél-Európára és a Balkánra szorító alumíniumgyártás évente 1,4 millió tonna vörösiszapot eredményez, ezekben a ritkaföldfémek koncentrációja a 900 ppm-t is elérheti [31]. Goodenough és társai (2016) által összegyűjtött ritkaföldfém-lelőhelyek közül csak néhány található Közép-Európában [20]. Három karbonatit ismert a régióban, Delitzsch és Kaiserstuhl Németországban, valamint Tajno Lengyelországban. A Delitzsch lelőhely az egyetlen, amelyre készletfelmérés történt. A kimutatott és következtetett vagyon mintegy 4,4 millió tonnára tehető 0,45%-os TREO-val [30]. Csehországban és a szomszédos Romániában alkáli magmás telepek fordulnak elő. Utóbbi esetében a hazai kutatók által is jól ismert Ditrői Alkáli Masszívum Jolotca és Belcina területein ritkaföldfémekben gazdag karbonátterek szövik át a nefelinszenites összletet [32].

4. A világ többi része

Észak- és Dél-Amerika

Habár 2020-ban a második legnagyobb ritkaföldfém-kitermelő az Egyesült Államok volt, nyilvántartott készlete kevésbé jelentős (1,5 millió tonna). Elsődleges kitermelés kizárólag az 1950-es évek óta kisebb megszakításokkal üzemelő kaliforniai Mountain Pass bányában zajlott. Ez a világ második legnagyobb ismert lelőhelye, ahol a karbonatitos érctelep shonkinit – szenit – gránitösszletbe nyomult képződményekben alakult ki. Az elsődleges ércásvány a bastnásite, míg alárendelten parisitet és monacitot bányásznak [4]. Az Egyesült Államok legígéretesebbnek tűnő új bányájának a megnyitását a nebraskai Elk Creek mellett tervezik. Itt található az ország legnagyobb karbonatit eredetű nióbiumlelőhelye, amelyhez szkandium és titán is társul [36]. Az előzetes tervek alapján a minimális környezeti terheléssel járó projektet mind a helyi döntéshozók, mind pedig a közvélemény döntő többsége támogatja. A teljes készletről nem áll rendelkezésre információ. Szintén karbonatit-hoz köthető a wyomingi Bear Lodge projekt, melynek keretében 498 ezer tonna teljes ritkaföldfém-oxidokkal egyen-

értékű ásványvagyonot prognosztizálnak. A szomszédos Kanada esetében 15 millió tonnás ásványvagyon és 830 ezer tonnás készletet tartanak nyilván. A Strange Lake és Thor Lake/Nechalacho nevezetű lelőhelyek hidrotermális eredetűek, míg a Saint-Honoré Komplexum területén, az egyetlen működő kanadai bánya bastnásite ércesedése kevert magmás hidrotermális eredetű [37]. Dél-Amerikában egyedül Brazíliát tartják számon a ritkaföldfémvagyonról illetően. Az ország 21 millió tonnás készlete a harmadik legnagyobb a világon. Annak ellenére, hogy két helyen, Araxá és Catalao települések közelében is bányásznak ritkaföldfémeket karbonatitból, a mostani 1000 tonnás termelés csekély. Az elsődleges források leginkább foszfátok, xenotim, monacit és apatit.

Ázsia többi országa

Kína mellett más ázsiai országok is jelentős termeléssel és ércvagyonnal rendelkeznek. 2020-ban Kína és az Egyesült Államok mellett 30 ezer tonnával Mianmar volt a harmadik legnagyobb ritkaföldfém-kitermelő ország. A készletekről jelenleg nincsen információ. Brazíliához hasonlóan Vietnam bányászata a maga 1000 tonnájával is eltöprel az ásványvagyona mellett, amely 22 millió tonnára tehető. Két legfontosabb lelőhelye az Északnyugat-Vietnamban, egymástól mindössze 40 km-re található a szenites alapközet mállásával keletkezett laterites Dong Pao és karbonatit-metaszomatikus eredetű Nam Xe [38]. A Dong Pao mállott zónájában a LREE elemek koncentrációja a 10 tömeg%-t is eléri [39]. Tekintélyes ásványvagyonnal rendelkezik Oroszország és India is, melyek így a negyedik és ötödik helyen állnak. Az orosz vezetés nagy reményeket fűz a Jakutföld területén található Tomtor érctelephez, melynek kiaknázásával 2025-re önellátóvá válhat az ország. A lelőhely a maga nemében egyedülálló, a 11,4 millió tonnás ásványvagyonghoz 10% feletti ritkaföldfémoxid-koncentráció társul [40]. India elsősorban a parti torlatokban feldúsult monacit-, rutil cirkon- és ilmenitásványokat szeretné kiaknázni [41]. Ázsia ötödik, míg a világ nyolcadik legnagyobb ritkaföldfém-kitermelője Thaiföld, ahol a hidrotermális-metaszomatikus ón- és volfrámtelepek melléktermékeként bányásznak nióbiumot és tantálat.

Ausztrália

A legfrissebb adatok alapján Ausztrália kitermelésben a negyedik, míg ásványvagyonával a hatodik pozíciót foglalja el. A 17 ezer tonnás kibányászott mennyiség szinte teljes mértékben a Mount Weld lelőhelyről származik. Az üzemeltető a legnagyobb, nem kínai tulajdonban lévő feldolgozott ritkaföldfém-értékesítő a piacon. Az érctelep prekambriumi, több mint

2000 millió éves vulkáni-üledékes kőzetek közé benyomult karbonatit laterites mállása során jött létre, hozzávetőleg 100 méteres vastagságban [38]. Tekintélyes, 2,3 millió tonnás vagyona azonban eltöprel a Dél-Ausztráliában fekvő Olympic Dam 47 millió tonnás feltételezett ásványvagyona mellett. Az IOCG (Fe-Cu-Au) típusú telepekhez tartozik, és amellet, hogy a világ egyik legfontosabb urán- és vasérclelőhelye, hatalmas mennyiségű ritkaföldfémeket is tartalmaz bastnäsit-, florencit-, monacit- és xenotimásványok formájában. Az ausztrál vezetés szeretne még inkább meghatározóvá válni a nyersanyagpiacon, a legfrissebb kiadványuk alapján a fentebb bemutatott két lelőhelyen kívül még 10 másik ritkaföldfémprojektet tartanak számon [42].

Afrika

Madagaszkár 8000 tonnával a világ ötödik legnagyobb kitermelője volt 2020-ban. Az ország északi részén, az Ampasindava félszigeten alkáli kőzetek laterites mállásával képződtek a jó minőségű ionadszorpciós telepek [43]. A szingapúri érdekltségű, közel fél budapestnyi méretű koncessziós terület azonban kiváltotta a helyi lakosság elégedetlenségét, mivel a térség körül endemikus egérmakifajoknak is otthont adó, védett esőerdők húzódnak [44]. A USGS felmérése alapján Dél-Afrika 790 ezer tonna készlettel rendelkezik. Az ország nyugati felében a közeljövőben megkezdheti működését a Steenkampskraal bánya. A 605 ezer tonnás ásványvagyon átlagosan 14,4%-os TREO minőséggel párosul [45]. Északkeletre található a Pilanesberg Komplexum, ahol hidrotermális tevékenység hatására cink- és ritkaföldfém-tartalmú eudialitásvány képződött a nefelinszenitekben [46]. Karbonatitlelőhelyek találhatóak számos afrikai országokban, köztük a Kongói Demokratikus Köztársaságban, Tanzániában, Malawiban és Zambiában.

Összefoglalás

Az értekezésben bemutatam a ritkaföldfémeket, egyes típusaikat és szerepüket a modern gazdaságban. Ezt követően világ ritkaföldfémtelepeit ismertettem, egy-egy lelőhelyet kiemelve. Kína és Európa hangsúlyosabban került bemutatásra. Összességében látható volt, hogy a ritkaföldfém kitermelése és a lelőhelyek nagy része leginkább néhány ország között oszlik meg, ami nyersanyagbiztonsági szempontból nem előnyös. Habár zajlik egy átrendeződés is, egyre több ország szeretné kiharítani a maga szeletét világtermelésből. Mindeközben Európa lemaradva, fáziskésésben próbál felzárkózni, és lehetőségeit kitágítani.

A hazai előfordulásokról a tanulmány második részében lesz szó részletesen.

IRODALOM

- [1] Hiskey J. B., Copp R. G. (2018): Solvent extraction of yttrium and rare earth elements from copper pregnant leach solutions using Primene JM-T. *Minerals Engineering*, 125, 265–270.
- [2] Han K. N., Kellar J. J., Cross W. M., Safarzadeh S. (2014): Opportunities and challenges for treating rare-earth elements. *Geosystem Engineering*, 17/3, 178–194.
- [3] Peelman S., Sun Z. H. I., Sietsma J., Yang Y. (2016): Leaching of rare earth elements. Review of past and present technologies. In: De Lima I. B., Filho W. L. (eds). *Rare Earths Industry. 1st Edition, Technological, Economic, and Environmental Implications*, pp. 319–334.
- [4] Dushyantha N., Batapola N., Ilankoon I. M. S. K., Rohitha S., Premasiri R., Abeyasinghe B., Ratnayake N., Dissanayake K. (2020): The story of rare earth elements (REEs): Occurrences, global distribution, genesis, geology, mineralogy and global production. *Ore Geology Reviews*, 122, 10352.
- [5] Barakos G., Gutzmer J., Mischo H. (2016): Strategic evaluations and mining process optimization towards a strong global REE supply chain. *Journal of Sustainable Mining*, 15, 26–35.
- [6] Balaram V. (2019): Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10/4, 1285–1303.
- [7] Alonso E., Sherman A. M., Wallington T. J., Everson M. P., Field F. R., Roth R., Kirchain R. E. (2012): Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 3406–3414.
- [8] Yang X. J., Lin A., Li X-L., Wu Y., Zhou W., Chen Z. (2013): China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. *Environmental Development*, 8, 131–136.
- [9] Haschke M., Ahmadian J., Zeidler L., Hubrig T. (2016): In-situ recovery of critical technology elements. "SYMPHOS 2015", 3rd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry, *Procedia Engineering*, 138, 248–257.
- [10] Bisaka K., Thobadi I. C., Pawlik C. (2017): Extraction of rare earths from iron-rich rare earth deposits. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117, 731–739.
- [11] Smith Y. R., Kumar P., McLennan J. D. (2017): On the extraction of rare earth elements from geothermal brines. *Resources*, 6/3, 39, 1–16.
- [12] <https://www.nytimes.com/2021/04/08/technology/taiwan-drought-tsmc-semiconductors.html>
- [13] <https://www.reuters.com/article/instant-article/idINL4N2B11JR>
- [14] Zhou B., Li Zhongxue, Chen C. (2017): Global potential of rare earth resources and rare earth demand from clean technologies. *Minerals*, 7, 203.
- [15] Barteková E., Kemp R. (2016): National strategies for securing a stable supply of rare earths in different world regions. *Resources Policy*, 49, 153–164.

- [16] Ho P., Zhao H. (2021): Mining conflict and rent-seeking in China: A mixed method analysis of cases of illegality. *The Extractive Industries and Society*, 101031 (in press).
- [17] Wang Z. Y., Fan H. R., Zhou L., Yang K. F., She H. D. (2020): Carbonatite-related REE deposits: An overview. *Minerals*, 10, 965.
- [18] Fan H. R., Yang K-F., Hu F. F., Liu S., Wang K. Y (2016): The giant Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, China: Controversy and ore genesis. *Geoscience Frontiers*, 7, 335–344.
- [19] Ilankoon I. M. S. K., Tang Y., Ghorbani Y., Northey S., Yellishetty M., Deng X., McBride D. (2018): The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry. *Challenges and opportunities. Minerals Engineering*, 125, 206–222.
- [20] Goodenough K. M., Schilling J., Jonsson E., Kalvig P., Charles N., Tuduri J., Deady E. A., Sadeghi M., Schiellerup H., Müller A., Bertrand G., Arvanitidis N., Eilopoulos D. G., Shaw R. A., Thrane K., Neulen N. (2016): Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenetic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 72, 838–856.
- [21] <https://www.mining.com/greenland-bans-uranium-mining-blocking-vast-rare-earths-project/>
- [22] Thrane K., Kalvig P., Keulen N. (2014): REE deposits and occurrences in Greenland. *ERES2014: 1st European Rare Earth Resources Conference [Milos] 04-07/09/2014*.
- [23] Marks M. A. W., Markl G. (2017): A global review on apatitic rocks. *Earth-Science Reviews*, 173, 229–258.
- [24] Sørensen H., Bohse H., Bailey J. C. (2006): The origin and mode of emplacement of lujavrites in the Ilímaussaq alkaline complex, South Greenland. *Lithos*, 91, 286–300.
- [25] Andersen T. (1988): Evolution of peralkaline calcite carbonatite magma in the Fen complex, southeast Norway. *Lithos*, 22, 99–112.
- [26] Meert J. G., Torsvik T. H., Eide E. A., Dahlgren S. (1998): Tectonic significance of the Fen province, S. Norway: Constraints from geochronology and paleomagnetism. *The Journal of Geology*, 106, 553–564.
- [27] Walters A. S., Goodenough K. M., Hughes H. S. R., Roberts N. M. W., Gunn A. G., Rushton J., Lacinska A. (2013): Enrichment of rare earth elements during magmatic and post-magmatic processes: A case study from the Loch Loyal Syenite Complex, northern Scotland. *Contrib. Mineral Petrol.*, 166, 1177–1202.
- [28] Montero P. B., Floor P., Castanon L. G. C. (1998): The accumulation of rare-earth and high-field-strength elements in peralkaline granitic rocks: The Galiñeiro orthogneiss complex, northwestern Spain. *The Canadian Mineralogist*, 36/3.
- [29] Papadopoulos A., Tzifas I. T., Tsikos H. (2019): The potential for REE and associated critical metals in coastal sand (placer) deposits of Greece: A review. *Minerals*, 9, 469.
- [30] Deady É., Richard S., Goodenough K. (2017): Research and development for the rare earth element supply chain in Europe. *Eurare*, 40 pp.
- [31] Deady É., Mouchos E., Goodenough K., Williamson B., Wall F. (2014): Rare earth elements in karst-bauxites: A novel untapped European resource? *ERES2014: 1st European Rare Earth Resources Conference [Milos] 04-07/09/2014*.
- [32] Honour V. C., Goodenough K. M., Shaw R. A., Gabudianu I., Hirtopanu P. (2018): REE mineralisation within the Ditrău Alkaline Complex, Romania: Interplay of magmatic and hydrothermal processes. *Lithos*, 314–315, 360–381.
- [33] Lengyel A., Lakatos J. (2011): Vörösiszap hasznosításának lehetőségei – Possibilities of utilization of red mud. *Anyagmérnöki Tudományok*, 36/1, 35–48.
- [34] Nyirádi Zs. (2012): Vörösiszap hasznosítás, falazóblokk és vasklorid termelése mellett, a titán és ritkaföldfém tartalom kinyerésével. *Synpetrol Hungary, Inc.*
- [35] M. Tóth T., Schubert F., Raucsik B., Fintor K. (2019): Mineralogical and geochemical constraints of the REE accumulation in the Almásfüzitő red mud deposit in northwest Hungary. *Applied Sciences*, 9, 3654.
- [36] <https://www.niocorp.com/elk-creek-project/>
- [37] Néron A., Bédard L. P., Gaboury D. (2018): The Saint-Honoré carbonatite REE zone, Québec, Canada: Combined magmatic and hydrothermal processes. *Minerals*, 8, 397.
- [38] Smith M. P., Moore K., Kavecsánszki D., Finch A. A., Kynicky J., Wall F. (2016): From mantle to critical zone: A review of large and giant sized deposits of the rare earth elements. *Geoscience Frontiers*, 7, 315–334.
- [39] Chau N. D., Jadwiga P., Adam P., Hao D. V., Phon L. K., Pawel J. (2017): General characteristics of rare earth and radioactive elements in Dong Pao deposit, Lai Chau, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 39/1, 14–26.
- [40] Malkova M. Y., Zadiranov A. N., Zaya K., Dkhar P. (2020): Ore of the Tomtor rare-earth deposit for its industrial processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1687, 012038.
- [41] <https://www.srk.com/en/projects/tomtor-resource-reserve-estimation>
- [42] https://www.industry.gov.au/sites/default/files/202106/outlook_for_selected_critical_minerals_in_australia_2021_report.pdf
- [43] Estrade G., Marquis E., Smith M., Goodenough K., Nason P. (2019): REE concentration processes in ion adsorption deposits: Evidence from the Ambohimihavavy alkaline complex in Madagascar. *Ore Geology Reviews*, 112, 103027.
- [44] <https://news.mongabay.com/2017/11/another-blow-to-troubled-madagascar-rare-earth-mine/>
- [45] <https://www.steenkampskraal.com/geology/>
- [46] Olivo G. R., Williams-Jones A. E. (1999): Hydrothermal REE-rich eudialyte from the Pilanesberg Complex, South Africa, 37/3, 653–663.

A vertikumi kénviszonyok vizsgálata a kumulált kénkihozatal elvének alkalmazásával

Investigation of vertical sulphur relations using the cumulative sulphur yield principle

HÁRI LÁSZLÓ
okleveles kohómérnök



A klasszikus nyersvasgyártás – konverteres acélgártás metallurgiai vertikum több lépcsőből álló komplex acélgártó egység. A komplexum öt gyártó és egyúttal öt kéntelenítő egységből áll, amelyekben a kéntartalom az eltérő metallurgiai adottságoknak megfelelően különböző mértékű, egyedi kéntelenítési lépcsőkön keresztül kerül az űstmetallurgiai fázisig, és végül kialakul az acél végső kéntartalma. Az összevont kénkihozatalok elve lehetővé teszi a vertikumi folyamatok, a félkész és végtermékek kéntartalmának gyors vizsgálatát és a hatékony kéntelenítési súlypontok megadását.

Kulcsszavak: kénviszonyok, kumulált kén, gyors vizsgálat, hatékonyság

The classic pig iron production – converter steelmaking metallurgical vertical is a complex steel production unit consisting of several stages. The complex at ISD Dunafer Zrt. company consists of five production and five desulphurisation units where the sulphur content is passed through different individual desulphurisation steps according to the different metallurgical conditions up to the ladle metallurgical stage where the final sulphur content of the steel is formed.

The principle of combined desulphurisation yields allows the rapid determination of the sulphur content of the vertical sub-products and the final product. It also helps in the selection of efficient desulphurisation centres.

The two main indicators used to characterise the desulphurisation efficiency are desulphurisation efficiency (η) and sulphur yield (k). The desulphurisation efficiency is commonly characterised by the ratio of the amount of sulphur removed to the initial sulphur content, according to the following formula:

$$\eta = \frac{S_0 - S_v}{S_0} \cdot 100. \quad (1)$$

The sulphur yield as the complement of the desulphurisation efficiency is interpreted as

$$\eta + k = 100. \quad (2)$$

The sulphur yield is an indicator of the proportion of the sulphur content in the charge that remains after desulphurisation. The specific sulphur yields of coking, iron ore sintering, pig iron production, LD steelmaking and ladle metallurgy are generally well known as follows.

Technology	Coking	Iron ore sintering	Ironmaking	LD steelmaking	Ladle metallurgy
Sulphur yield	0.64	0.50	0.05	0.60	0.85

The specific charge weights and sulphur content of the finished product are one of the determining factors for the final sulphur content of the finished product. The sulphur input of the metallurgical vertical system is about 4 kg/t of brame. In the absence of desulphurisation, this value would correspond to a sulphur content of 0.40% in steel. It has been calculated that about 90% of the revenue is taken up with sulphur in coking coal.

The cumulative sulphur yield for each charge can be determined by the expression $k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i$. In this way, only $k = 0.64 \cdot 0.05 \cdot 0.60 \cdot 0.85 = 0.016$ th of the sulphur input from coking coal is transferred to the steel, and e.g. $k = 0.60 \cdot 0.85 = 0.51$ th of the sulphur input from steel scrap. It can be determined that the sulphur yield at the vertical level is $k = 0.025$, giving a desulphurisation efficiency of 97.5%. Other calculations indicate that 57% of the S content of steel comes from coal.

The use of the principle of cumulative sulphur yields helps to determine desulphurisation centres of gravity and the sulphur content of steel more accurately.

Keywords: sulphur relations, cumulative sulphur, rapid determination, efficiency

1. Bevezetés

A kén sokoldalú és káros szerepe már évszázadok óta ismert a vaskohászatban. A kén káros hatásai elleni küzdelem a közbenső és a késztermékek kén tartalmának csökkentésével kezdődött, elsősorban a termékközeli technológiáknál. Ebben élen járt az acélglyártás, melynek eredményei és szerteágazó megállapításai a nyersvasak kén telenítésére is számottevő hatást gyakoroltak. A két technológia kén telenítési eredményeiből és megállapításaiból fejlődött ki még a múlt század közepén a kohón kívüli kén telenítés és a századforduló előtti években az üstmetallurgia. A fejlesztésekkel párhuzamosan folyó, kohón kívüli kezelések kibővültek a nyersvas deszilicizációs és foszfortalanítási műveleteivel, melyek a kén telenítéssel együtt a nyersvas előkezelése néven szerepelnek és fejlődnek tovább [1, 2].

Az acéltermékekkel szemben támasztott követelmények egyre szigorúbbakká válnak. A kereskedelmi és a csúcstechnológiai körbe tartozó termékek kén tartalma jelentős szigorodáson ment keresztül az utóbbi évtizedekben. Az adatokból látszik, hogy a kén tartalom folyamatosan csökken, napjainkban a tömegacélok nál 0,010% körül van, néhány csúcstermékben pedig már 0,002%-hoz közelít. Az utolsó években létesített üstmetallurgiai kezelőegységek használatával – egyedi esetekben – lehetővé vált a 0,002%-os kén tartalom elérése, és tartósan elérhetővé vált a <0,005%-os kén tartalom biztosítása is. A fenti adatok alapján a hazai acélglyártás lépést tudott tartani a nemzetközi átlagos színvonalal.

Az utóbbi évtizedek minőségi követelményeiben beállt növekedés kihívást jelent a magyar vaskohászat számára, melynek értelmében kérdéses lehet, hogy a jelenlegi gyártóberendezéseinkkel meg tudunk-e felelni a nemzetközileg elvárt átlagos és a speciálisan alacsony kén tartalom biztosításával szembeni követelményeknek.

A szerző a továbbiakban a hazai kohászatban egyedülálló ISD Duna ferr Zrt. egyedi termelőberendezéseivel elérhető kén telenítési hatásfokokat, illetve kén kihozatalokat vizsgálja, melyek révén a végső kén tartalom kialakul.

2. A vizsgálat célja

Mint közismert, a Duna ferr a koksizáló – nagyolvasztó – konverter gyártási útvonalon gyártja acéljait. A fenti gyártóberendezésekhez még csatlakozó vasércsugorító és üstmetallurgiai egyedi gyártóberendezé-

sekben váltakozó mértékű kén telenítés megy végbe. A kén telenítés ezek némelyikében – mint pl. a koksizálás során – spontán jellegű, nem irányított, más termelőegységekben viszont, bizonyos vezérparaméterekkel – mint pl. a bázikusság szabályozásával – több-kevesebb kén telenítést lehet elérni. Az 1. táblázatban áttekintjük a vállalat termelőegységeit, és megadjuk az ezekre jellemző átlagos kén telenítési jellemzőket is.

A kén telenítés eredményességének jellemzésére használatos két fő mutató a kén telenítés hatásfoka (η) és a kén kihozatal (k).

A kén telenítés hatásfokát közismert módon az el-távolított kén mennyiségnek a kezdeti kén tartalomhoz való viszonyával jellemezzük az alábbi képlet alapján:

$$\eta = \frac{S_0 - S_v}{S_0} \cdot 100, \quad (1)$$

ahol S_0 és S_v az acél vagy betétanyag kezdeti és vég-ső kén tartalma, általában m/m%-ban. A kén kihozatalt mint a kén telenítési hatásfok komplementerét értelmezzük az

$$\eta + k = 100 \quad (2)$$

képlet szerint. A kén kihozatal az a mutató, amely megadja, hogy a betétben vagy az acélban levő kén tartalomnak hányad része marad vissza kén telenítés után. Természetesen mindkét mutató értéke megadható %-ban és hányadokban kifejezve is.

Az egyes berendezések egyedi kén kihozatalai megfelelnek a nemzetközi értékeknek. A szembeötlő üstmetallurgiai kén kihozatal előnytelen értékének magyarázata az ún. „passzív üstmetallurgia”, melynek fő jellemzője a hőközlés hiánya, valamint az azzal járó nagymértékű hűlés, a hideg salak és a rövid kezelési idő.

A kén kihozatal fogalma általában közismert, ennek ellenére ritkán használatos mutató. Ezt most a koksizálási kén kihozatal kiszámításán keresztül vizsgáljuk meg. Köztudott, hogy az $S_z = 100$ kg, $S_{S_z} = 0,70\%$ S-tartalmú száraz szénből hozzávetőleg $K = 72$ kg, $S_k = 0,62\%$ S-tartalmú száraz koks képződik, a kén tartalom S_m maradék része pedig az egyéb melléktermékekben gyűlik fel. Ez utóbbival a továbbiakban nem foglalkozunk, mivel nem érintik az acél tisztaságát. A koksizálásra jellemző kén kihozatal értékét a kén telenítési folyamatra felírt elemi kén mérlegből vezetjük le:

$$S_z \cdot S_{S_z} = K \cdot S_k + S_m. \quad (3)$$

1. táblázat. A Duna ferr egyedi termelőberendezéseire jellemző átlagos kén kihozatalok

Technológia	Koksizálás	Vasércsugorítás	Nyersvasgyártás	LD acélglyártás	Üstmetallurgia
Kén kihozatal	0,64	0,50	0,05	0,60	0,85

Képezzük a koksza átment kén tömegének és a kiinduló szénben levő kén tömegének arányát és nevezzük ezt a mutatót a kokszolás kénkihozatalának (k_S^k)!

$$k_S^k = \frac{K \cdot S_k}{S_z \cdot S_{S_z}} = \frac{72 \cdot 0,63}{100 \cdot 0,71} \approx 0,64. \quad (4)$$

Az adott értékekkel a kokszolói kénkihozatal 64% és a kéntelenítési hatásfok értelemszerűen 36%. A fenti értelmezéssel valamennyi termelőegység kénkihozatala meghatározható. Adott esetben a kihozatal számításába be kell számítani a gázfázisba kerülő részt is.

Az egyedi termelőberendezések kéntelenítési munkáját jellegükben igen eltérő reakciók biztosítják. Közös jellemzőjük, hogy az alapanyagból eltávozó kén nem kizárólag a főtermékben marad, hanem az a melléktermékekbe is bekerül. A szén kéntartalmának közel harmada közvetlenül a gázokba és a kátrányba kerül. A vasércék zsugorításánál a szulfidkén, a zsugorítvány bázikusságától függően, mintegy 50–80%-ban oxidálódik, és ennek csak a 20–50%-a marad a termékben. A folyékony fém – salak-gáz fázisokkal dolgozó nyersvasgyártási, acélgártási és üstmetallurgiai rendszerekben a kén jelentős része megoszlás révén a célszerűen kialakított salakokban gyűlik fel. A vaskohászat termelőberendezései soros rendszerűek. Ez azt teszi lehetővé, hogy a kiválasztott elem kihozatalait, a kiindulási ponttól a befejező pontig multiplikatív módon kumulálhassuk.

3. Az acél kéntartalmának meghatározása

A késztermék kéntartalma szempontjából lényeges szerepet tölt be az alapanyagokkal bevitt kén tömege. Ebből a szempontból a brammára mint késztermékre vonatkoztatott fajlagos tömegek és a kéntartalom értéke az egyik mérvadó tényező. Az alábbiakban a Dunaferrből származó mennyiségi és minőségi átlag-

adatok segítségével mutatjuk be a kumulált kénkihozatal alkalmazhatóságát és az ebből levonható következtetéseket [3].

A táblázat adataiból megállapítható, hogy a metallurgiai vertikumi rendszer kénbevétele a bramma tömegéhez viszonyítva kb. 4 kg/t. A kéntelenítés hiányában ez az érték az acélban 0,40% kéntartalomnak felelne meg. A 2. táblázat utolsó oszlopa szerint a bevétel kb. 90%-a a szénben levő kéntartalommal kerül a vertikumba. Ismerve napjaink követelményeit, megállapíthatjuk, hogy a fenti S-tartalomnak csak 40–50-ed része maradhat vissza. A visszamaradó rész nagyságát illetően döntő tényező a különböző termelő berendezésekben végbemenő kéntelenítési reakciók hatásfokának, illetve kénkihozatalának ismerete.

Az egyes termelőegységek egyedi kéntelenítési hatásfoka a gyakorlatból ismert, vagy könnyen meghatározható. A tanulmány többek között arra hívja fel a figyelmet, hogy a kihozatalok kumulálhatók, amiből több előny is származik. Tekintve, hogy az egyes termelőegységek alapanyagai adottak, a kumulált kihozatalokat az alapanyagokra is meghatározhatjuk.

Az alábbiakban ezeket vizsgáljuk. A késztermék vagy a közbelső termékek kéntartalmának becsléséhez a bekerült, illetve felhasznált alapanyagokban levő kén tömegére és az egyes technológiák kénkihozatalára egyaránt szükség van. Az acél végső kéntartalmának becsléséhez a közbelső termékek kéntartalmára egyébként nincs szükség, mivel ezek adódó értékek. Ez a tény meglehetősen megkönnyíti az adott körülmények között érvényes kénforgalommal kapcsolatos számításokat. Az alábbi táblázatban – a széntől az üstmetallurgiai mészig haladva – a felhasználás sorrendjében tüntetjük fel a tipikus alapanyagok egyedi és a kumulált kihozatalait. A kumulált kénkihozatal a

$$k = \prod_{i=1}^n k_S^i \quad (5)$$

képlettel határozzuk meg, melybe $i = 1$ -től n -ig be-

2. táblázat. A vizsgálati modellben szereplő fajlagos tömegek és azok kéntartalma

	Alapanyag kg/t _{bramma}	S-tartalom %	Kén tömege kg/t _{bramma}	Részesedés a S-bevitelből, %
Szén	500	0,710	3,550	89
Zsugorítói tüzelőanyag	23	0,710	0,163	4
Agglóercek és mészke	700	0,020	0,140	4
Pellet	500	0,010	0,050	1
Vásárolt hulladék, ötvöző	190	0,025	0,048	1
Saját hulladék	110	0,010	0,011	0,3
Konvertermész	67	0,020	0,013	0,3
Üstmetallurgiai mész	5	0,020	0,001	0,1
Összesen			~4,000	100

3. táblázat. A tipikus alapanyagok kumulált kihozatali értékeinek számítása

Alapanyag megnevezése	A technológiák egyedi kénkihozatalai					Kumulált kihozatal $k = \Pi k_i$
	Kokszolás	Vasérc-zsugorítás	Nyersvas-gyártás	Acélgyártás	Üstmetallurgia	
Szén	0,64	(1,0)	0,05	0,60	0,85	0,016
Zsugorítói tüzelőszer	0,64	0,5	0,05	0,60	0,85	0,008
Agglóérc és mészke	(1)	0,5	0,05	0,60	0,85	0,013
Pellet	(1)	(1)	0,05	0,60	0,85	0,026
Vásárolt hulladék	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Saját hulladék, ötvöző	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Konvertermész	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Üstmetallurgiai mész	(1)	(1)	(1)	(1)	0,85	0,850

4. táblázat. Az acél végső kén tartalmának meghatározása

	Betétben levő kén tömege, kg/t _{bramma}	Kumulált kihozatal (-)	Acélba jutó kén tömege, kgS/t _{bramma}	A végső kén tartalom forrásai, %
	m_s	k_s	[S]	[S]
Szén	3,550	0,016	0,057	57
Zsugorítói szénpor	0,163	0,008	0,001	1
Agglóérc, mészke	0,140	0,013	0,002	2
Pellet	0,050	0,026	0,001	1
Vásárolt hulladék	0,048	0,510	0,024	24
Saját hulladék, ötvöző	0,011	0,510	0,006	6
Konvertermész	0,013	0,510	0,007	7
Üstmetallurgiai mész	0,001	0,850	0,001	1
Összesen	~4,000		~0,100	100

számítjuk az összes technológia kénkihozatalát. Amennyiben a kénhordozó anyag nem az első technológiai fázistól kezdve vesz részt a metallurgiai folyamatokban, ott egy, az (1)-gyel jelölt szimbolikus szorzót alkalmazunk az első nem érintett technológiáknál. A számítások eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

A kohászati vertikum jellemző kénforgalmának ismeretében kijelenthető, hogy a rendszerbe belépő és ott különböző folyamatok révén osztódó kénáramok jellemző módon jutnak a gázfázisba, a salakokba és végül az acélba.

A 3. táblázat és az 1. ábra értelmében a kokszolásra felhasznált szénelegy kén tartalmának 1,6%-a marad az üstmetallurgiai kezelésen átesett acélban, míg pl. a jóval kisebb kén tartalmú acélhulladéknak pedig az 51%-a. Ez azt jelenti, hogy a szén kén tartalmának 98,4%-a a különböző kén telenítési folyamatok révén

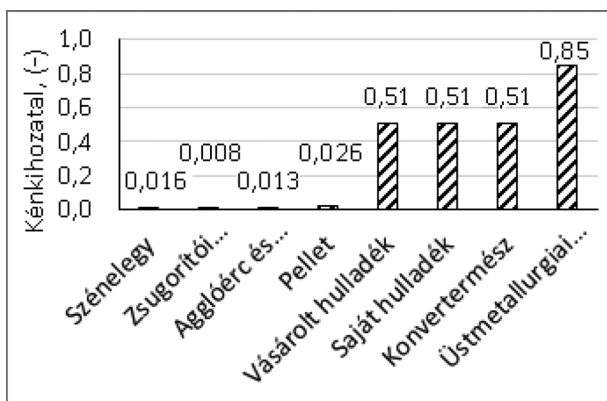
eltávozik a rendszerből, míg az acélhulladékra jutó kén telenítési fok kb. 49%.

A különbség főleg a technológiák jellegzetességének és egyedi kén telenítőképességének köszönhető, de megfigyelhető a technológiai távolságok hatása is. Ez utóbbi szerint minél több kén telenítési fokozaton megy át a kén, annál kevesebb kerül belőle az acélba.

Az acél végső kén tartalmának meghatározásához a kumulált kihozatalok elvének megfelelően csak a metallurgiai rendszerbe belépő anyagokban levő kén tartalomra és a kumulált kihozatalokra van szükség. Az acél végső kén tartalmának meghatározása a 4. táblázat szerint történik.

Az acélba jutó kén tartalom fajlagos tömege a (4) képlettel számítható:

$$[S] = \sum_1^8 m_s \cdot k_s \quad \text{kgS/t}_{\text{bramma}}, \quad (6)$$



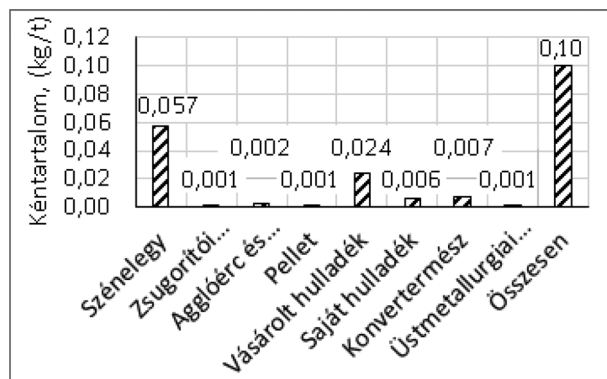
1. ábra. A vaskohászati alapanyagokban levő kén tartalom egyedi kénkihozatalai

mely szerint alapanyagoként össze kell adni az acélba jutó kén résztelegeit. A számítás szerint az üstmetallurgiai kezelésen átésett acélba összesen 0,10 kg/t fajlagos kénmennyiség kerül, melynek koncentrációs értéke $[S] = 0,010\%$. Ez az érték jól egyezik a Dunaferrben gyártott acélok kén tartalmával.

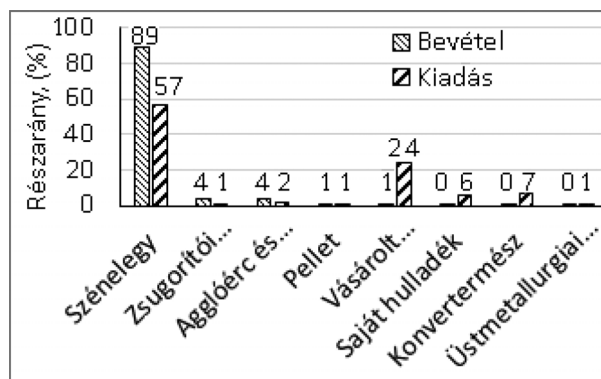
A 4. táblázat tartalmazza az acélba került kén tartalom forrásait is, mely eseteként jelentősen különbözik az alapanyagokkal bekerült kén arányaitól. Az alapanyagokban jelen levő kén tartalom 90%-a a szénben van, míg ebből csak 57% jut az acélba.

Az acél kén tartalmának kialakításában döntően a szén és a vásárolt hulladék vesz részt. Az előbbi kiemelt szerepe a jó kén telenítési viszonyok ellenére is a nagy kén tartalomnak köszönhető, a viszonylag kis kén tartalmú vásárolt hulladék pedig azért jut kiemelt szerephez, mert kis hatásfokú kén telenítési folyamatokon megy át. Feltűnő a vásárolt acélhulladékban levő kén tartalom hatása. Ennek részaránya a bevételi oldalon 1%, míg ebből az acélba S-tartalom 24%-ra adódik. Ezt mutatja a 3. ábra. A különbség a sajátos metallurgiai viszonyokból fakad.

A 4. táblázat és a 2. ábra azt mutatja, hogy az acél 0,10 kg/t kén tartalma milyen forrásokból tevődik össze.



2. ábra. Az acél kén tartalmának forrásai kg/t-ban



3. ábra. A kénbevitel és az acélba jutó rész forrásai alapanyagok szerint

A kezdeti és a végső állapotokat tanulmányozva kiderül, hogy a 4,0 kg/t kénbevitelből 0,10 kg/t kerül az acélba, a többi különböző módon a fő fázisból eltávolításra kerül. Ennek alapján a következő módon számíthatunk egy vertikumi kén telenítési hatásfokot (η_s):

$$\eta_s = \frac{4,0 - 0,10}{4,0} \cdot 100 \approx 97,5\%, \quad (7)$$

Megállapíthatjuk, hogy számításunk szerint az eredő vertikumi kénkihozatal értéke, az $\eta_s = 97,5\%$ kén telenítési hatásfok alapján $k = 0,025$, melynek értéke közel van a szén kén tartalmára megállapított 0,016-hoz.

4. A kumulált kénkihozatal és a vertikumi kénmodell jelentősége és további felhasználási lehetőségei

A kumulált kihozatalok elvének gyakorlati alkalmazási előnyei között az egyszerűséget és a könnyű alkalmazhatóságot kell kiemelni. Segítségével felállítható az egyedi termelőberendezések és a vertikumi kén mérlege. Ennek keretében világos módon, összehasonlíthatóan és könnyen ellenőrizhetően rendelkezésünkre állnak a bevételi és a kiadási oldal súlyponti tételei. Ez utóbbi előnyök főleg a kén gazdaságkodás és a vertikumi kén telenítési műveletek megtervezésénél válnak hasznossá.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy a kis kénkihozatali technológiai utakra kerülő alapanyagok kén tartalma szinte elhanyagolható, a beszerzésnél nem képezik műszaki-gazdasági vagy kereskedelmi mérlegelés tárgyát. Ilyenek az agglóérc és a pelletek. A végtechnológiához közeli, kis kén telenítési hatásfokot nyújtó felhasználói útra kerülő alapanyagok kén tartalmának ezzel szemben sokkal nagyobb hányada kerül az acélba. Ilyen anyagok tipikusan az acélhulladékok és a salakképzők. Egyértelmű tehát, hogy 1 kg szénnel, érccel vagy acélhulladékkal bekerült kén más-más kén tartalom-növekedést okoz az acélban.

Sajnálatos módon ezzel a komplex vertikumi eszközzel még nem él a gyakorlat. A szén-, az érc- és a hulladékbeszerzés külön kezekben összpontosul, és az egyedi termelőberendezések üzemeltetői már adott betétviszonyokkal találkozhatnak. A vertikumban folyó kéntelenítési folyamatok tervezését és értékelését a világ legtöbb üzemében egyedi üzemi szinten értékelik.

A kéntelenítési folyamatok megtervezését – beleértve a beszerzéssel bekerült kén mennyiségének szabályozását is – célszerű vertikumi szinten szabályozni. Önmagában pl. egy kokszolómű sohasem vagy csak a világtendenciák követése okán csökkentené a beszerzési prioritásai módosításával a koksz kéntartalmát, de az már csak egy központi vertikumi koordináció révén derülne ki, hogy egy adott vertikum részeként milyen S-tartalmú kokszot célszerű gyártania. Egy vertikumban a kéntelenítés súlyponti berendezései egybeesnek a legnagyobb kéntelenítési hatásfokot adó technológiák helyeivel. Ez az oka annak pl., hogy egy frissítést végző acélgyártásnál, a kéntelenítés csak másodlagos szempont, míg a nagyolvasztó a kéntelenítés egyik fő eszköze.

5. A vertikumi kénmodell felhasználási lehetőségei

Az 1., 2. és a 4. táblázat adatai egyértelműen feltárják az acél kéntartalma és a szén minősége közötti szoros kapcsolatot. Ebből fakadóan az acél és a közbenső termékek kéntartalma csökkentésének legegyszerűbb módja a vertikumba kerülő alapanyagok kéntartalmának csökkentése. Az összefüggés egyébként már évtizedek óta ismert. Egy korai üzemi mondat szerint a kéntelenítés legegyszerűbb módja az, ha a kén meg sem vásárolják. Ennek ismeretében döntött még az 1980-as években úgy a Dunaferri jogelődjeinek műszaki vezetősége, hogy a szénelegy jelentős részét képező donyecki szeneket a jóval kisebb S-tartalmú cseh és lengyel szenekre cseréli le. Ennek eredményeképpen, az 1,5%-os S-tartalmú szenekről a 0,67%-os S-tartalmúakra áttérve a koksz S-tartalma 1,3%-ról kb. 0,65%-ra csökkent, amivel párhuzamosan a nyersvas S-tartalma a 0,035% körüli értékről kb. 0,018%-ra csökkent.

Egy vertikumban a szénelegy kéntartalmával történő kéntartalom-szabályzás eseteként nagy mennyiségű kénbevitel csökkentésre ad lehetőségét, de megvannak a korlátjai is. Mindenekelőtt a szénbeszerzés ki van téve a kereslet-kínálat áringadozásainak és az ideiglenes készlethiányoknak, melyek miatt a szénbeszerzésben a szénminőség kérdése gyakran a második helyre szorul. Mindezeket túl az ad hoc jellegű szénbeszerzésben megfigyelhető a gyengébb minőségű szenek váratlan, dinamikus kénnövelő és a vertikumi termelőberendezéseken továbbgyűrűző hatása is. A hatások tompítására jól használható a nagyolvasztói vagy a kohón kívüli kéntelenítés. Végül a

szén- és kokszbeszerzés szabályozó hatásairól meg kell jegyezni, hogy finomszabályzásra nem használható. Fő feladatának a tartósan alacsony kéntartalom biztosítását kell tekinteni.

A nyersvasgyártás a metallurgiai eszközökkel végzett kéntelenítés fő bázisát képezi. A nagyolvasztóban a kén eltávolítása kompromisszumos módon történik, melynek lényege, hogy a kis kéntartalom nagy salakmennyiséggel és az azzal járó nagyobb fajlagos kokszfogyasztással érhető el, melyek egymásnak ellentmondó követelményeket takarnak. Az acél minőségével szemben támasztott követelmények és a gazdaságosság kényszerítő körülményei a nyersvasgyártókat is fokozott követelmények elé állítják. Ennek következtében a salakmennyiség az utóbbi 40 évben kb. 600-ról 300 kg/t-ra csökkent, az iparilag fejlett országokban pedig már 200 kg/t alatt van, ami egyértelműen a kéntelenítési hatásfok csökkenését is jelzi. A csökkenő salakmennyiség kéntelenítési hatásfokot rontó hatása még mindig a nyersvasgyártásnál maradván könnyen ellensúlyozható a kénmegoszlási állandó értékének növelésével. A pl. $L = 25$ -ös kénmegoszlási tényezővel és 600 kg/t salakmennyiséggel dolgozó nagyolvasztó kéntelenítő hatása 300 kg fajlagos salakmennyiséggel is ugyanakkora marad, ha a kénmegoszlási állandó értékét $L = 50$ -re, 200 kg/t salakmennyiség esetén pedig $L' = 75$ -re növelik. Ez a javulás a bázikusság növelésével érhető el, amely a salak mennyiségét és az ahhoz tartozó fűtőkoksz mennyiségét csak kismértékben növeli.

Az imént idézett salakmennyiség-megoszlási állandó (L_m) paraméterpár szisztematikus változtatása sokáig a nagyolvasztók jól kihasználható stratégiai eszköze volt a kénviszonyok kezelése területén.

A csökkenő salakmennyiség kompenzálására célszerűen használható az L kénmegoszlási állandó növelése, de csak egy bizonyos határig, mintegy $L = 80$ – 100 értékig, mivel ezen az értéken túl a bázikusság növelésére a salakok viszkozitása már rohamosan nőne. Ezen elvi határérték elérésekor a nagyolvasztók üzemeltetői kénytelenek voltak újabb kéntelenítési stratégiai megoldásokat keresni. Ennek és más megfontolásoknak a következtében az igen kis salakmennyiséggel dolgozó nagyolvasztók áttértek a kemencén kívüli kéntelenítésre. Ennek több oka van: elsődlegesen az, hogy számos üzemben a nyersvasgyártás rövid távú termelési prioritásában nem a kéntartalom, hanem a termelékenység növelése és a termelési költségek csökkentése a fő cél. Főleg az ilyen esetekre jellemző, hogy az üzemek kialakították a kemencén kívüli kéntelenítést, később pedig a komplex deszilizáló-kéntelenítő-foszfortalanító berendezéseket is. Ennek hatására nőtt a termelékenység, és csökkent a kokszfogyasztás, valamint a betét S-tartalma.

A nyersvasgyártás rugalmas üzemi adottságai a kokszolónál sokkal jobb feltételeket biztosítanak a nyersvas kéntartalmának alsó és felső határok közötti szabályozására, illetve egy bizonyos időszakra a szokottnál jóval alacsonyabb értéken való tartására. Ennek időtartama néhány hét lehet, mely alatt legyártható az a nyersvasmennyiség, mely egy kis kéntartalmú rendelés acélműi legyártásához szükséges.

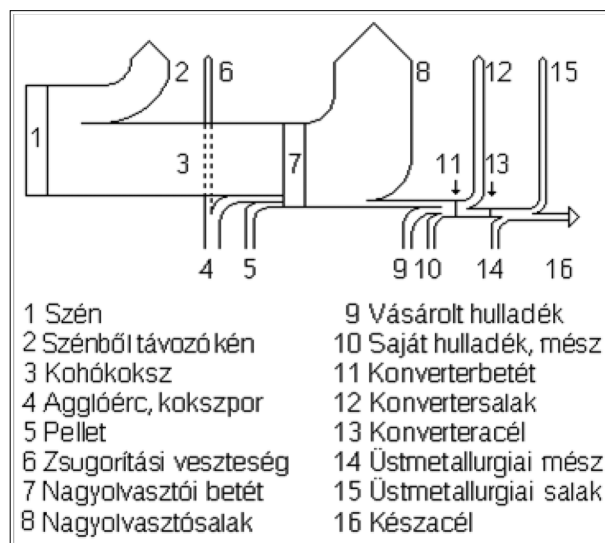
Meg kell jegyezni, hogy a gyártandó acélok minőségére vonatkozó kénelőírások egy vertikumban változhatnak. Az általános előírásoknak megfelelő közepes kéntartalmú acélok előállítását megvalósító kénvezetésre a nyersvas kéntartalmának szabályozását és adott szintre való optimális beállítását használják. Ezeknek a műveleteknek a tervezésében általában nem szánunk súlyozottabb szerepet pl. a konverteres acélműnek, de természetesen figyelembe veszik a spontán kéntelenítési hatásfokát. A szokottnál kisebb kéntartalmú és időlegesen jelentkező acéladagok kezelésére általában a szekunder üstmetallurgiai berendezéseket használják. Az eddigi fejtegetések alapján egyértelmű, hogy a vaskohászati vertikum mindegyik anyagbelépési pontján lehetőség van a vertikum kénbevitelének a változtatására, viszont nem mindegyik ponton van lehetőség a kénkihozatal operatív megváltoztatására. A fentiek tükrében fontos annak ismerete, hogy egy vertikumnak melyek a teljesítési határai.

Az utóbbi időkben vertikum életében egyre nagyobb szerepet játszik a CO₂-kibocsátás. Egyértelmű, hogy a fajlagos kokszfogyasztás csökkentése együtt jár a CO₂-emisszió csökkentésével.

6. A kénmérleg és a kumulált kénkihozatal kapcsolata

A korábbi fejezetek alapján nem lehet kérdéses, hogy szoros összefüggés áll fenn a vertikum bármely kénárama és a kénmérleg egyes tételei között. Ennek a felismerésnek a birtokában könnyen meghatározható bármely termelőegység kénárama, megszerkeszthető a kénmérlege, illetve megrajzolható a Sankey-diagramja.

Egy tetszőlegesen kiválasztott anyagáram, pl. a nyersvas kéntartalmának meghatározása az 5. táblázat



4. ábra. A vertikum kénmérlegének Sankey-diagramja

zatban feltüntetett módon történik. Ennek általános képlete [4]:

$$m_{S\delta} = \prod_{i=1}^n m_{S_i} k_{\delta_i}, \quad (8)$$

ahol $m_{S\delta}$ a vizsgált anyagáramba kerülő kén összes tömege, m_{S_i} az i -edik alapanyaggal bevitt kén tömege ($\text{kg}/t_{\text{bramma}}$), k_{δ_i} az adott alapanyag technológiai útján érvényes összesített kénkihozatal. Amennyiben egy veszteségtételt vizsgálunk, az oda bekerült kénáram a következő:

$$m_{S\delta} = \prod_{i=1}^n m_{S_i} k_{i-1} (1 - k_i). \quad (9)$$

Amennyiben veszteségtételt számítunk, az 5. táblázat 2. oszlopában a 0,05-ös értékű tényezőt 0,95-re cseréljük. A nyersvasba kerülő kén tömegáramának számítása konkrétan az 5. táblázat szerint követhető nyomon.

Mivel a kénbevitel akkumulációját a nyersvasgyártási fázisig végeztük el, a nyersvas kéntartalmát úgy kapjuk meg, ha a vizsgált kén tömeget a fajlagos nyersvas tömegére (jelen esetben 810–820 kg/t bramára) vonatkoztatjuk.

$$[S] = \frac{S_{\text{kum}}}{N_y} \cdot 100 = \frac{0,122 \cdot 100}{750} = 0,016\%.$$

5. táblázat. A nyersvas kéntartalmának meghatározása az 1, 2. és 3. táblázat adataival

	Kén tömege, $\text{kg}/t_{\text{bramma}}$	Részlegesen kumulált k	$m_i \cdot k_{\delta_i}$, $\text{kg}/t_{\text{bramma}}$
Szén	3,550	$0,64 \cdot (1) \cdot 0,05 = 0,032$	$3,550 \cdot 0,032 = 0,1136$
Zsugorító tüzelőanyag	0,163	$0,64 \cdot 0,5 \cdot 0,05 = 0,016$	$0,163 \cdot 0,016 = 0,0026$
Agglóérc és mészkő	0,140	$(1) \cdot 0,5 \cdot 0,05 = 0,025$	$0,140 \cdot 0,025 = 0,0035$
Pellet	0,050	$(1) \cdot (1) \cdot 0,05 = 0,050$	$0,050 \cdot 0,005 = 0,0025$
Összesen	–	–	0,1222

6. táblázat. A 2. táblázatban alapul vett paraméterek lehetséges megváltoztatásának hatásai

Intézkedés megnevezése	m. e.	Eredeti paraméter	Megváltozott paraméter	Acél S-tartalma, (%)
Eredeti elegy	–	–	–	0,0100
Fajlagos szénfelhasználás csökkentése	kg/t	500	450	0,0094
Kisebb kén tartalmú szén beszerzése	%	0,71	0,61	0,0091
Nagyolvasztói <i>L</i> növelése	–	60	70	0,0091
Vásárolt hulladék cseréje belső hulladéokra	%	0,025	0,010	0,0085
Üstmetallurgiai kénkihozatal javítása	–	0,85	0,75	0,0075
Az öt paraméter együtt	–	–	–	0,0066

A szükséges tételek kiszámításával meghatározható az egész vertikumra vonatkozó Sankey-diagram is. Ez utóbbit mutatja a 4. ábra.

7. A paraméterek változtatásával elérhető legkisebb kén tartalom meghatározása

Ebben a fejezetben a Dunaferr viszonyai között esetlegesen megvalósítható paramétereknek az acél kén tartalmára való hatásait fogjuk vizsgálni. Az alábbiakban a 2. táblázat néhány kiválasztott paramétere lehetséges megváltoztatásának az acél kén tartalmára kifejtett hatását vizsgáljuk annak feltételezésével, hogy a többi paraméter értéke állandó. Ez a feltételezés bizonyos módszertani kritikára adhat okot, mivel a módosított paraméterek általában másodlagos hatásokat generálnak, melyeket már itt nem követünk tovább. A megváltozott paramétereket és a kén tartalomra kifejtett hatásait a 6. táblázat mutatja.

Az első paraméterváltoztatás 50 kg/ t_{ac} szénelegy csökkentést mutat, mely megfelel 48 kg kokszt/ t_{nyv} fajlagos kokszfogyasztás csökkenésnek. Ez a hatás pl. szénhidrogén befűvéssel érhető el, mely lényegesen nem változtatja az elegyviszonyokat. Ennek hatására az acél S-tartalma 0,0094%-ra csökkenne. Egy másik beavatkozás, a szénelegy S-tartalmának 0,61%-ra való csökkenését mutatja mely az acél S-tartalmát 0,0091%-ra csökkentené.

A nagyolvasztóban uralkodó kénmegoszlási állandónak 60-ról 70-re való növelése az acél kén tartalmát 0,010%-ról 0,0091%-ra csökkentené. A számítások szerint egy ideiglenes hatályú intézkedés révén, azaz a vásárolt hulladék teljes mennyiségét kis kén tartalmú belső hulladéokra cserélve, 0,0085% kén tartalmú

acélt kapnánk. Érdemleges hatással járna az üstmetallurgiai kezeléssel megvalósuló kénkihozatal javítása is. Ezek szerint, ha a 0,85-ös kénkihozatalt 0,75-re javítanánk, az acél kén tartalma 0,0075%-ra csökkenne. Amennyiben a hat fenti hatást együtt sikerülne megvalósítani, akkor az acél S-tartalma 0,0066%-ra csökkenne.

Mind a jelenlegi berendezések kéntelenítő kapacitása, mind a hat elvi intézkedés azt mutatja, hogy a passzív üstmetallurgiai kezelőállomással rendelkező metallurgiai vertikum szélső esetben ki tudja elégíteni a kb. 0,005% kén tartalomig terjedő jelenlegi és a közeljövőben várható műszaki előírásokat. Tekintve, hogy a világ acélgártásában már gyakoriak a 0,001–0,002 S-tartalmú speciális acélok, és a tömegacélok kén tartalmában is további csökkenés várható, elengedhetetlennek látszik a nagyolvasztók után megvalósítandó, valamilyen kohón kívüli kéntelenítő berendezés vagy az aktív üstmetallurgia vákuumozással kombinált változtatának a telepítése [5].

IRODALOM

- [1] Seshadri S. (ed., 2014): Treatise on Process Metallurgy, Vol. 3: Industrial Processes. Elsevier.
- [2] Kitamura, Shin-ya (2014): Treatise on Process Metallurgy. Chapt. 1.3, Hot Metal Pretreatment, pp. 177–221. DOI: 10.1016/B978-0-08-096988-6.00015-8
- [3] Szerző nélkül. Dunaferr Műszaki osztály 2000–2001. Szóbeli közlések.
- [4] Hári L. (2021): Nyersvasgyártás példatár. Magánkiadás. Dunaújváros, p. 26.
- [5] Frank N., et al. (2017): Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. Ironmaking & Steelmaking, 44/5.

Hatalmas élmény különböző gondolkodású emberekkel egy csapatban dolgozni

*Interjú prof. dr. Szűcs Péterrel, akit 2022 májusában
választottak az MTA levelező tagjává*

**It's a great experience to work in a team with people
with different mindsets**

*Interview with Prof. Dr. Péter Szűcs, who was elected a corresponding
member of the Hungarian Academy of Sciences in May 2022*



Professzor dr. Szűcs Péterrel, a Miskolci Egyetem rektorhelyettesével abból az alkalomból készített szerkesztőségünk interjút, hogy 2022 májusában megválasztották a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává. Beszélgetésünkben három témakört érintettünk:

- 1. Mi áll a magyarországi hidrológusok nemzetközi elismertségének hátterében?*
- 2. Mi teszi szükségessé a kutatási együttműködést ezen a szakterületen, s hogyan alakul a kooperáció kultúrája?*
- 3. Harmadik témakörünkben a vízkészletekről, azok sérülékenységéről váltottunk szót.*

Our editors conducted an interview with Prof. Dr. Péter Szűcs, the Vice-Rector of the University of Miskolc, on the occasion of his election as a corresponding member of the Hungarian Academy of Sciences in May 2022. In our conversation, we covered three topics:

- 1. What is behind the international recognition of Hungarian hydrologists?*
- 2. What makes research collaboration in this area necessary and how is the culture of collaboration developing?*
- 3. In our third topic, we talked about water resources and their vulnerability.*

BKL: Ön az akadémiai székfoglalójában úgy fogalmazott: Magyarországon a hidrológia több lépéssel van a világ ilyen területtel foglalkozó ágazatai előtt. Mire lehet alapozni ezt a megállapítást? Technikáról, tudásmennyiségről, modellezésről van szó? Tehát, mi adja ezt az előnyt?

SZP: Arra alapoztam ezt a mondatot, hogy a hazai vízrajzi adatok, hidrológiai adatok gyűjtése a világ országai között az egyik legkorábban elkezdődött tevékenység volt Magyarországon vagy a Kárpát-medence belsejében még a Habsburg monarchia idején. Számos vízrajzi mérce, megfigyelőhely került kialakításra, és azért vagyunk jó néhány nemzet előtt, mert a vízkészleteinket illetően nagyon sok olyan mérés található, amelyekből többszáz éves adatsoraink vannak. Amikor arról beszélünk, hogy milyen trendek várhatók a következő évtizedekben, mire kell készülni a szélsőséges időjárási viszonyok vagy a klímaváltozás kapcsán, akkor mi nem csupán egy elmúlt, húszéves időszorra tudunk visszatekinteni. Megjegyzem, hogy például az afrikai kontinensen nincs elég monitoring pont, monitoring állomás, monitoring mérés, így meglehetősen nehéz viszonyítani a változásokat... Nekünk csapadékok tekintetében, a vízá-

lásokat illetően néhány kút esetében előfordul, hogy száz–százötven éves adatsorokkal rendelkezünk. Ezek egyértelműen nagyon komoly alapot adnak arra, hogy lássuk, milyen irányba történik az elmozdulás, mire kell felkészülni. Nagyon fontos erőssége a hazai vízügynek, hogy a mérések, a monitoring tekintetében jelentős alap épült ki. Ennek kapcsán azután erőteljes szellemi-szakmai potenciál alakult ki Magyarországon. Nagyon hamar kiderült, hogy a vízkészletekkel összefüggő adatokkal érdemes foglalkozni, értelmezni azokat, s belőlük sokféle összefüggést lehet feltárni. A későbbiekben aztán létrejött a VITUKI vízkutató intézet, amely önmagában egy nagyon jelentős lendületet hozott a hazai vízügyi kutatásokban.

Tehát, a magyar vízügyi szakemberek nagyon komoly elismertségnek örvendtek, és ez az 1900-as évek elejétől egyre erősödött. Az ötvenes–hatvanas, később a hetvenes–nyolcvanas években számtalan UNESCO-programban vettek részt a magyar kollégák, nagyon sok UNESCO-projekt jött Magyarországra, ezeken kurzusokat tartottak a hazai szakemberek. Tehát odafigyeltek a véleményükre, a munkájukra. Van néhány olyan terület, ahol Magyarország tudásexportra képes, ezek közé tartozik a hidrológia is. Jelenleg is léteznek olyan innovatív cégek, olyan szakemberek,

akik révén ez realizálható. Ráadásul a Kárpát-medencében olyan szélsőséges helyzeteket kell megoldanunk – a kis területünk ellenére –, amelyeknek kapcsán széles tapasztalat halmozódott fel e térségben, s ezek nagyon sok helyen hasznosíthatók, legyen szó öntözésről vagy vízkezelésről, szennyvíztisztításról, esetleg egy problémakör szimulációjáról. Ez a renomé – ez a mondjuk úgy, hogy nimbusz – valamilyen módon még most is él. Talán nem annyira erős, mint a korábbi időkben, ám az jó lenne, ha meg tudnák ragadni ezt a lehetőséget a hazai vízügy, a kutatóintézetek, az ágazat szakemberei, hogy tovább tudjuk vinni ezt a lendületet, és a világnak igenis jó példát tudjunk mutatni a vízgazdálkodás vonalán.

BKL: Az a tudományág, amellyel Ön foglalkozik, a hidrogeológiai modellezési megoldások, ezeknek az információknak, ismereteknek a felhasználását jelentik... Ön a székfoglalójában például hivatkozik Steiner Ferenc professzorra egy bizonyos matematikai megoldással, amelynek a neve: „A leggyakoribb érték módszere”. Ez a geofizika által használt, ebben a tudományos szegmensben alkalmazott módszer. És akkor Ön azt mondta, hogy ezt adaptálja a hidrogeológia körülményeire...

SZP: Az én pályafutásom abból a szempontból nem szokványos, hogy nem hidrogeológusként végeztem az egyetemen, és most ennek a tudományos régióknak a területén vagyok professzor, akadémikus. Geofizikusként kaptam diplomát. Úgy is képzeltem el az egész életemet, hogy a geofizikai tanszékről megyek majd nyugdíjba. Nyolcvannyolcban kezdtem ott dolgozni. Ez a nagy álom 1995-ig tartott, amikor volt egy Bokros-csomag. Ennek következményeként zajlott az egyetemen egy húsz százalékos létszámleépítés, és friss egyetemi doktorátussal – éppen akkor tértem haza Amerikából, ott Fulbright-ösztöndíjas voltam, s éppen rendelkeztem egy elnyert OTKA-pályázattal – tehát ezekkel a körülményekkel, gyakor-

latilag az utcán találtam magamat. Akkor nagyon nagy szerencsém volt, hogy itt, az Egyetemváros területén, egy akadémiai kutatóintézetben, amelyet Lakatos István professzor vezetett, el tudtam helyezkedni Hursán László tanár úr segítségével. Ott újra kellett „építkezni”, új területeket kellett meghódítani. Ez nyilván hozta magával, akárhova kerültem – egyébként három év múlva visszakanyarodott az utam a vizes vonalra – mindig újra kellett kezdeni, de azért, amit előtte már addig csináltam, azt próbáltam hasznosítani az adott területen. Azokat a módszereket, amiket Steiner professzorral együtt kidolgoztam, nem csupán a geofizika számára munkáltuk ki, azok a földtudományok területén jól hasznosítható geostatistikai eljárások voltak. Bátran vittem őket a hidrogeológia területére is. Nyilván ez kicsit úttörő dolog volt, mert itt ezeket a módszereket nem használták korábban, nekem pedig lehetőséget adtak arra, hogy be tudjak illeszkedni egy új környezet kutatási programjaiba. A munkáimban támaszkodtam a korábbi egyetemi eredményekre, a nyilvánvalóan nagyon fontos, megelőző időszakokból származó mérési adatokra. Hiszen például, a kollégáim jóvoltából létrejött a Bükkben – s immár harmincegy éve működik – a Lénárt László címzetes egyetemi tanár által életre hívott monitoringrendszer. Itt is vannak olyan unikális adatsorok, amelyeket érdemes fel dolgozni, értelmezni. Rendelkezésre állnak azok az országos adatsorok, amelyekről az előbb beszéltem, illetve számos olyan pályázatot generáltunk, amelyekben külföldi partnerekkel együttműködve vizsgáltunk különböző, nagyon érdekes hidrogeológiai szituációkat. Ebben a szakmában szükséges látni, hogy mi a probléma, milyen adatok vannak, hogyan lehet azt hatékonyan megoldani, lehet-e valami innovációt belevinni a történetbe? Ez a vizes szakma abból a szempontból sajátos – nekem is új volt a geofizikához vagy a geológia egyéb ágaihoz képest –, hogy ez nagyon problémavezérelt. A felmerülő

Professzor dr. Szűcs Péter a Miskolci Egyetem általános és tudományos rektorhelyettese, akit 2022. május 3-án választottak meg a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává.

Szűcs Péter 1964. június 29-én született Abaújszántón. Középszintű tanulmányait Miskolcon végezte el, 1988-ban a Miskolci Egyetemen geofizikus-mérnök szakirányon kitüntetéses bányamérnöki diplomát szerzett. 1989-ben egyetemi tanársegédi kinevezést kapott az intézmény Geofizikai Tanszékén. 1995 októberében átkerült az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumának Rezervoármechanikai Osztályára. Ebben az időszakban kutatásai középpontjában a szénhidrogén-bányászati kitermelést jelentősen csökkentő formációkárosodási folyamatok matematikai modellezése és a felszín alatti többfázisú áramlási rendszerek szimulációja állt. 1998. július 1-jétől a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéken dolgozott egyetemi docensként. Ugyanitt 2010 júliusától intézeti tanszékvezetői feladatokat is ellát, továbbá 2010. szeptember 1-i kinevezését követően egyetemi tanári beosztásban dolgozik.

Kutatási területe: hidrogeológia, modellezési eljárások, felszín alatti áramlási rendszerek komplex vizsgálata, speciális szennyeződések felszín alatti transzport folyamatai, hévíz-, ásványvíz- és gyógyvízfeltárás.

Az Akadémia levelező tagjává történt megválasztása alkalmából 2023. január 24-én „Az esőcsepptől a forrásvízig” című székfoglaló előadásában összegezte eddigi tudományos pályafutásának legfőbb eredményeit.

kérdések vagy igények határozzák meg a kutatások vagy a fejlesztések irányát. Vízigényeket kell ki-elégíteni, vízminőségi problémákat kell megoldani. Ezek az igények, amelyek több százezer, esetleg több millió ember számára fontosak egy régióban, országban – e nagy kérdések köré érdemes csoportosítani a kutatási programjainkat. Mondhatnám azt, hogy ez jó, mert rögtön jelentkezik a társadalmi hasznosága, de ugyanakkor, abból a szempontból nehezebb, hogy – mivel ezek eléggé fókuszált alkalmazott kutatási tennivalók – kevésbé látványosak, hivatkozottak tudományos szempontból. Mert alapvetően egy konkrét probléma kerül nagyító alá. Amely fontos egy-egy régió számára, és bár igyekszünk ezeket az eredményeket általánosítani, tudományometriai szempontból, ezek nem mindig a leggyakrabban hivatkozott eredmények. De szeretném hangsúlyozni, nem bánom, hogy felszín alatti vizekkel foglalkozom.

BKL: Amikor próbáltuk a mi elgondolásunk szerint rendszerezni az Ön munkásságát, több alkalommal visszaköszönt egy kifejezés. Az együttműködés fogalmáról van szó. Például amikor a határok alatti vízáadó területekről volt szó, vagy egy másik példa: imponáló volt, amikor az akadémiai székfoglalójában szinte minden kutatási tételnél megemlítette a közreműködők, így például a doktoranduszok nevét. Általánosan jellemző erre a kutatási területre az együttműködés a partnerek között?

SZP: Én szerencsésnek mondhatom magam, hogy így alakult. Amikor elindultam a kutatói pályán azt gondoltam, hogy ki kell találni magamnak, egyedül, rettentő okos dolgokat, amiket publikálok, megosztom a nagyvilággal, és milyen jó lesz. S ez nagyjából így is indult, amikor a geofizika tanszéken dolgoztam. Steiner professzor úr irányítása alatt, egyedül dolgozva értem el eredményeket, és azt hittem ez a világ legtermészetesebb dolga. Amikor váltani kellett, s új területre veztem, akkor rájöttem, hogy így az ember önmagában mennyire kevés, mennyire gyenge, és azt tanultam meg lépésről lépésre: az együttműködésben ott a segítség, ott a mások tudása, és hatalmas élmény is különböző gondolkodású emberekkel együtt, csapatban dolgozni. És én ezt nagyon is élvezem. Ennek a kultúrája nem csupán a szűkebb környezetben található meg, hanem a Miskolci Egyetem is sokat előre lépett ebben a tekintetben. A feladat az, hogy a szűk, szakmaspecifikus kutatások helyett nagy interdiszciplináris témákon dolgozzunk, karokon átívelő kutatásokkal építsünk olyan kutatói teameket, amelyekben a vízkutatók mellett megtalálhatók a gazdászok vagy a környezetjoggal, a humánegészségüggyel, szociológiával foglalkozók. Számomra ez a legnagyobb vonzerő a kutatásban, hogy olyan nagy léptékű projekteket irányíthatok, amelyeknél ez a fajta interdiszciplinaritás és a dolgok komplex kezelése kialakulhat,

sok-sok szakemberrel együttműködve. Ezekből nagyon sokat lehet tanulni, és lehet egymást erősíteni.

BKL: A Miskolci Egyetemen együtt dolgozik a balneológia területén az Egészségtudományi és a Földtudományi Kar. De egy másik példa, amelyben megjelenik fizikailag is a közös munka és az innováció: egy régi sóbánya föld alatti vizeinek kutatásánál robotot fejlesztettek ki.

SZP: Én nagyon szeretem, ha vannak érdekes területek, ahol ott található a kihívások. Ez a híres sóbánya a kárpátjai Aknaszlatinán van, az Osztrák-Magyar Monarchia egyik legjelentősebb sóbányája volt, évszázados múltra tekint vissza. A sótömböket kezdték robbantani ebben a bányában az intenzívebb kitermelés érdekében, ennek következményeként összetöredezett az egész sótömb, miközben nem figyeltek a csapadékvíz megfelelő elszállítására. A víz nyilván beindította az oldást, s komoly károk keletkeztek. Mi úgy szereztünk tudomást erről a problémáról, hogy a magyar vízügyi szakemberek 2010 tájékán, nyaranta, a Tiszában, alacsony vízállásnál kezdtek extrém magasságú sókoncentrációkat mérni. Miért lett ilyen sós a Tisza kis vízállásnál? A hatóságok közötti együttműködéseknek köszönhetően aztán kiderült, hogy honnan érkezik a szennyezés. Innentől kezdve lett a téma érdekes Magyarország számára is. Mert ha veszélyezteti a Tisza vagy a Duna vízminőségét, akkor ezzel foglalkozni kell. Volt szerencsém megnézni, államtitkári delegáció alkalmával a helyszínen is a bányát, látni azt, hogy milyen komoly a probléma. A település közepén található a sóbánya. Komoly beszakadások jelentkeztek, utcákat veszélyeztet a kialakult állapot, városrészek eltűnését okozhatja ez a környezeti probléma. Mi élére álltunk a gondok feltárásának. A hivatalok a helyszínen igazán ezzel nem akartak foglalkozni, ám egy nemzetközi, Interreg-pályázat révén felmértük, hogy mi a helyzet, és mit lehet tenni a jövőt illetően. A Miskolci Egyetem szakmai kompetenciája abszolút jelen volt, ezért lehetett vezető szerepünk ebben a programban. A bányászattal kapcsolatos ismeretekkel rendelkezésre álltak szakembereink, képesek voltunk választ adni arra, hogy milyenek a hidrogeológiai-geológiai feltételek, hogyan lehet rendbe tenni a bányát, milyen környezeti kockázatok találhatók. Akkor a Kar dékánjaként dolgoztam, s éppen ebben az időszakban kezdődött egy Unexmin nevű H2020-as pályázat, amely éppen egy ilyen elárasztott bánya térségek vizsgálatára alkalmas robot kifejlesztését fogalmazta meg feladatul. Aknaszlatináról még szó sem volt. Ezt a projektet az generálta, hogy Európa-szerre több ezer bezárt, víz alatt lévő bánya van, és látva azt, hogy az energiahordozók világgpiaci árai mennyire változnak, és amit korábban nem ítélték művelésre alkalmasnak, most ellenkezőjére fordul annak a megítélése. Számos esetben meg kellene vizsgálni, hogy

ezeket a bányákat újra lehet-e nyitni? Mivel az objektumok víz alatt vannak, ez igen bonyolult kérdés, om-lékonyak, veszélyesek a körülmények, embert küldeni a vizsgálódásra nem lehet. Ezért született az az ötlet, hogy készüljön egy olyan robot, amely elvégzi ezt a komplex feladatot. Felszerelik különböző kűtyűkkel, amelyek a vizsgálódást elvégzik, így a robot fel tudja mérni a járatokat, a falból mintákat tud venni, ércmintát tud venni, stb. S az egyetem konzorcionális vezetésével megcsináltuk. A program egy másik pályázat segítségével már arra irányult, hogy ebből eladható termék legyen, ezt is megcsináltuk. Ekkor létrejött egy olyan nemzetközi cég, amely ezt a szolgáltatást piaci alapon árulja. Ezt a robotot az aknaszlatinai bányában ki is próbáltuk. A robot merüléseket végzett, felmérte milyen oldási károsodások vannak, milyen belső állapotok uralkodnak. Névem volt, hogy egy ilyen friss fejlesztésű készülékkel az innovációs lánc végén, milyen eredményeket lehet elérni.

BKL: Az Ön tevékenységének jelentős hányadát a föld alatti vízáramlások vizsgálata jelenti...

SZP: Amikor váltanom kellett, akkor jött ez a téma, a felszín alatti vizek áramlási rendszereinek a vizsgálata, modellezése, a Steiner-féle súlyok alkalmazása a modellezési situációkban. Volt egy időszak, amikor szintén nagy nemzetközi programok keretében zajlott a munka.

Magyarországon egészen speciális helyzetben vagyunk a Kárpát-medence belsejében. Van százyolcvanöt darab felszín alatti víztestünk. Ezeknek több mint a felét határ vágja ketté. A vízkészleteinkre mi nagyon büszkék vagyunk, azt szinte közhelyszerűen mindenki ismeri, hogy a felszíni vizeink tekintetében mennyire függünk a szomszédainktól, de ez a kitétség a felszín alatti vizek tekintetében is megvan, ami egyáltalán nem köztudott. A mi ivóvizeinket, gyógyvizeinket, ásványvizeinket adó mélységi rétegek esetében is ez a határon átnyúló osztoottság jelen van, s a mi szerencsénk, hogy itt, az Európai Unióban a gazdálkodás alapja az EU vízkeretirányelve. Ez a dokumentum 2000-ben született, és kimondja, hogy a természetes vízgyűjtő alapon kell – akár a felszínen, akár a felszín alatt – a vizekkel foglalkozni. Igen fontos metodikai, módszertani dolog jött létre Európában a vízkészletek igazságos kezelését illetően, ami nyilván itt, ezen a földrészén élőknek jó, de ez egyben olyan módszer, amely egy új eljárási rend kialakítását igényelte, és ezt meg kellett tanulnunk. Nekem nagyon nagy szerencsém volt, amikor '98-ban a hidrogeológiai tanszékre kerültem, éppen 1990–2000-ben indult egy határral osztott, felszín alatti vizes projekt, és a tanszéken a kollégák annyira el voltak foglalva, hogy ideadták: „foglalkozzam én ezzel”, Lénárt László kollégámmal együtt. Jókor, jó helyen voltam, mert ez nagyon jó gyakorló terepnek bizonyult. Azután egymásra

épülően több hasonló program következett. Ezekből megtanulhattunk egy olyan szemléletmódot, olyan módszert, amelyet nem csupán Magyarországon alkalmaztunk sikerrel, hanem jó gyakorlatként lehet bátran alkalmazni a világ egyéb helyein.

BKL: Egy előadásában említette, hogy algériai és egyiptomi szakembereknek tartott kurzust e témában, és hogy tanult is tőlük...

SZP: Igen. Unesco-felkérésre utaztam el, s tartottam tanfolyamot. Megosztottuk ezeket a jó tapasztalatokat, mert a világ számos helyén igen fontos, olykor sorsdöntő kérdéssé válnak ezek a kérdések. Látjuk, hogy a konfliktusok egy része vallási vagy etnikai alapú, de a hangsúlyosabb hányada természeti erőforrások birtoklásáról szól. Ezek között a víznek óriási szerep jut. Európában e kérdéskörben kialakult egyfajta jogharmonizáció, de a világ egyéb helyein ez nincs így, jogilag nincs mire támaszkodni, még akkor sem, ha létezik a maga irányelveivel az ENSZ, léteznek javaslatok megoldásokra, de hogy ki fogadja el, ki nem, az kétséges. A jó gyakorlatok, amelyek itt Magyarországon a vízgazdálkodást illetően léteznek, példaértékűek az egyéb kontinenseken létező partnerek számára.

BKL: A téma apropóján beszéljünk egy olyan projektről, amely az Ön elmondása szerint, a „szívem csücske” programnak számít. A tokaji, pontosabban a zempléni vízkutatásokról van szó...

SZP: Én itt születtem, ebben a térségben Abaújszántón, tízéves koromtól élek Miskolcon. Ez a város a szívem közepe, itt jártam felsőtagozatos általános iskolába, középiskolába, és itt végeztem el az egyetemet. Abaújszántó elhelyezkedésében, hivatalosan a tokaji történelmi borvidék egyik legszélső települése. Engem mindig foglalkoztatott az, hogy ahol élek, ahonnan származom, a térséggel valami jót tegyünk. Láttam, ahogy elindult a borvidék fejlődése. Azt is láttam, hogy a turisztikai fejlesztésekhez, többek között nagy igény lenne vízre, termálvízre. Ez egy vulkáni hegység, közel sem számíthatunk arra, mint ami Délkelet-Magyarországon, Szeged, Szentés vagy Csongrád, esetleg Hajdúszoboszló környékén előállhat. De hogy van-e remény egyáltalán hévíz megtalálására, s egyáltalán, milyen vízkészletek állnak rendelkezésre, ez kérdéses volt. Nézegettem ezt a területet, és azt láttam, hogy lokális leírások vannak, de régiós szinten nincs, úgymond, rendbe téve. Nagyon örültem, mert egyrészt volt egy tehetséges doktoranduszom, akivel ezt a témát vizsgálhattam, illetve egy volt katonacimborám, Szerencs város volt polgármestere, Koncz Ferenc országgyűlési képviselő, aki felkért, hogy foglalkozzunk ezzel a témával. Sikerült egy olyan pályázatot elindítani, amelynek ez része lett, és sikerült felmérni, hogy ezen a

vulkáni területen mérsékelt hőmérsékletű hévízre számíthatunk. Vannak olyan törésvonalak a területen, ahol lehet a termálvízzel kalkulálni. Feltártuk a hidegvizes és a melegvizes rendszer összefüggéseit. A dolog azzal folytatódik, hogy éppen bejelentkezett egy új doktorandusz a Tokaj-Hegyaljai Egyetemen való együttműködésben. Ez a kölcsönösség abban ölt testet, hogyan lehetne vizsgálni azt, miként hatnak egymásra a talajtani, a borászati és az egyéb paraméterek, mi mit határoz meg. Nekem ez nem csupán tudományos szempontból érdekes – én itt élek, s ha ez előre viszi ezt a régiót, annak örül az ember.

BKL: Ha már a termálvívről beszélünk, egy új fejezet diskurzusunkban: az energiagazdálkodási szakemberek együtt dolgoznak a hidrogeológusokkal...

SZP: A geotermikus energia hasznosítása nagyon komplex kérdés. Mi leginkább a hévizet tudjuk mint közvetítő eszközt használni abban a tekintetben, hogy az energiát felszínre szállítsuk. Ezek az úgynevezett hidrotermális rendszerek. De mindezek mellett egyéb feltételnek is eleget kell tenni: szükségünk van például arra, hogy ezt a hévizet megtaláljuk, felhozzuk a felszínre, kivegyük a hőjét, és lehetőség szerint – a fenntarthatóságot figyelembe véve – sajtoljuk vissza. Magyarországon a hévizeinknek magas sótartalma van, elérhetik a 100–200 °C hőmérsékletet, ráadásul igen túlnyomásos rétegben helyezkednek el. Mondok egy példát: három kilométer mélyen akár előfordulhatnak ötszáz–hatszáz báros rétegnyomások. Elképesztő fizikai, természeti körülmények vannak, amelyeket meg kell zaboláznunk, amikor a geotermikus energiát hasznosítani akarjuk. És akkor még nem beszéltünk a szállításról. Miskolcon büszkék vagyunk Közép-Európa legnagyobb geotermikus hőközpontjára – hatvan megawatt kapacitással működik. De a kutak Mályiban és Kistokajban vannak, szigetelt csöveken kell bejuttatni a melegvizet... Nem beszélek a korróziós problémákról, a vízkőproblémákról. A geotermikus rendszerek elképesztően összetettek. Nagy csapatok együttműködését igénylik, ugyanakkor, ami nekünk még külön kihívás: annak ellenére, hogy viszonylag jelentősek a hévizes rétegeink, ugyanakkor ezek a rétegek nemcsak geotermikus energiát szolgáltathatnak, hanem a már jól ismert világhírű gyógyfürdőinknek is az alapját szolgáltatják. A probléma az, hogy ezek egymással úgymond konkuráló tevékenységek, hiszen majdnem ugyanazt a hévizes rendszert csapolják meg. Ezért mondjuk azt, hogy a fenntarthatóságra nagyon kell figyelni, az energetikainál, ahol a vizet a használat után próbáljuk visszajuttatni, különben ezek a rendszerek nem lesznek fenntarthatók. A gyógyászatnál, ami szintén nagyon fontos, az a probléma, hogy a gyógyvizet, amikor a medencében érintkezik a bőrünkkel olyan jellegű bakteriológiai hatások érik, hogy ott már

nem tudjuk visszajuttatni az eredeti rétegbe. A hőt még lehet használni, de azután a felszíni befogadóba megy a víz. Az energetikai hasznosításnál nincs ez, tehát legalább ott meg kellene próbálni fenntartani a nyomásviszonyokat. Egyébként azt látjuk, hogy a folyamatos termelés hatására e kutaknak a nyomásszintjei, vízszintjei fokozatosan csökkennek, ami nem jó. Mert egyre drágítja a termelést, másrészt olyan felszín alatti keresztáramlásokat indíthat be a jelenség, amely egyéb vízminőségi gondokat okozhat. Nekünk az egy jó lehetőség, hogy geotermikus energia előállításában is tudunk használni vizeket, és a balneológia területén is, ám mindkettő körültekintő tervezést, gazdálkodást igényel.

BKL: Felkeltette sokak kíváncsiságát az egyik előadásában elhangzó gondolat, amelyben helyet kapott a trícium, annak jelenléte a vizsgálatoknál. Ez egy véletlennek köszönhető, vagy az Önök – az Ön és a munkatársai – felfedezése volt?

SZP: Nem mi fedeztük fel. Az ötvenes–hatvanas években a nukleáris atomkísérletek kapcsán, a légkör tríciumtartalma sok százszorosára emelkedett. Ez ismert ténynek számított, és az is, hogy az akkor lehullott csapadék tríciumtartalma jóval magasabb volt, mint amilyen mostanában, normál körülmények között. A korábbi hidrológus szakemberek kitalálták, – ugyanis '62–'63-ban volt a legmagasabb ez a tartalom –, hogy az akkor leszívárgott vizeknél ezt a csúcsot nyomom lehet követni még akkor is, ha tudjuk, a trícium tizenkét és féléves felezési idővel lebomló radioaktív izotópja a hidrogénnek. Tehát ha megtaláljuk a legnagyobb kiugrási pontot a felszín alatt, az a '63-as év csúcsát jelenti. Ha meg tudom nézni, hogy ez a csúcs milyen sebességgel mozog lefelé, képes vagyok következtetni, milyen az utánpótlódás a felszín alatti vizek esetében.

BKL: De született egy magyar szabadalom is e témában.

SZP: A mérést több helyen elvégeztük, a szabadalom arra vonatkozott, hogy ezt a mérési eljárást a több szintről, hogyan lehet olcsón, tríciumot tartalmazó vízmintákat venni, viszonylag kis energia- és anyagi befektetéssel. Kialakítottunk egy kűtfészek módszert, ez alapján vizsgáltuk a Duna-Tisza közét, a Nyírséget. Azt, hogyan változik az úgynevezett utánpótlódás mértéke, ennek a csúcsnak az előrehaladása a szélsőséges időjárási viszonyokkal. Ne legyen kétsége senkinek se afelől, hogy ez utóbbiak csak a felszínt érintik, hatással vannak a vízkészletek felszín alatti elemeire is.

BKL: A székfoglalójában Széchenyi Istvánt idézte, vágyakról, reményekről és célokról, amelyekkel bír minden ember. Ami Önt, pontosabban a munkáját il-

leti, e fogalmak mögött található a Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratóriumnak a létrehozása, működtetése?

SZP: Az intézmény már egy éve működik. Tizenegy konzorciumi tag van benne, és a Miskolci Egyetem képviseli leginkább a felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatásokat. Ez hosszú munka eredménye, és kapcsolódik az Akadémiához. Én nagyon örülök annak, hogy valamikor 2016–2017 táján felkérést kaptam az Akadémia akkori elnökétől, hogy legyek egy hattagú irányító testület tagja, amely előkészíti és irányítja a Nemzeti Víztudományi Programot az Akadémia égisze alatt. Létezett már akkor egy program, az agykutatási, amelyet a jelenlegi akadémiai elnökünk, Freund Tamás irányított, és ennek a mintájára egy közoktatási akadémiai elnöki programot hoztak létre, valamint a víztudományi programot. Ennek a testületnek egyik tagjaként éveken keresztül dolgozhattunk azért, hogy legyen egy ilyen átfogó víztudományi program, amely kvázi írásban is megvalósult, és az Akadémia honlapján elérhető. Sokok szakembert, intézményt szólított meg ez a program. S nagyon fontos volt, hogy ne csak beszéljünk arról, mit kellene csinálni, hanem legyenek projektek. Kettő el is indult, mindkettőben részt vehetünk, az egyik a Nemzeti Kiválósági Programban a Tiszta ivóvíz projekt, a Dunából történő parti szűrésű ivóvízellátás paramétereit elemzi Budapesten, egészen a Dunától a fogyasztóig. A másik: a stratégiai fon-

tosságú kutatási területeken életre hívták a nemzeti laboratóriumoknak a szövetségét. Így Víztudományi és Vízbiztonsági névvel létrejött egy ilyen, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal által anyagilag is támogatott nemzeti laboratórium. Ennek egyik fő célkitűzése, hogy a kutatásokat hálózatossá tegye úgy, hogy a benne szereplők egymást erősítsék mind befelé mind kifelé a kapcsolataikat, és a kutatási eredményeiket láthatóvá tegyék. Ez is egy lehetőség a Miskolci Egyetem számára, magamnak, kollégáimnak. Élni kell ezzel a lehetőséggel. A megvalósítás idejéből eltelt egy év, de még van három esztendő, s ezen időszakban, nagyon feszes kutatási program szerint dolgozunk. Elsősorban a karsztos vízadók problémakörével foglalkozunk, illetve a beszélgetésünk elején már említett vízügyi monitoring-rendszerrel, azzal, hogy milyen módon, hogyan lehet továbbfejleszteni, hogyan lehet ezeket az adatokat feldolgozni. Hiszen már nálunk is erőteljesen kopogtatnak az újabbnál újabb adatelemzési módszerek, például a mesterséges intelligencia bevonása az adatelemzésekbe.

BKL: Ha most megnyitná a számítógépét: mi az a téma, ami ebben a pillanatban foglalkoztatja?

SZP: Hosszú idejű hidrológiai adatsorok... Leginkább ez van most a fókuszban. Ezekből a mért adatokból még több információ kivehető, mint ahogyan ezt eddig gondoltuk. Ezen dolgozom kollégáimmal.

Miskolc – Város Napja

ÜNNEPI KÖZGYŰLÉS

2023. május 11.



Professzor dr. Szűcs Péter szakmai pályafutása során számos szakmai elismerésben részesült. Publikációs tevékenységének elismeréseként 1997-ben, 1998-ban és 2001-ben összesen három alkalommal kapta meg az MTA Földtudományok Osztályának Szádeczky-Kardoss Elemér-díját. 2007-ben az MTA Földtudományok Osztályának megosztott MOL Tudományos Díját, míg 2008-ban a Magyar Hidrológiai Társaság Vitális Sándor-szakirodalmi nivódíját kapta meg. A Miskolci Egyetem 2013-ban Pro Universitate díjban, majd 2020-ban Signum Aureum Universitas Miskolcensis díjban részesítette. A Felszín Alatti Vizek Alapítvány 2014-ben Ezüst Pohár-díjban részesítette. Dr. Schafarzik Ferenc-émlékérmét kapott a Magyar Hidrológiai Társaságtól. A hidrogeológia és a vízgazdálkodás területén végzett, nemzetközileg is elismert szakmai, illetve tudományos tevékenysége megbecsüléseként a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje kitüntetésben részesült 2019-ben. Közéleti tevékenységének elismeréseként „Az Egyetemért – A városért” díjat vehette át 2023. május 11-én, a Város Napján. A felvétel az ünnepségen készült, balról Veres Pál Miskolc polgármestere. (Fotó: MINAP-fotó)

Az ötvenegyedik gázkitörés tanulságai, elméleti kérdései

The 51st blowout, the history, events, lessons and some theoretical issues

ID. ŐSZ ÁRPÁD

aranyokleveles olajmérnök, menedzser szakmérnök



A történelmi Magyarország területén összesen 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörés következett be. Az első Kissármáson következett be 1909. április 22-től 1911. július 30-ig, több mint 27 hónapon keresztül tartott, és napi 864 000 m³ tiszta metángáz távozott a levegőbe. Az utolsó Szadán volt 2008. június 20. és július 13-a között, és több mint 100 millió forintos kár keletkezett. A Zsana-Észak-2 kutatófúrás kitörése az 51. volt, és 1979. január 24-től február 15-ig tartott.

A Duna-Tisza közén 1924 óta folyik – kisebb-nagyobb megszakításokkal – szénhidrogén-kutatói tevékenység. A Hungarian Oil Syndicate, Ltd. két eredménytelen dunántúli (Budafapuszta és Kurd) fúrás után mélyítette le a Baja-1 kutatófúrást. A hamarosan beköszöntött nagy gazdasági világválság azonban, egy időre mindennemű kutatást visszavetett. A Duna-Tisza köze három fő szénhidrogén-kutatói időszakára közül az elsőben nem, a másodikban kis készletű, míg a harmadikban országos viszonylatban is jelentős szénhidrogén-előfordulásokat fedeztek fel. A Duna-Tisza közén, Bács-Kiskun megyében, a 70-es évek második felében folyó szénhidrogén-kutató munka során végzett geofizikai (gravitációs és szeizmikus) mérések alapján, kettős szeizmikus kiemelkedés rajzolódott ki Zsana községtől északra. Az egyik szeizmikus kiemelkedésre a Zsana-Észak-1 fúrástól délkeletre tűzték ki a Zsana-Észak-2 jelű kutatófúrást. A fúrás mélyítése 1825 m-ig zavartalanul történt, amikor a magfúrásra történő kiépítés közben gázkitörés következett be, és a kitörő gáz begyulladt. A tűz eloltásához és kitörés felszámolásához az OKGT teljes kitöréselhárítási mentőszervezetének, a társvállalatok, a közigazgatásilag illetékes szervezetek, az országos hatóságok és intézmények, valamint a karhatalmi erők segítségét is igénybe kellett venni. A megsérült és kiegészítő kiegészítők sikeres eltávolítását szovjet és magyar tűzérési katonai alakulatok önjáró ágyútarack- és harcokcsilövedékekkel hajtották végre. A tűz eloltásához a hagyományos tűzoltó-készülékeken felül két turboreaktív oltógépet (ZIL-131-alvázra szerelt MIG-15 VK-1-RD-4 sugárhajtómű) is felhasználtak. A tűz eloltását és a kitörés felszámolását követően, az utólagos munkálatok befejezése után a kutató gáztermelővé képezték ki, amely 1992-ig termelt, majd átképezték azt föld alatti gáztároló kúttá, és ez a mai napig is így funkcionál.

Ez a tanulmány az 51. gázkitörés történetét, eseményeit, tanulságait, néhány elméleti kérdését foglalja össze.

Kulcsszavak: Zsana, gázkitörés

A total of 81 oil, natural gas, carbon dioxide, thermal water and steam eruptions have occurred in the historical territory of Hungary. The first one took place at Kissármás from 22 April 1909 to 30 July 1911, lasting for more than 27 months and releasing 864 000 m³ of pure methane gas per day. The last one was in Szada from 20 June to 13 July 2008, which caused a damage of more than 100 million forints. Zsana-North-2 well was the 51st to blow out, which lasted from 24 January to 15 February 1979.

Hydrocarbon exploration activities have been carried out in the Danube-Tisza area since 1924, with some interruptions. The Hungarian Oil Syndicate, Ltd. drilled Baja-1 exploration well after two unsuccessful wells in Transdanubia (Budafapuszta and Kurd). However, the Great Depression, which soon followed, put all explorations on hold for a time. Of the three main periods of hydrocarbon explorations in the Danube-Tisza area, the first one did not discover any hydrocarbon deposits, the second one discovered small deposits, whereas the third one discovered hydrocarbon deposits of national significance. Geophysical (gravity and seismic) measurements carried out in the second half of the 1970s during hydrocarbon exploration work in the Danube-Tisza area of Bács-Kiskun County revealed a double seismic outcrop north of the village of Zsana. One of the seismic protrusions was targeted by an exploration well, Zsana-North-1, located south-east of Zsana-North-2 well. The drilling of the borehole was undisturbed until 1825 m, when a gas eruption occurred during the construction of the core drilling and the erupted gas ignited. To extinguish the fire and clean up the outbreak, the assistance of the entire OKGT outbreak response rescue team, partner companies, administrative authorities, national authorities and institutions and that of the armed forces was required. The successful removal of the damaged and burnt-out breakout

preventers was carried out by Soviet and Hungarian artillery units with self-propelled artillery shells and tank shells. In addition to conventional fire extinguishers, two turbo-reactive extinguishers (MIG-15 VK-1-RD-4 jet engine mounted on a ZIL-131 chassis) were used to extinguish the fire. After the fire had been extinguished and the outbreak eliminated, the well was trained as a gas producer after the completion of the post-fire works. It produced gas until 1992, when it was converted into an underground gas storage well and continues to function as such today.

The general experience with the clean-up of the blow-out is as follows:

- The potential risk of blowouts exists from the start of deep drilling exploration until the completion of the final well clean-up.
- When the risk is present, the occurrence of blowouts is not necessary.
- It is important to prepare for the prevention and mitigation of blowouts.
- A well-trained eruption response organisation is necessary, both in theory and practice.
- It has been shown that the gas explosion could have been prevented or avoided with more careful pre-planning and preparation, by regular breakout prevention training for the drilling rig personnel, regular blowout prevention checks of the drilling rig, better instrumentation of the drilling rig and better situational awareness and more routine behaviour of the drilling personnel on duty at the time of the hazard.

This paper summarises the history, events, lessons learned, some theoretical issues and societal reactions to the gas explosion in Zsana.

Keywords: Zsana, blowout

1. Bevezetés

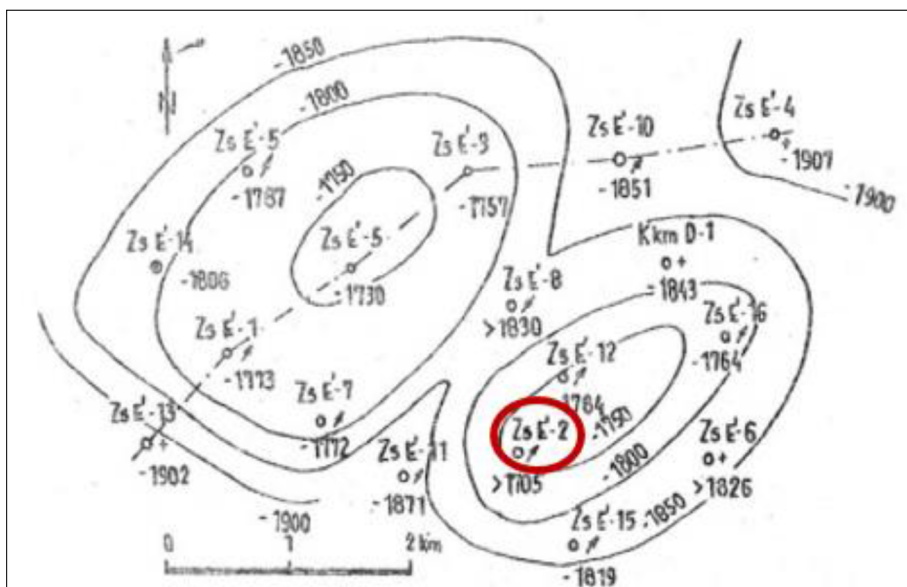
A Duna-Tisza közén a legrégebbi földtani térképezések és geofizikai mérések még nem szénhidrogén-kutatási céllal készültek, de eredményiek – amelyek a Geofizikai Intézet évi jelentéseiben találhatóak – jól felhasználhatók voltak a későbbi szénhidrogén-kutatásoknál. Ugyanígy a legrégebbi fúrások is az artézi víz feltárására mélyültek. Ezek földtani leírásai Halaváts Gyula munkáiban (1894, 1902) találhatóak meg. A területen 1924 óta folyik – kisebb-nagyobb megszakításokkal – szénhidrogén-kutatási tevékenység. A Hungarian Oil Syndicate, Ltd. két eredménytelen dunántúli (Budafapuszta és Kurd) fúrás után mélyítette le a Baja-1 kutatófúrást (1. kép). Figyelembe véve az akkori helyzetet (az előző két fúrás sikertelensége és

az akkori technikai színvonal) ehhez bizony nem kis bátorság kellett [1].

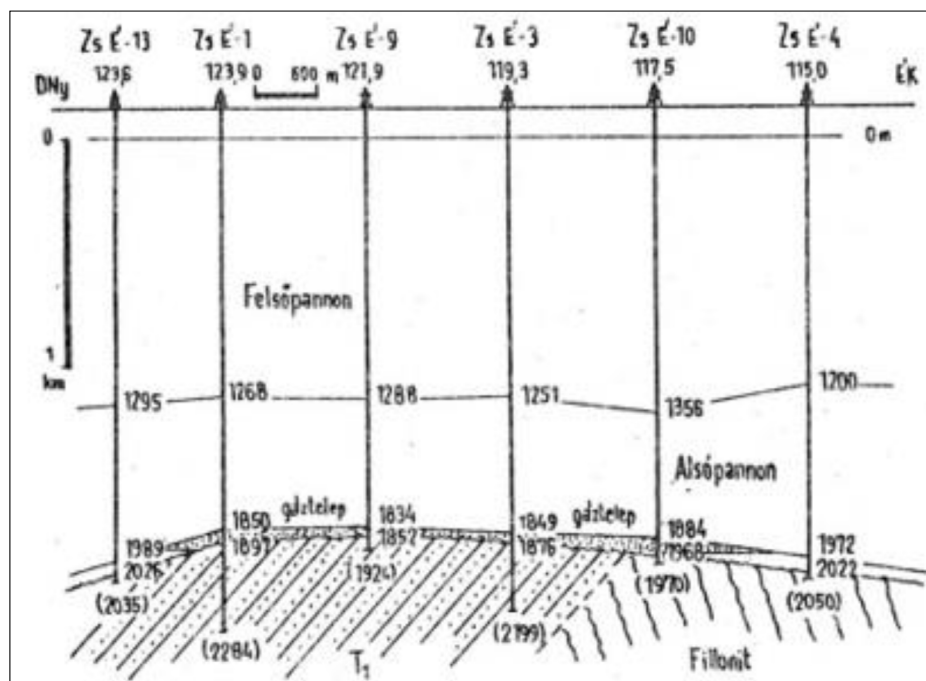
Annak ellenére, hogy a miocén korú konglomerátumban leállt fúrás szénhidrogénre meddőnek bizonyult, fontos földtani eredményeket szolgáltatott: első ízben furta át a pannóniai képződményeket, s érte el 100 m vastagságú, negyedidőszaki, 458 m felső-, illetve 135 m alsópannóniai összlet harántolása után 693 m-es mélységben annak fekvését. Az alatta települő miocén képződményeket is tekintélyes vastagságban (676 m) tárta fel, bár fekvésüket nem érte el az 1369 m-es talpig. A hamarosan beköszöntött nagy gazdasági világválság egy időre mindennemű kutatást visszavetett. A Duna-Tisza köze három fő szénhidrogén-kutatási időszaka közül az elsőben nem, a másodikban kis készletű, míg a harmadikban országos viszonylatban is jelentős szénhidrogén-előfordulásokat fedeztek fel. A Duna-Tisza közén, Bács-Kiskun megyében a 70-es évek második felében folyó szénhidrogén-kutató munka során Tázlár-Kiskunmajsa területéről délre születtek értékes kutatási eredmények. Ezek közé sorolható a Kiskunhalas-Északkelet (Kiha-ÉK) szénhidrogénmező megtalálása, továbbá a Harka és Eresztő környéki eredmények. A geofizikai (gravitációs és szeizmikus) mérések alapján kettős szeizmikus kiemelkedés rajzolódott ki az Eresztő-1 és a Kiskunmajsa-Dél-1 jelű fúrások között, Zsana községtől északra (1., 2. ábra).



1. kép. A Baja-1 szénhidrogén-kutató fúrás (1924)



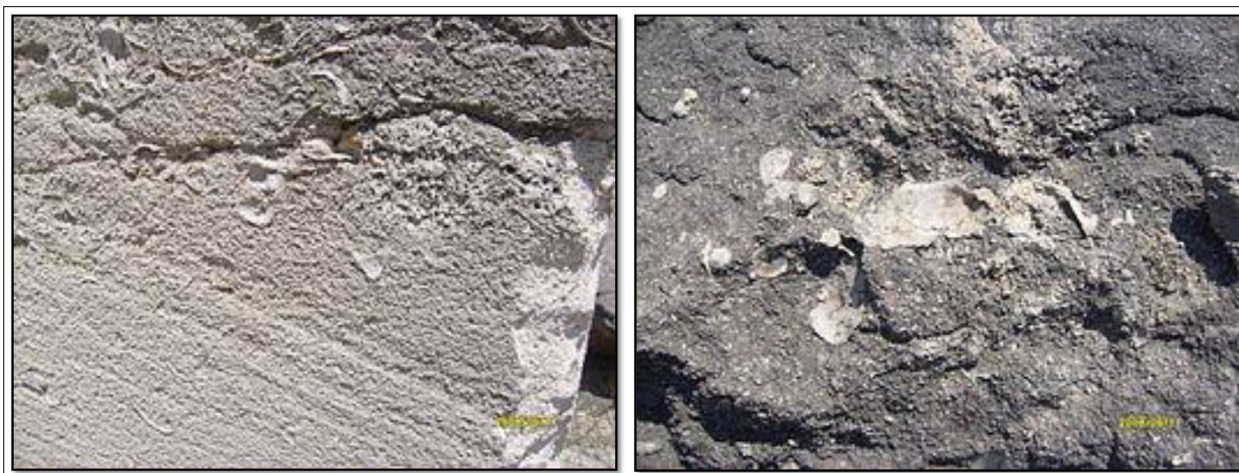
1. ábra. A Zsana-Észak szénhidrogénmező térképvázlata a neogénnél idősebb képződmények felszínének szintvonalaiival. Jelmagyarázat: o = olajnyom; o↑ = földgáztermelő; o+ = víztermelő



2. ábra. Földtani szelvény a Zsana-Észak földgáz-előforduláson át

1. táblázat. A Zsana-Észak-fúrások (kutak) fontosabb földtani adatai

Fúrás	FA	Q	L	Fp.	Ap.	Bdd.	Cr	T	Cr	Hegj.	Fúrás	FA	Q	L	Fp.	Ap.	Bdd.	Cr	T	Cr	Hegj.		
Zs E'-1	123,9	154	554	1268	1050	1897	-	(2284)		gáz	Zs E'-9	121,9	140	525	1288	1034	1852	-	(1924)		gáz		
Zs E'-2	119,8	260	530	1317	1019	(1825)				gáz	Zs E'-10	117,5		415	1356	1084	1968	-	-	(1970)		gáz	
Zs E'-9	119,3	150	400	1251	1849	1876	-	(2199)		gáz	Zs E'-11	119,6	90	360	1332	1915	1991	(2035)				gáz	
Zs E'-4	115,0	153	400	1200	1972	2022	-	(2050)		víz	Zs E'-12	118,5			1297	1061	1902	-	(1995,5)			gáz	
Zs E'-5	124,1	155	669	1215	1899	1911	-	(1925)		gáz	Zs E'-13	123,6			1295	1989	2026	-	(2035)			víz	
Zs E'-6	120,1	200	813	1387	1921	(1946)				víz	Zs E'-14	125,9			1248	1899	1932	-	(1950)			olaj	
Zs E'-7	122,4	154	435	1275	1858	1894	-	(2000)		gáz	Zs E'-15	118,2			1368	1084	1937	(2000)					gáz
Zs E'-8	121,3	100	330	1200	1065	(1951)				gáz	Zs E'-16	117,0			1392	1081	-		(2100)				gáz



2. kép. Lithothamniumos mészkő (balra), lithothamniumgumó a mészkőben (jobbra)

Az egyik szeizmikus kiemelkedésre telepített Zsana-Észak–1 jelű kutatófúrás mélyítése 1978. szeptember 9-én kezdődött, és a badeni rétegekből bőven termelő földgáztelepet talált lokális kőolajteleppel, amelynek lehatárolására és továbbfejlesztésére 1980-ig összesen 16 fúrás mélyült. Ebből 12 földgáztermelő, 3 víztermelő és 1 kőolajtermelő lett (1. táblázat) [2].

A szénhidrogénmező tárolóközete középső-miocén badeni lithothamniumos mészkő (CaCO_3), amely triász dolomittal ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) és homokkővel tartalmazó telepet alkot. (Megjegyzés: A Lithothamnium a vörösmozsátok közé tartozó mészmozsátok rendjének egy nemzetsége. Mész kiválasztó szerkezet, amely fonalakkal rögzül az aljzat kőzeteihez. Ez a mészkő a partszegélyű, illetve hullámveréses övben képződött az algagyep folyamatos növekedésével) (2. kép).

A földgáztelep gázának éghető része 87,5%, fűtőértéke $34,9 \text{ MJ/m}^3$, metántartalma (CH_4) = 82%, a szén-dioxid (CO_2) = 8,4%, a nitrogén (N_2) = 4,1%, a C_{5+} -tartalom = $39,8 \text{ g/m}^3$. A Zsana-Észak–14 kúttal feltárt szegélyi kőolajteleprész (olaj–víz–határ = OVH 1798 m tsza.) olaja paraffin-intermediertípusú, sűrűsége = $851,7 \text{ kg/m}^3$, kéntartalma (S) = 0,1%, oldottgáztartalma = $120,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$. A kezdeti földtani éghető földgázvagyon 6413,8 millió m^3 volt, 1982–1992 közötti 10 évben összesen 4270,9 millió m^3 földgázt termeltek ki, majd 1992-ben megkezdődtek a Zsana föld alatti gáztároló építési munkálatai. A tároló kezdeti kapacitása 600 millió m^3 volt, az első kitérítésre 1996 novemberében került sor. Ekkor a tároló napi kitérítési kapacitása 8 millió m^3 körül mozgott. Földtani adottságainak köszönhetően (mészraktároló) a zsanai tároló hazánk legrugalmasabb földgáztároló létesítménye. Az 1695–1780 m tengersizint alatti mélységben négy réteg vesz részt a földgáz tárolásában. A többlépcsős bővítés eredményeként 2008-ra a tároló kapacitása 1570 millió m^3 -re emelkedett 24 millió m^3/nap kitermelési és 10,2 millió m^3/nap be-

tárolási csúcskapacitással. 2008 nyarán 32 milliárd forint összértékű beruházás keretében kezdődött meg a tároló további bővítése. A 2009 őszére befejeződött bővítésnek köszönhetően a tárolókapacitás 600 millió m^3 -rel bővült. Így immár a mobilgáz-kapacitása 2170 millió m^3 , a napi kitérítési kapacitás napi 28 millió m^3 -re emelkedett. A betárolási kapacitás is jelentősen bővült, az új turbókompresszoroknak köszönhetően 17 millió m^3/nap ütemre. A szegélyi kőolajteleprész kezdeti földtani vagyona 98,1 kilotonna, amelyből a rétegvizsgálaton kívül nem termeltek ki kőolajat [3, 4].

2. A Zsana-Észak–2 jelű fúrás kitörése

A másik szeizmikus kiemelkedésre a Zsana-Észak–1 fúrástól délkeletre tűzték ki a Zsana-Észak–2 jelű kutatófúrást (1. ábra). A közepnehéz, RD–46 jelű, Kani-za 250 típusú fúróárbocos Uralmas 5D típusú szovjet dízelmotoros fúróberendezés (3. kép) 1978. december 21-én költözött a fúráspontra, és 1978. december 24-én kezdte el a fúrólyuk mélyítését.

A fúrás mélyítése 1825 m-ig zavartalanul történt, amikor a fúrási adatok és a geológiai információk elemzése alapján megállapították, hogy a tárolóréteget (lithothamniumos mészkő) a geofizikai szeizmikus mérések alapján előre jelzett értékhez képest 40 m-rel feljebb érték el, és bele is fúrtak. Ezért 7"-es bélésű oszlop beépítése vált szükségessé, hogy annak védelmében 6"-es szelvényű fúróval át a tárolóréteget. A 7"-es bélésű oszlop beépítése előtt – a bélésű palástcementezésének biztonságos elvégzése érdekében – a nyitott fúrólyuk talpára 1825 m-től 40 zsák cement felhasználásával egy cementdugót helyeztek el. Az eredetileg 1791 m-ig felért cementdugót 1810 m-ig fúrták ki a 7"-es bélésű oszlop előtt. A 7"-es bélésű oszlopot 1810 m-ig beépítették és elcimentezték. A cementezési művelet alatt teljes folyadékvesztés lépett fel, s így az 500 m mélységig



3. kép. Az RD-46 jelű fúróberendezés

tervezett cementpalásttetőt hőmérsékletmérés alapján 1460 m-ben találták.

A továbbfúrásra kiképzett lyukfejen az előírásoknak megfelelő szerelvény volt (4. kép):

- ❑ egy $9\frac{5}{8}'' \times 7'' \times 210$ bar nyomáshatárú hazai gyártású bélésű csőfej,
- ❑ egy $10'' \times 350$ bar üzemi nyomású Cameron (USA) gyártmányú „F” típusú egyes hidraulikusan működő kitorésgátló $3\frac{1}{2}''$ -es fúrócsőre záró betéttel,
- ❑ egy kétperemes közdarab, alul $10'' \times 350$ bar, fölül $8'' \times 210$ bar nyomáshatárú peremcsatlakozással,
- ❑ egy $8'' \times 210$ bar üzemi nyomású, román gyártmányú „PEOH” típusú kettős hidraulikusan működő kitorésgátló, alul $3\frac{1}{2}''$ -es fúrócsőre záró, fölül teljes szelvény zárására alkalmas záró betétekkel,
- ❑ egy, a lyukfejhez csatlakozó $3'' \times 210$ bar nyomáshatárú tolozárakból álló lefűtőrendszer, amelyhez az „F” típusú kitorésgátló mindkét oldalsó nyílásától bekötővezeték csatlakozott,

- ❑ egy, a fúrólyuk töltésére szolgáló vezetékrendszer, amely a lefűtőrendszerből indult ki.

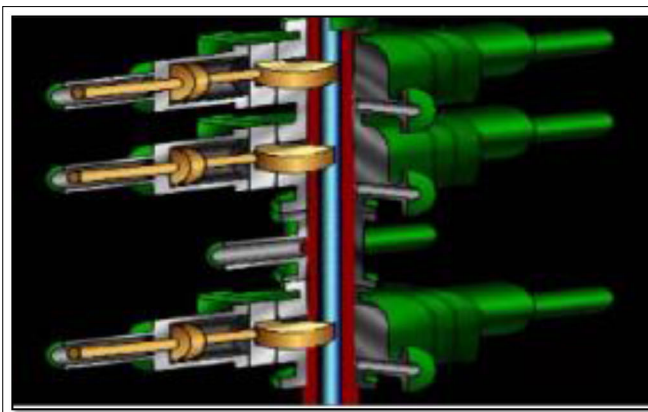
A lyukfejszerelvény és a lefűtőrendszer a továbbfúrás megindulása előtt 180 bar próbanyomással zárt.

Cementfúrásra beépítették a 6"-es teljes szelvényű görgős fúrot, öblítőfolyadékknak vizet használva kifúrták a cementdugókat az 1825 m-es eredeti talpmélységig. A fúrólyukban lévő vizet kicserélték $1,21 \text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszapra, amellyel átöblítették a fúrólyukat. A terv szerint magfúrást kellett végezni, ezért az öblítés befejezése után megkezdték a fúrószár (fúró, súlyosbító, fúrócső) kiépítését. A fúrószár kiépí-

tése közben – a fúrési mélység pontosítása céljából – ellenőrző csömérést végeztek, amely lelassította a kiépítést. A 4–5 csőszakat (egy csőszakat 3 db fúrócső vagy súlyosbító ~ 100 – 135 m hosszú) kiépítése után rendszeresen fúrólyukfeltöltést végeztek.

3. A kitorés kialakulása

Kiépítés közben 1979. január 24-én éjjel 1 órakor már csak 4 rakat (~ 120 m) $4\frac{3}{4}''$ -es súlyosbító és a 6"-es görgős fúró volt a fúrólyukban, amikor váratlan és jelentős mértékű túlfolyás mutatkozott a fúrólyukszájánál. A túlfolyás jelentkezése után néhány másodperccel az egyre fokozódó kiáramlás és gáznyomás a 12 darab súlyosbítóból álló súlyosbítóoszlopot a fúrólyukból kidobta. A fúróárbc koronacsigaszorának magasságáig (41 m) felrepülő súlyosbítók meghajoltak, és darabokra törve ráhullottak a fúróberendezés gépházára, azt összerombolták, és továbbgördültek a meghajtó fúrómotorok (hajtógépek) és az öblítőszivattyúk közé. A munkapadon dolgozó fúrési személyzet eközben saját élete védelme érdekében elmenekült



4. kép. Kitorésgátlók (balra), lefűtőrendszer (jobbra)



5. kép. Az oldalirányú lángcsóva

a munkapadról, azonban a fúróárboc kapcsolóállásában (28 m) tartózkodó munkás a helyét a fúrólyukból kiáramló függőleges gázsugár miatt már nem tudta elhagyni. A lélekjelenlétét visszanyert fúrómester úgy döntött – helyesen –, hogy a felfelé áramló gázsugarat azonnal meg kell szüntetni, ehhez azonban a román gyártmányú „PEOH” kitörésgátló teljes szelvényt elzáró betéteit be kellett csuknia. A fúrómester tudatában volt annak, hogy a fagyveszélyre való tekintettel a lefűtatórendszernek a fáklya és a tartályrendszer felé menő tolózárvai nincsenek nyitva, ezért utasítást adott munkatársainak a lefűtató vezeték tolózárvainak kinyitására. Azonban a kialakult pánikhelyzetben korábban zárta be a kitörésgátlót, mintsem a fáklyavezeték tolózárvát kinyitották volna. Így a kitörésgátló telezáró betéteinek becsukódásakor a felfelé áramló fluidum (gáz) fluidumütése leszakította a lyuktöltő vezeték részét képező tömlőt, és az így már a szabadba váló csonkon áramlott ki a gáz. Az oldalirányba kifúvó gáz azonnal elárasztotta a fúróberendezés közvetlen környezetét, és/vagy a tömlőleszakításnál keletkezett szikrától, vagy a meghajtómotorok kipufogójától begyulladt és a nagy sebességgel kiáramló gáz hatására hatalmas oldalirányú lángcsóva alakult ki (5. kép). A fúróberendezés dolgozói elmenekültek, és kapcsolóállásban lévő dolgozó is – kisebb égési sérülésekkel – a menekülőszánpóval sikeresen leereszkedett a fúróárboc kapcsolóállásából.

Ezzel bekövetkezett a történelmi Magyarország 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörései közül az 51. kitörés [5]!

4. A kitörés lehetséges okai

A kitörés lehetséges okainak vizsgálatát a Szolnoki Kerületi Bányaműszaki Felügyelőség már a kitörés-

elhárítás időszakában megkezdte. A kitörés vizsgálatának eredményeit és az elemzésének összefoglalását a Kőolaj- és Földgázbányászati Ipari Kutató Laboratórium (OGIL) szakemberei végezték el, bevonva a munkába az üzemek, vállalatok és az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt (OKGT) szakembereit is. Az összeállított tanulmány megállapításainak lényege az alábbiakban foglalható össze:

- ❑ A fúrószerszámnak – a cementdugó átfúrását követően – a fúrólyuk kondicionálása közbeni mozgatasakor kialakult pozitív nyomáshullámok olyan repesztő hatást fejtettek ki a lithothamniumos mészkőre, hogy az abban meglévő kőzetrepedések (2. kép) tovább nőttek, és folyadékelnyelés következett be.
- ❑ A folyadékelnyelés közvetlenül a fúrószár kiépítése előtt keletkezett, amikor a folyadékvesztés mértékét a még fenntartott öblítőkör következtében – a szívótartály szintjelző műszerének hiánya miatt – nem észlelték. Ugyanakkor a felrepesztett, jó áteresztőképességű és nagy gázhozamot biztosító tárolókőzetbe behatoló öblítőfolyadék helyére azzal azonos térfogatú, telepnyomású gáz lépett be, ezért az öblítőfolyadék vesztesége a felszínen nem is volt észlelhető.
- ❑ A fúrószár kiépítése során a fúrócsórákatok levétele utáni fúrószár-megemelés negatív nyomáshullám kialakulását eredményezte. Ennek hatására a tárolókőzetből telepnyomású gázdugók léptek be a lecsökkent nyomású fúrólyuk aljába. Ezek a gázdugók felfelé emelkedésük közben ugyan térfogatukat állandóan növelték, azonban az állandó öblítőfolyadék elnyelés következtében a gáz térfogatnövekedés okozta hatása a felszínen sokáig nem volt észlelhető. Eközben a fúrólyuk aljába belépett gázdugók egyre növekvő térfogata lecsökkentette a fúrólyuk öblítőfolyadék-oszlopának hidrosztatikus nyomását.
- ❑ A fúrószár kiépítése a csömérés miatt az átlagosnál hosszabb ideig tartott, ezalatt az öblítőfolyadék a negatív nyomáshullámok hatására folyamatosan átgázosodott. Ennek az átgázosodásnak és a gázdugók előresiklásának csak a kiépítés végső pillanataiban – éppen a nagy átmérőjű súlyosbítók kiépítésénél – lett a felszínen is észlelhető jele és öblítőfolyadék kilökő hatása.
- ❑ A fúrólyuk átgázosodásának elsődleges oka tehát a pozitív nyomáshullámok okozta kőzetfelrepedésben, a jó áteresztőképességű kőzetben lévő gáz nagy nyomásának, valamint a fúrószár-kiépítés munkafolyamatának negatív nyomást előidéző tulajdonságában keresendő.

- ❑ Az is igaz, hogy a csömérés miatt az átlagnál hosszabb idő alatt elvégzett fűrészar-kiépítés és a hazai fűrészi műszerezettség elmaradása közvetett tényezőként hatott az öblítőfolyadék átágazódásának fokozódására és a jelenségnek észrevétlenül maradására.
- ❑ Az adott kőzetviszonyok, a telepnyomás, a réteg felrepedése és a negatív nyomáshullámok következtében kialakult gázdugók létrehozták ugyan az előjelek nélküli gázkifúvást, azonban annak gázkitöréssé való fokozódásában egy másodlagos ok játszott szerepet. Nevezetesen, hogy a lefűtató vezeték tolózárait zárt állapotba a telezáró kitörésgátló betétek becsukásának pillanatában, amikor is a fluidumütés (gázütés) a lefűtatórendszerhez csatolt tömlő csatlakozásánál – mint a rendszer leggyengébb részénél – okozta a vezetékszakadást, illetve a gázkifúvás növekedését.
- ❑ A tűz kialakulása a gázkifúvás következménye, mivel akár a szikraképződés folytán, akár a még járó meghajtómotorok kipufogójától a robbanóképes metán–levegő keverék belobbant.

5. A kitörés felszámolása

Az eseményeknek a szolgálati és riasztási lánc útján történő bejelentését követően világossá vált, hogy a kitörés felszámolásának feladata meghaladja a Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat erejét. A kitörés felszámolásához az OKGT teljes kitörésselhárítási mentőszervezetének, a társvállalatok, a közigazgatásilag illetékes szervezetek, az országos hatóságok és intézmények, valamint a karhatalmi erők segítségét is igénybe kellett venni. A kialakult feladatok nagyságára jellemző volt, hogy a mentés műveleteinek irányítását az OKGT vezérigazgatója saját kezében tartotta, és távollétében a helyettesítésével a bányászati igazgatót



6. kép. A felfelé irányuló förláng és az oldalirányú láng

bízta meg. Mentési törzskart hoztak létre, amely es-ténként vitatta meg a kialakult helyzetet, és határozott mind a távlati feladatokról, mind pedig a soron kö-vetkező lépésekről. (Megjegyzés: A kitörésselhárítási munkákat csak napvilágnál lehet végezni).

A kialakult állapot első szemrevételezése során már látták, hogy a fűróárboc északkeleti része a tűz hatására megroggyant, ezért a fűróárboc azonnali és biztonságos ledöntését határozták el. A fűróárboc le-döntése után összességében legalább öt helyről kiin-duló, egy erőteljesen felfelé irányuló, mintegy 30 m magasságú förláng és egy közel a talaj szintjén kiáram-ló, mintegy 30–40 m-es oldalirányú láng volt a jellem-ző (6. kép).

Elsőként a lángokon kívüli, a tűz miatt még meg-közélíthető gépegységek, tartályok, bódék, szerszám-raktár, dízelmotorok, kitörésgátlót működtető egység és egyéb tárgyak eltávolítását végezték el (7. kép). A ledöntött fűróárbocot hegesztőpisztollyal elszállítható darabokra vágták és elhúzták. Ezt követően a fűróbe-rendezés roncsait távolították el a tűzből. A hatalmas lángtenger rendkívüli hőterhelést jelentett a munkát végzők számára, védelmet az alumínium-pigmentes ruházat és az állandó vízpermet nyújtott, a kitörés hangterhelése elleni védelmet a különleges fültokkal kialakított védősisak biztosította.

A fűróberendezés roncsainak eltávolításával egyi-dejűleg végezték a hűtő- és oltóvíz biztosításának ki-építését: négy kis mélységű vízkút lefűrésze, 150 m³-es fémtartály telepítése, 5000 m³-es földgödör kialakítá-sa, nyolc szivattyúállomás telepítése a 2 km távolság-ra lévő nádas tavakhoz, 9 km 150 mm-es és 4 km 130 mm-es vízvezetékcső lefektetése és fagyvédelmének biztosítása, valamint nagyteljesítményű vízszivattyú telepítése a tűzoltóegységek vízellátására. (Megjegy-zés: A kitörés felszámolása során az összes felhasznált víz mennyisége megközelítően 30 000 m³ volt). A roncsok eltávolítása során, január 27-én vált először megszemlélhetővé a kútakna és a lyukfejszerelvény,



7. kép. Fűróberendezés roncsainak eltávolítása



8. kép. Szovjet tüzérek (balra) és a 2SZ3 „Akacija” 152 mm-es önjáró ágyútarack (jobbra) Zsanán

és láthatóvá vált, hogy a béléscsőfej és a felette lévő kitörésgátlók a függőlegestől mintegy 30°-ra megdőlt helyzetben vannak. További izzó acéltárgyak eltakarítását követően a mentés irányítói megszemlélték a lyukfej környékét, és a szerteágazó lángcsóvák egy függőleges lánggá történő egyesítése érdekében, indokoltnak tartották a lezárt telezáróbetétes, román gyártmányú kitörésgátló ágyúlövéssel való eltávolítását. A szovjet tüzérségi alakulat 2SZ3 „Akacija” 152 mm-es önjáró ágyútarackkal (8. kép) a román gyártmányú kitörésgátló alatti 9⁵/₈"-es béléscsőközdarab alsó menetét egyetlen ágyúlövéssel úgy találta el, hogy a kitörésgátló a közdarabbal együtt az alsó peremből kiugrott, és a kútakna melletti betonlapra esett. Azonban nem alakult ki a várt – egyetlen, felfelé irányuló csóvából álló – tűzsugár.

Az oldalirányú láng megszüntetése érdekében elhatározták, hogy a lefűtató vezeték kitörésgátló melletti függőleges ágát eróziós csóvával levágják. A második kísérletre sikerült is levágni azt, és így kialakult a közel függőleges főláng (9. kép) mellett, attól 1,5 m távolságra egy kisméretű, de az is függőleges mellékláng. Az oldalirányú láng megszűnésével a fűrólyuk környékéről minden vastárgyat már el tudtak távolítani. Ezt követően két turboreaktív oltógéppel



9. kép. A közel függőleges lángoszlop



10. kép. A turboreaktív oltógép és tűzoltása



11. kép. Juhász „Juci” János ütegparancsnok (balra) és a kitörésgátló lelvő harcokcsi (jobbra)

(ZIL–131-alvázra szerelt MIG–15 VK-1-RD–4 sugárhajtómű) (10. kép) 7 perc alatt eloltották a lángokat, és már csak három vízágyúval nedvesítették folyamatosan a kitörő gázt.

Miután a még lyukfejen lévő alsó kitörésgátlót nem tudták teljesen kinyitni, megkísérelték azt a kitörésgátló alsó pereme köré tekert robbanóanyag-hurkával (7 kg plastik robbanóanyaggal) és 5 db páncélököllel lerobbantani. Az elvégzett két robbantás nem járt eredménnyel, azonban a művelet hatására a kitörő gáz ismételen meggyulladt. Az adott viszonyok között az amerikai gyártmányú kitörésgátlót a rögzítő csavarok megbontása révén nem lehetett eltávolítani,

így ismételen a katonasághoz fordultak. A MN8920-MN/MH Gábor Áron önjáró páncéltörő tüzérezred állományában lévő alakulat, Juhász „Juci” János hadnagy ütegparancsnok irányításával nehézgéppuska sorozatlövésekkel, továbbá harcokcsival 2 db 100 mm-es harctéri és 10 db páncéltörő gránát felhasználásával úgy lőtte le a kitörésgátlót a lyukfejről, hogy a bélésűcsőfej felső pereme nem sérült meg (11. kép).

A sikeres honvédségi műveletet követően már csak egyetlen közel függőleges gázoszlop égett a lyukfejen. A tűzoltóegységek hatalmas vízágyú megfelelő



12. kép. A bélésűcsőfej előkészítése



13. kép. A kitörésgátló beemelése és csatlakoztatása a bélésűcsőfejhez

előhűtés után összpontosított vízugarakkal február 11-én eloltották az összefüggő gázlángot, még mielőtt a két turboreaktív oltógép teljes erejű oltási működését elkezdte volna. Negyedórás intenzív utóhűtés után már csak biztonsági vízpermettel locsolták a gázugarat az újralobbanás elleni védekezésékként.

Ezt követően 1979. február 11. és 14. között végezték el azokat a munkákat, amelynek eredményeként a kitört fűrólyuk bélés-csőfeje felszerelték a fűrólyuk szabályozott lefűvátását, lezárását és egyensúlyának helyreállítását lehetővé tevő technikai rendszert. Elsőként leszerelték a $9\frac{5}{8}$ " \times 7"-es bélés-csőfejről a kettős töcsavaros peremet a fölötté lévő csonkkal együtt, amely a lelőtt kitörésgátló alsó peremének maradványa volt (12. kép). Közben előkészítették a Cameron gyártmányú (USA) „U” típusú 10" \times 350 bar nyomáshatárú kettős hidraulikus működtetésű kitörésgátlót, az alatta lévő bélés-csőfejre csatlakozó kétperemes közdarabbal. Kiepítették 4 db 50 m hosszú fáklyával ellátott lefűvató vezetéket, amelyek majd a felszerelendő kitörésgátló négy oldalsó tolózáraihoz csatlakoznak. Előkészítették a 350 bar nyomáshatárú cementező egységet és az ahhoz szükséges tolózárendszerrel. Ezek elvégzése után, az emelődaru segítségével megemelt, nyitott kitörésgátlót drótkötéllal végzett lefelé húzással ráillesztették a bélés-csőfej peremére, és az összekötő csavarokat nyomatékkulccsal meghúzták (13. kép), majd a kitörésgátlóhoz csatlakoztatták a lefűvató vezetékeket. Miután mindennel elkészültek, a mentési törzskar megvitatta a fűrólyuklezárás és a fűrólyukegyensúly helyreállításának menetét, annak veszélyforrásait és az elérhető eredményeket is. Az OKGT vezérigazgatója mint a kitörés elhárítási munkálatok vezetője megadta az engedélyt a műveletek végrehajtására.

A fűrólyuklezárás és fűrólyukegyensúly helyreállításának lépései:

- 1979. február 15-én 11 óra 33 perckor nyitott lefűvató tolózárak mellett távvezérléssel becsukták a kitörésgátló telezáró betéteit, a lyukfejen 50 bar nyomás volt,
- 11 óra 38 perckor két lefűvató vezetéket lezártak, a lyukfejen a nyomás 90 barra emelkedett,
- 11 óra 42 perckor lezárták a még két nyitott lefűvató vezetéket is, a lyukfejen 170 bar nyomás alakult ki,
- 11 óra 48 perckor 180 bar nyomással megkezdtek a víz benyomását a fűrólyukba, illetve a fűrólyukban lévő gáz visszasajtolását a rétegbe,
- 14 óra 10 perckor 100 m³ víz benyomása után a lyukfejen még 60 bar volt,
- 14 óra 10 perckor megkezdtek a 38 m³ 1,21 kg/dm³ sűrűségű öblítőfolyadék benyomását, a

lyukfejen lévő nyomás folyamatosan csökkent, majd 14 óra 28 perckor 0-ra csökkent,

- 14 óra 28 perckor a szivattyúzást leállították,
- 10 perc lyukfigyelést követően 14 óra 38 perckor még 1,5 m³ öblítőfolyadékot kellett benyomni a fűrólyuk teljes feltöltésére,
- 24 órás lyukfigyelést tartottak, a fűrólyuk teljes nyugalomban volt, azonban a kitörésgátlót még nem nyitották ki,
- a lyukfigyelés után a 200 zsák cementből készített cementtejet (1,84 kg/dm³) 38 m³ öblítőfolyadék utánnyomásával bepréselték a tárolórétegbe,
- 24 órás cementkötési szünet után kinyitották a kitörésgátlót, és ezzel befejeződött a gázkitörés teljes felszámolása 1979. február 17-én 15 órakor.

Az utólagos munkálatok befejezése után a kutat gáztermelővé kiképezték, 1992-ig termelt, majd átképezték föld alatti gáztároló kúttá, és az a mai napig is így funkcionál.

6. A gázkitörés néhány elméleti kérdése

A gázkitörésekkel szembenező és gyakran életüket is kockáztató szakembereknél sokkal szerényebb, de szükséges erőfeszítéseket tettek azok is, akik a gázkitörést mint fizikai jelenséget vizsgálták íróasztalnál vagy laboratóriumban, numerikus vagy analóg szimulációval. Az elmélet és a tapasztalat mindkét pillérén kell nyugodnia a kitörésvédelem és elhárítás módszereinek. A felhalmozott tapasztalatokat csak akkor lehet kamatoztatni igazán hatékonyan, ha nem csupán mennyiségileg, hanem minőségileg is értékelhető adatok állnak rendelkezésre. Ilyen adatokat elsősorban a gázkitörések áramlástanai és termodinamikai tanulmányozása szolgáltathat. A kitört fűrólyukra vagy kútra vonatkozóan a lehető legpontosabban meg kell határozni azok állapotát jellemző áramlási-hidraulikai paramétereket, mint például a kilépő fluidum mennyisége, minősége, a kilépő anyagáram nyomása, hőmérséklete, sebessége stb. A belobbant kitörés esetén a „lángelfűvás” optimális technológiai paraméterinek lehető legpontosabb meghatározása is fontos. Azaz, hogy milyen erővel (sebességgel), milyen mennyiséggel, milyen irányból (szögből) kell az elfűvő sugarat beszabályozni. Továbbá milyen besajtolási ütemmel, milyen anyagot kell a kilépő gáz anyagáramába beadagolni a lyuktalp vagy kúttalp körüli zónába ahhoz, hogy a kitörés mértéke csökkenjen. Nem elhanyagolható, hogy milyen erőhatásokkal kell számolni a felszínről történő egyensúly-helyreállítási műveletek során az ellenőrizhetetlenül kilépő fluidumáramot illetően. Azonban a Zsana-Észak-2 fűrás kitöréséig (1979) átfogó elméleti anyag nem állt rendelkezésre, csupán néhány rész kérdéssel foglalkoztak. Egy

1989-ben készült doktori disszertáció foglalta össze a gázkitörések áramlástanai és termodinamikai elméleti kérdéseit, valamint számítási módszereit [6, 7]. Eből – a részletes levezetések mellőzésével – érdemes kiemelni néhány gázkitöréssel kapcsolatos elméleti kérdést. A gázkitörés paramétereinek és számításainak ismeretében lehetőség nyílik arra, hogy a tűzoltás és/vagy a fűrólyukegyensúly-helyreállítás legkedvezőbb technológiája viszonylag nagy megbízhatósággal előre meghatározható legyen, lerövidítve ezzel kitöréshárítás időtartamát, ami a kitörések esetében rendkívüli költség- és kárkímélő kihatással jár.

7. Fluidumütés

Fluidumütés vagy hidraulikus sokk egy jellemzően csővezetékrendszerekben, fűrólyukokban vagy fluidumtermelő kutakban fellépő, rendkívül veszélyes áramlási jelenség. Ha a csővezetékben, a fűrólyukban vagy a termelő kútban áramló fluidum sebessége hirtelen megváltozik vagy teljesen megszűnik, egy nyomásütés keletkezik. Ez a nyomásütés jóval magasabb is lehet, mint a rendszer üzemnyomása, és leg súlyosabb esetben a cső vagy a csatlakozó csőszervevények (kútfej szerelvények, kitörésgátlók, tolózárok, szelepek, csőperemek, vezetékek, tömlők stb.) törését vagy leszakadását okozhatja. Az összenyomható fluidum (gáz) hirtelen (gyors) zárásakor a fluidum nyomásprofilja az Allievi–Zsukovszkij-egyenlet alapján számítható. Így az azonnali zárás („kemény zárás”) esetén a fluidumütés okozta maximális nyomásnövekedés mértéke:

$$\Delta p = \rho a \Delta v,$$

ahol

Δp – a nyomásnövekedés,

ρ – a gáz sűrűsége,

a – a gáz áramlási sebessége (hangsebesség),

Δv – a gáz sebességének megváltozása.

A fluidumlökés keletkezése nem kívánatos a szilárdsági-biztonsági problémák miatt, tehát a nagy sebességű gázáramlások tartományába eső vezetékeket úgy kell megtervezni, hogy azok a fluidumlökéseket elviseljék. Amennyiben erre nincs mód, akkor más műszaki megoldások alkalmazásával, például az anyagáram megosztásával (több lefűvató vezeték alkalmazása) vagy „puha zárással” kell törekedni ezen állapot elkerülésére.

8. Kiáramló gázmennyiség

A gázkitörés során kiáramló gázmennyiséget (anyagmennyiséget) szinte lehetetlen mérni, azonban ennek számítására szolgáló összefüggés a viszonylag jól mérhető anyagminőség (gázminőség) és hőmérséklet

ismeretében lehetőséget ad a számítás elvégzésére:

$$m = \delta A R \rho_0 T_0,$$

ahol

m – az áramló gáz anyagmennyisége,

δ – anyagminőségtől függő állandó,

A – az áramló gáz rendelkezésére álló felület,

R – Reynolds-szám,

ρ_0 – az áramló gáz sűrűsége,

T_0 – a lyukszájon lévő hőmérséklet.

9. Áramlás közben kialakuló nyomás

A kitörés során a fűrólyukban vagy a béléscsőben felfelé áramló gáz áramlása turbulens. Nagy sebességű áramlás esetén a súrlódási nyomásvesztés a Mach-számtól függ és nem a Reynolds-számtól. Egy Z mélységben kialakuló nyomás az alábbi egyenletből számítható:

$$p = p_0 + \rho g Z + \Delta p,$$

ahol

p – a Z mélységben kialakuló nyomás,

p_0 – a nyugalmi állapotbeli nyomás,

ρ – a gáz sűrűsége,

g – a nehézségi gyorsulás,

Z – a tetszőleges mélység,

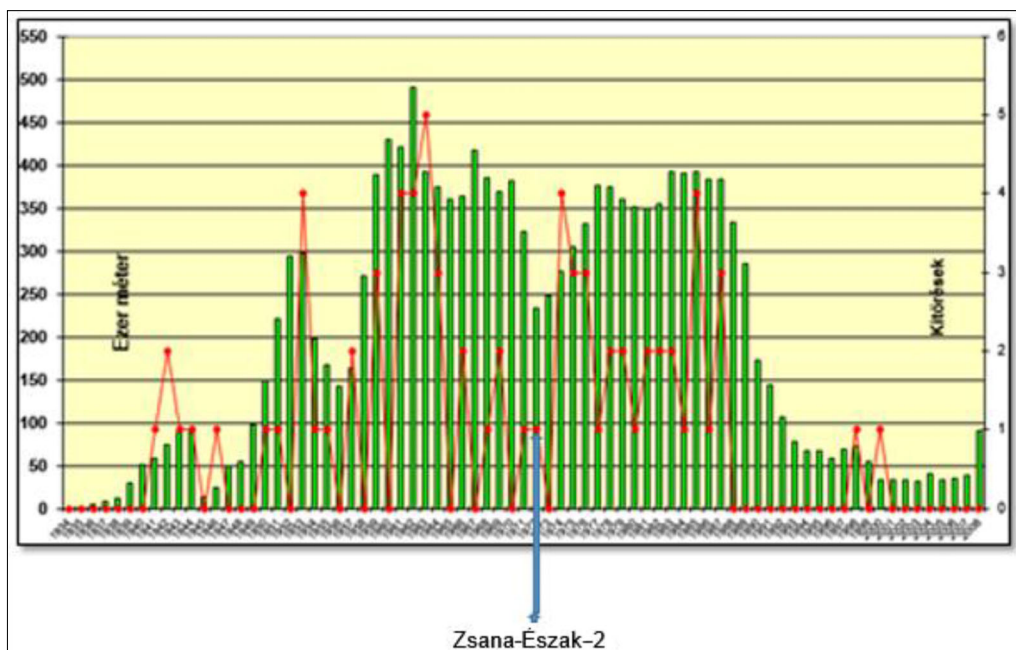
Δp – a súrlódási nyomásvesztés.

10. Felfelé áramló gáz sebessége

Amikor a gáz a fűrólyuk nagyobb mélységű szakaszában áramlik, természetesen még kevésbé expandált, a keresztmetszet-minimumokhoz a hangsebességet még nem elérő sebességmaximumok tartoznak. Minden egyes helyi sebességmaximum egyre nagyobb lesz, ahogyan a lyukfej felé halad a gázáram. Az áramlási sebesség a fűrólyuk bármely keresztmetszetében szubszonikus (hangsebesség alatti) marad, csupán a fűrólyuk szabadba kiömlő végén éri el a helyi hangsebességet, ha a környezet nyomása megfelelően alacsony. A gáz csak akkor áramolhat a fűrólyukban a hangnál nagyobb sebességgel, ha már a belépő keresztmetszetben is szuperszonikus (hangsebesség feletti) az áramlás. Nagy nyomású telepek kitörése esetén ez az állapot bekövetkezhet, azonban a szuperszonikus áramlásban a sebesség monoton csökken az áramlás irányába.

11. Gázdinamikai kritikus állapot

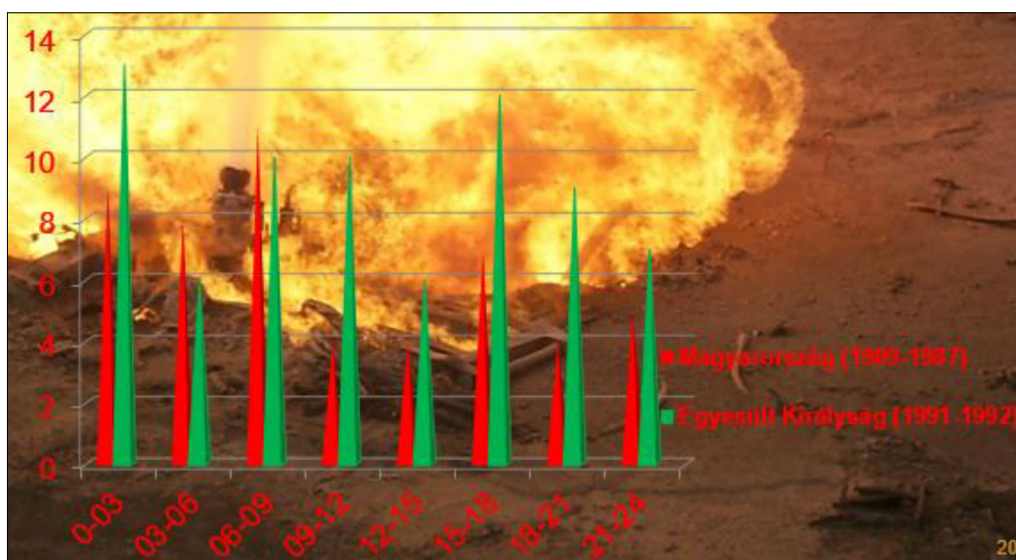
A gázdinamikai kritikus állapot azt a különleges állapotot jelenti, amikor a gáz áramlási sebessége eléri a helyi hangsebességet, azaz a Mach-szám 1 lesz. A gázdinamikában a kritikus elnevezés a hangsebesség alatti (szubszonikus) és a hangsebesség feletti (szuperszonikus) formákat választja külön. A kriti-



3. ábra. Évenkénti lefúrt méterek és kitörések száma (1935–2008). Évenkénti lefúrt méter: zöld oszlopok, ezer méter/év, balra; évenkénti kitörések száma: piros körök, jobbra

kus hangsebesség függ a fúróluk tulajdonságaitól, a nagyobb mélységű, nagyobb nyomású és magasabb hőmérsékletű tárolóból kitörő gáz kritikus sebessége is nagyobb. A kritikus állapotbeli hőmérséklet kisebb a fúróluk állapotbeli hőmérsékletnél, és erre a hőmérsékletre hűl le a lyukfejen kiömlő gáz. A lehűlés oka tehát nem a hőcsere, hanem a kritikus állapot eléréséig tartó expanzió. A nagy sebességű gázáram a lyukfejen kritikus nyomáson távozik, s ez a tárolóbeli nyomásnak (rétegnomásnak) megközelítőleg a fele is lehet. A kilépő gáz sugár kritikus sűrűsége jóval nagyobb az atmoszferikus levegő sűrűségénél, következésképpen a törésmutatója is erősen eltér a levegőjétől. Így a gáz sugár kontúrja mindig jól észlel-

hető, azaz fényképezhető (12., 13. kép), és ez a tény igen hasznos információk kiindulópontja. A gyakorlat számára igen fontos tény, hogy a hőmérséklet ismeretében meghatározható a lyukfejen kilépő gáz kritikus hangsebességértéke. Ez azért lényeges, mert a víz gázáramba történő porlasztásával a kilépési ponton a gáz sebességét csökkenteni lehet, és így a kitört fúróluk egyensúly-helyreállításának lehetőségei javulhatnak. A víz beporlasztásával ugyanis a nagy sebességű áramlásban ködszerű áramlási kép alakítható ki. A nagy sebességű gázáramban így a vízcseppecskék mint egyfajta óriás molekulák viselkednek, azaz csökken a Reynolds-szám értéke, és így végső soron a hangsebesség által keltett hullámok értéke is.



4. ábra. A kitörések megoszlása napszakok szerint

12. Általános tapasztalatok

A történelmi Magyarország területén összesen 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörés következett be. Az első Kissármáson volt 1909. április 22-től 1911. július 30-ig, több mint 27 hónapon keresztül tartott, és napi 864 000 m³ tiszta metángáz távozott a levegőbe. Az utolsó Szadán volt 2008. június 20. és július 13-a között, és több mint 100 millió forintos kár keletkezett. A Zsana-Észak-2 kutatófúrás kitörése az 51. eset volt, és 1979. január 24-től február 15-ig tartott. A kitörés felszámolása után az alábbi általános tapasztalatok mondhatók el [8, 9]:

- ❑ A kitörések potenciális veszélye a mélyfúrások kutatás kezdetétől a végleges kútfelszámolás befejezéséig fennáll.
- ❑ A veszély fennállása mellett a kitörések bekövetkezése nem törvénytörés.
- ❑ Fontos a kitörés megelőzésére és elhárítására történő felkészülés.
- ❑ Szükséges az elméletben és gyakorlatban is jól kiképzett kitöréselhárítási szervezet.
- ❑ Bebizonyosodott, hogy
 - a gondosabb előtervezéssel és előkészítéssel,
 - a fűróberendezés személyzetének rendszeres kitörésmegelőzési oktatásával,
 - a fűróberendezés rendszeres kitörésmegelőzési ellenőrzésével,
 - a fűróberendezés jobb műszerezettségével és
 - a veszély pillanatában szolgálatot teljesítő fűrási személyzet helyesebb helyzetfelismerésével és rutinosabb magatartásávalmegelőzhető vagy megakadályozható lett volna a gázkitörés.

Ha átnézzük az évenkénti lefűrt métert és a kitörések számát, azt látjuk, hogy a lefűrt méterek növekedését – egy kis csúszással – követte a kitörések számának növekedése. Ennek oka az volt, hogy a mérteljesítmény növekedését a fűróberendezések számának növelésével érték el, így az újonnan munkába állított fűróberendezések új személyzete nem volt eléggé kiképezve sem elméletben, sem pedig gyakorlatban. Sőt, ezeket a nem megfelelően kiképzett fűrási személyzeteket vitték a kutatófúrásokhoz is, ahol a kitörések potenciális veszélye nagyobb. Ez volt jellemző a Zsana-Észak-2 gázkitörésének esetére is.

Az 1970–1980-as években a folyamatosan dolgozó fűróberendezéseknél a fűrási személyzet három műszakban dolgozott: a délelőtti műszak 6 órától 14 óráig, a délutáni műszak 14 órától 22 óráig és az éjszakai műszak 22 órától 6 óráig. Ha napszakonként tekintjük át a Magyarországon bekövetkezett kitöréseket, akkor az látható, hogy a legtöbb kitörés 0 és 3 óra, 6 és 9 óra, valamint 15 és 18 óra között történt (4. ábra). Tehát a műszakváltást követő nagy lendülettel, fegyellemmel és figyelemmel megkezdett munka után néhány órával már csökkent a lendület, a fegyelem és a figyelem is. Ebben közrejátszott az éjszaka, a fokozódó fáradtság, a vacsorázás–reggelizés–ebédelés utáni ellanyhulás, elálmosodás, valamint esetenként a nem megfelelő műszakátadás is. Ez alól nem volt kivétel a Zsana-Észak-2 fűrás sem, ahol éjjel 1 órakor következett be a gázkitörés.

IRODALOM

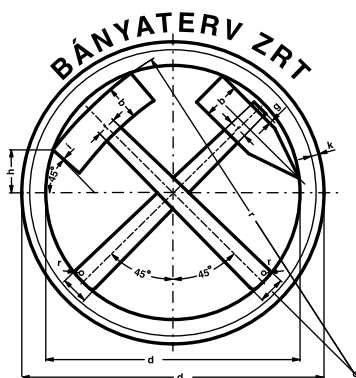
- [1] Erdélyi Á. (1988): A Duna-Tisza közti szénhidrogén-kutatások története. Földtani Kutatás, XXXI/1, Budapest.
- [2] Kőrössy L. (1992): A Duna-Tisza-köze kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. Általános Földtani Szemle, 26, 3–126., Budapest.
- [3] Babinszki Edit és mtsai (2018): Szénhidrogének Magyarországon. Eredmények, lehetőségek. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest.
- [4] Magyar Földgáztároló Zrt. (MFGT) (2023): Gáztárolók. Budapest.
- [5] Buda E. (2001): A magyarországi kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörések eseteiről (1909–2000). Nagykanizsa.
- [6] Csákos D. (1989. május): Gázkitörések áramlási és termodinamikai vizsgálata. 1. Modellezés, megfontolások. BKL Kőolaj és Földgáz 22, 122/5.
- [7] Csákos D. (1989. június): Gázkitörések áramlási és termodinamikai vizsgálata. 2. Számítási módszer. BKL Kőolaj és Földgáz 22, 122/6.
- [8] Buda E., Götz T., id. Ösz Á. (2004. szeptember-október): A magyarországi kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, gőz- és forróvíz-kitörések elhárításának története 1909–2000 között. BKL Kőolaj és Földgáz 37, 137/9–10.
- [9] id. Ösz Á., Galicz G. (2009): Száz év kitörései. Kitörésvédelmi és elhárítási konferencia, Szolnok, 2009. szeptember 8–9.



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.



Bányaterv Mérnökiroda Zrt.

- Bányászati tervezés
- Földtani szakértői,
hites bányamérői,
felelős műszaki
vezetői szolgáltatás

Cím: 1054 Budapest,
Honvéd utca 8. I. em. 2.
Telefon: +36-20-4897781
E-mail: drvigh@banyaterv.hu

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI  **metso** KÉPVISELET



3B Hungária Kft.

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

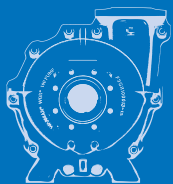


WEIR Minerals Sand Wash Plant

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



Hat vezető iparági termék.



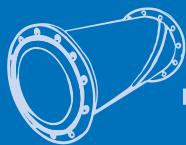
Warman®
zagszivattyúk

+



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

WEHR
Minerals

Szívóssági korlátok megismerése átmeneti hőmérsékleten

The need to know the toughness limits at transition temperature

BOCZ ANDRÁS – KISS BALÁZS – MÁRKUS DÉNES – NARANCSIK ZSOLT – VAINEL VIKTOR

Dunaferr Labor Nonprofit Kft.

A Charpy-féle ütővizsgálat 1901 óta gazdagítja ismereteinket az acélok szívós tulajdonságairól [8], a műszaki életben dolgozók vagy műszaki oktatásban résztvevők nagy valószínűséggel találkoztak már vele. A magyar nyelvű szakirodalom az ütővizsgálatnál szinte mindig megemlíti az átmeneti hőmérséklet jelenségét is, ezeket látványos „S” alakú diagramokon jelenítik meg. A példaábrák többségükben „megrajzolt” elvi görbék, tényleges mérési adatok nélkül és a megtalált irodalmi források nem tárgyalják teljes mélységben ezt a témakört.

A szívós–rideg átmenet a fémeknél és acéloknál gyakran megfigyelhető jelenség, amely a fémek törési viselkedésében a magas hőmérsékleten kialakuló képlékeny (stabil) törésről alacsony hőmérsékleten törékeny (instabil) törésre való változásának felel meg. A törési mód változása általában egy bizonyos hőmérséklet-tartományban történik, amelynek középpontjában egy adott hőmérséklet áll, amelyet szívós–rideg átmeneti hőmérsékletnek vagy az angol nyelvű irodalomban DBTT-nek (Ductile–Brittle Transition Temperature) neveznek. A magyar szakirodalomban a TTKV jelölés vált ismertté (TT: Transition Temperature, K az ütőérték V bemetszésű próbán) [1].

A különböző rácsszerkezetű fémek eltérően viselkednek. A térközepes köbös (BCC: body-centered cubic) kristályszerkezetű fémek jellemzően szívós–rideg átmenetet mutatnak, mivel nem rendelkeznek olyan egymásra épülő csúszási síkokkal, amelyek lehetővé teszik a diszlokációk könnyű vándorlását, ezért ezekben az anyagokban a diszlokációk mozgása termikus aktiválást igényel. Az alacsony hőmérsékleten drasztikusabb mechanizmusok – például kötéstörés – indulnak be az alkalmazott feszültség hatására [1].

Nukleáris szerkezeteknél, hegesztett kötéseknel, nyomástartó edényeknél fontos ismerni a szerkezetbe épített anyagok átmeneti hőmérsékletét, mert a tervezéskori méretezés az alapanyagra történik. Ezért már nagyon korán felmerült az igény az anyagok szívóssági korlátainak megismerésére [2].

Ez a cikk azért született, hogy áttekintést adjon az átmeneti hőmérsékletről és a nemzetközi szakirodalomból ismeretes modellezéséről a saját méréseink bemutatásával.

Kulcsszavak: szívóssági korlátok, átmeneti hőmérséklet

Charpy's impact test has been enriching our knowledge of the toughness properties of steels since 1901 [8], and anyone working in engineering or involved in engineering education is likely to have encountered it. In Hungarian literature, the phenomenon of transition temperatures is almost always mentioned in the impact test, and these are represented in spectacular 'S' diagrams. Most of their examples are 'plotted' theoretical curves without actual measurements and the literature sources available do not cover this subject in full depth.

The ductile-to-brittle transition is a commonly observed phenomenon in metals and steels, corresponding to the change in fracture behaviour of metals from ductile (stable) fracture at high temperatures to brittle (unstable) fracture at low temperatures. The change in fracture mode usually occurs over a range of temperatures centered on a specific temperature, known as the Ductile–Brittle Transition Temperature or DBTT in English literature. In Hungarian literature, the term TTKV (TT: Transition Temperature) has become known [1].

Different metals with different lattice structures behave differently. Metals with a body-centered cubic (BCC) crystal structure typically display ductile-to-brittle transition properties, as they do not exhibit close-packed planes that allow for easy migration of dislocations and therefore the movement of dislocations in these materials requires thermal activation. At low temperatures, more drastic mechanisms, such as bond breaking, are triggered by the applied stress [1].

For nuclear structures, welded joints and pressure vessels, it is important to know the transition temperature of the materials incorporated in the structure, because the design is scaled to the base material. Therefore, the need to know the toughness limits of materials arose very early [2].

This article has been written to give an overview of the transition temperature and its modelling in international literature by presenting our own measurements.

Keywords: toughness limits, transition temperature

1. Az átmeneti hőmérséklet és háttere

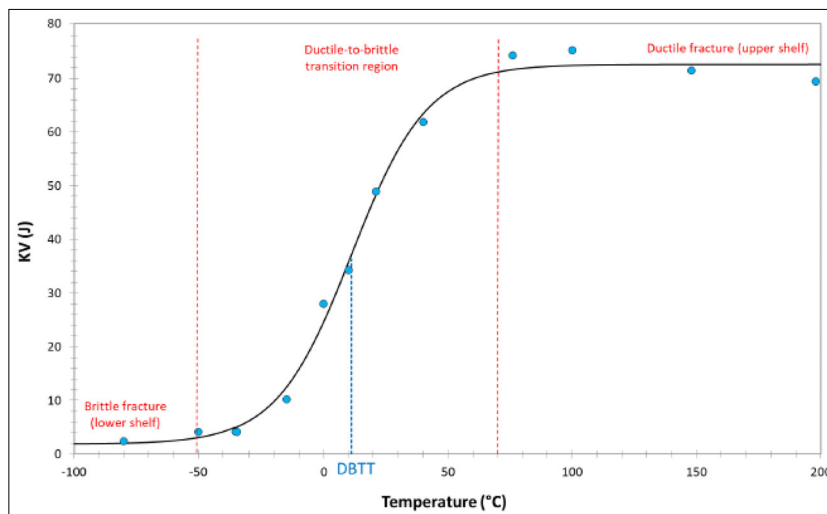
1.1. Szívós–rideg átmenet

A szívós–rideg átmenet a fémeknél és acéloknál gyakran megfigyelhető jelenség, amely a fémek törési viselkedésében a magas hőmérsékleten kialakuló képlékeny (stabil) törésről alacsony hőmérsékleten törékeny (instabil) törésre való változásának felel meg. A törési mód változása általában egy bizonyos hőmérséklet-tartományban történik, amelynek középpontjában egy adott hőmérséklet áll, amelyet szívós–rideg átmeneti hőmérsékletnek vagy az angol nyelvű irodalomban DBTT-nek neveznek. A magyar szakirodalomban egységesen a TTKV jelölés honosodott meg.

A szívós–rideg átmenet jelensége azért következik be, mert egyes fémekben a képlékeny zóna kialakulása hőmérsékletfüggő folyamat. Az 1. ábrán látható „upper shelf (US)” szívós alakváltozási hőmérsékleten elegendő hőenergia van a kristályszerkezetben ahhoz, hogy megkönnyítse a diszlokációk [12] mozgását külső feszültség hatására. Ez lehetővé teszi a plasztikus zóna kialakulását a repedés csúcán, elő-

a szívós–rideg átmenet, alacsony hőmérsékleten is megőrzik szívósságukat. A kristályszerkezetükben található csúszási síkok nagy száma alacsony hőmérsékleten is lehetővé teszi a diszlokációs mozgás létrejöttét.

- ❑ A legtöbb hexagonális rácsszerkezetű fém (HCP: hexagonal close packed crystal structure), beleértve a magnézium- és α -titanótvözeteket, szintén nem mutat átmeneti viselkedést.
- ❑ A térközepes köbös (BCC: body-centered cubic) kristályszerkezetű fémek jellemzően szívós–rideg átmenetet mutatnak, mivel nem rendelkeznek olyan egymásra épülő csúszási síkokkal, amelyek lehetővé teszik a diszlokációk könnyű vándorlását, ezért ezekben az anyagokban a diszlokációk mozgása termikus aktiválást igényel. Az alacsony hőmérsékleten drasztikusabb mechanizmusok – például kőtörés – indulnak be az alkalmazott feszültség hatására [1].

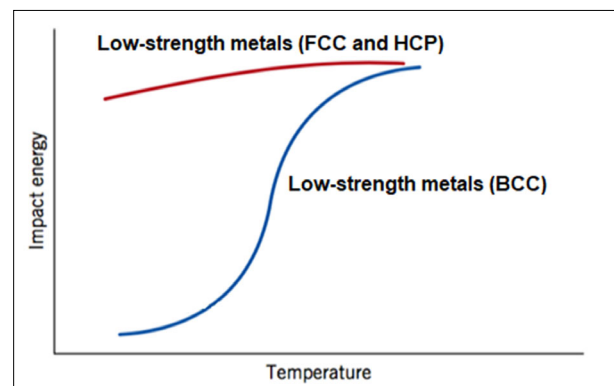


1. ábra. Kis szilárdságú acél átmeneti hőmérsékleti diagramja

segítve ezzel a repedésképződést és a képlékeny (stabil) törés terjedését. A hőmérséklet csökkenésével azonban a diszlokáció mozgását elősegítő hőenergia csökken, ami megnehezíti a képlékeny zóna kialakítását a bemetszés vagy a már meglévő repedés csúcán, lásd az ábra „lower shelf (LS)” részét. A DBTT alatt a diszlokáció mobilitása és a plasztikus zóna mérete gyorsan csökken, ami a törési szívósság jelentős csökkenését eredményezi. Miután a diszlokáció elcsúszása gyakorlatilag lehetetlen, a fém törékeny (instabil) repedésterjedés következtében eltörik [1].

A különböző rácsszerkezetű fémek eltérően viselkednek:

- ❑ A lapközepes köbös (FCC: face-centered cubic) kristályszerkezetű fémeknél nem jellemző



2. ábra. Átmeneti hőmérséklet sematikus ábrája a lapközepes FCC, hexagonális HCP és a térközepes BCC rácsszerkezetű fémeknél

Nukleáris szerkezeteknél, hegesztett kötéseknel, nyomástartó edényeknél fontos ismerni a szerkezetbe épített anyagok átmeneti hőmérsékletét, mert a tervezéskori méretezés általában a szívós állapotú alapanyagra történik. Ezért már nagyon korán felmerült az igény az anyagok szívóssági korlátainak megismerésére [2].

A szakirodalom szerint a törésmechanikai vizsgálatok drágák és időigényesek, és túl nagy próbatestméret szükséges hozzájuk, ami például a nukleáris iparágban nem kivitelezhető. A törésmechanikai szimulációkhoz a „V” bemetszésű próbatestek Charpy-féle ütővizsgálat eredményeit használják fel, a viszonylag kis próbatestmérettel jól használható a szívósság hőmérsékletfüggő változásának méréséhez.

A reaktorok üzemidejének előrehaladásával a vele egyidős, besugárzott minták száma véges. Néhány kutató extra kisméretű ütőpróbatestekkel végez kísérleteket, mások a folyáshatár és a műszerezett ütővizsgálat erő–idő adataiból próbálnak következtetéseket levonni az anyag szívóssági határára. Többen az átmeneti hőmérséklet adatait matematikailag modellezik. Ezek a modellek a kis mennyiségű mérési eredmény birtokában becslést adhatnak az anyag felhasználhatóságára.

A kisméretű, nem szabványos ütővizsgálatokkal és az anyag folyáshatárából történő becsléssel nem foglalkozunk, de a matematikai modellek közül ötöt részletesen bemutatunk.

1.2. Modellek és William Oldfield

William Oldfieldnek 1975-ben, az ASTM szabványosítási újságban jelent meg a „Curve fitting impact test data: a statistical procedure” című cikke. Oldfield véleménye szerint a szívósság az anyagnak az a képessége, hogy ellenálljon a repedés kialakulása által okozott meghibásodásnak [2]. A fémek szívóssági tulajdonságait leggyakrabban a Charpy-féle „V” ütővizsgálattal határozzák meg. Az ingás ütőgép a „V” alakú bemetszéssel gyengített hasáb alakú próbatestet eltöri. A töréshez felhasznált energia az ütőérték.

A térközepes rácsszerkezetű fémeknél – ahogy azt az 1.1. pontban tárgyaltuk – a törési munka értéke (az acél szívóssága) hőmérsékletfüggő, ezért a vizsgálatokat vagy egy adott minimum-ütőérték elérésének ellenőrzése, vagy az alapanyagra jellemző átmeneti hőmérséklet meghatározása céljából végzik el.

Az átmeneti hőmérsékleti diagram felvételét a szívós alakváltozás hőmérsékletétől elindulva, különböző hőmérsékletre hűtött, legalább 3-3 darab próbatestet eltörésével végzik, az ütőértékek átlagát a hőmérséklet függvényében ábrázolják. A diagram egy szigmoid függvény, közel szimmetrikus viselkedést mutat az induló és a megállapodó tartományban. Van egy kezdeti monoton felfutási szakasza, egy középső, változást mutató szakasza, majd egy újabb monoton szakasz következik. Ezek a szakaszok egy „S” betűre, vagy a görög kis szigma betűjelére emlékeztető grafikon képét alkotják [7].

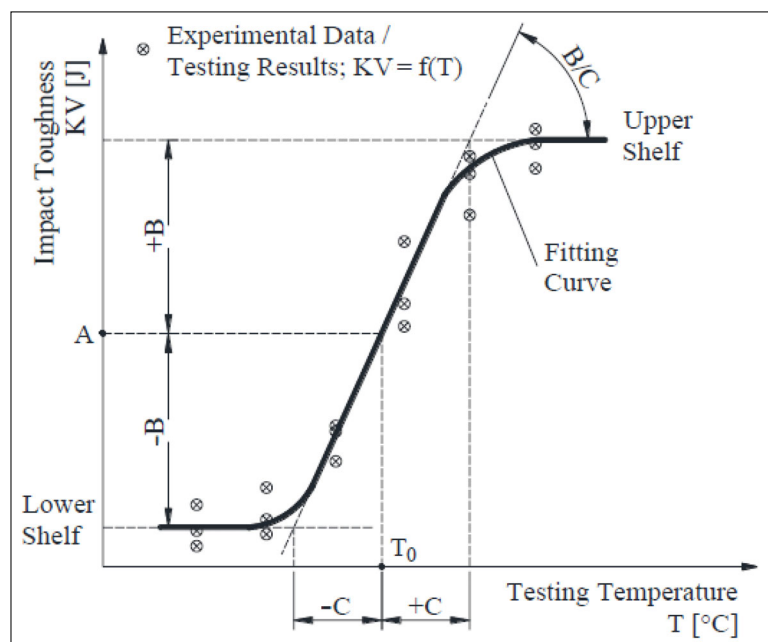
Az ütési energián kívül (KV, J) két további utólagos mérést is végezhetünk az eltört mintákon:

- **Kitüremkedés, laterális expansió (LE, mm):** a próbadarab vastagságának növekedése, amelyet a törés által kiváltott képlékeny deformáció okoz. Az expansiót a törött mintafeleken a képlékeny deformáció magasságaként kell mérni [4].
- **Szívós töret mérése (SFA: Shear Fracture Appearance, %):** a szívós töret területének aránya a teljes területhez viszonyítva. Az LS tartományban várhatóan az SFA értéke 0%, az US tartományban 100% az 1. ábra szerint.

Mindhárom mérés (KV, LE és SFA) az 1. ábrán láthatóhoz hasonló átmeneti viselkedést mutat a BCC fémeknél.

1.2.1. Szimmetrikus hiperbolikus tangens modell, HT – Symmetric [2]

Mint ahogy írtuk, az átmeneti hőmérsékleti diagram egy szigmoid függvény, jól modellezhető hiperbolikus tangens (tanh) függvénnyel vagy normál integrállal.



3. ábra. Oldfield nemlineáris regressziós modellje

Oldfield javaslata a szimmetrikus hiperbolikus tangens modell használatára:

A 3. ábrán látható diagramból az alábbi egyenlet írható fel:

$$Y = A + B \tanh\left(\frac{T - T_0}{C}\right). \quad (1)$$

Az (1) képletben Y az ütési energia/munka, T a hőmérséklet, az A , B , T_0 és C pedig regressziós eljárással meghatározott, beállítható paraméterek.

A nemlineáris regressziós görbék illesztésére számos más megoldás is létezik. Jól használható a Taylor-soros linearizációs megközelítés. Az (1) egyenletet Taylor-sorokkal kibontva az alábbi összefüggéseket kapjuk:

$$Y = A + B \tanh\left(\frac{T - T_0}{C}\right) + \frac{\partial Y}{\partial T_0} \delta T_0 + \frac{\partial Y}{\partial C} \delta C, \quad (2)$$

azaz

$$Y = A + B \tanh x \left(\frac{B}{C}\right) \delta T_0 \operatorname{sech}^2 x + \left(\frac{B}{C}\right) \delta C x \operatorname{sech}^2 x. \quad (3)$$

A sech a szekáns hiperbolikus függvény. Az $x = (T - T_0)/C$, a δT_0 és δC a T_0 és C olyan változatai, amelyek legjobban illeszkednek az adatokhoz. A regressziós lépéseket egymás után végrehajtva az (1) egyenletet kapjuk vissza.

1.2.2. Aszimmetrikus hiperbolikus tangens modell, AHT – Asymmetric [1]

A modell az előző HT modellből származik, T_0 helyett már a DBTT jelölést használja. Új elemként

tartalmazza a D paramétert, amelynek értéke meghatározza, hogy a regressziós görbe alakja mennyiben tér el az alsó és felső régiókban egymástól. Az AHT modell matematikai egyenlete:

$$Y = A + B \tanh\left(\frac{T - DBTT}{C + DT}\right), \quad (4)$$

amely az alábbi alakban is felírható:

$$Y = \frac{LS + US}{2} + \frac{US - LS}{2} \tanh\left(\frac{T - DBTT}{C + DT}\right). \quad (5)$$

A további a D paraméter a regressziós görbe aszimmetriáját számszerűsíti. Ha $D = 0$, a görbe szimmetrikussá válik, és egybeesik HT modellel. Ha $D < 0$, a görbület az alsó átmeneti tartományban nagyobb lesz, mint a felső átmeneti tartományban, és az ellenkezője történik, ha $D > 0$.

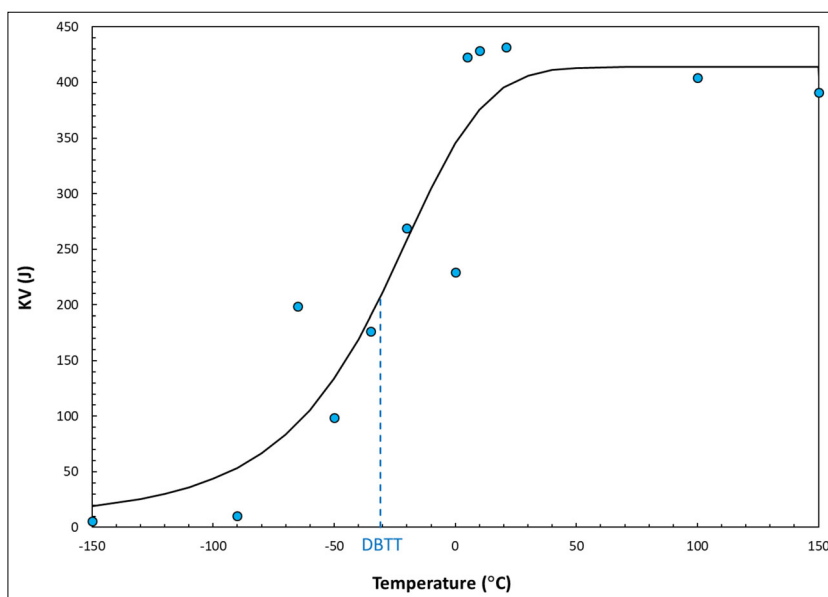
1.2.3. Aszimmetrikus BURR-modell, BUR – Asymmetric [1]

A valószínűségelméletben, a statisztikában és az ökonometriában használják a Burr-eloszlást, amely egy nemnegatív valószínűségi változó folytonos valószínűségi eloszlása.

A BUR-modellt a következő egyenlet definiálja:

$$Y = LS + (US - LS)[1 + e^{-k(T - T_0)}]^{-m}, \quad (6)$$

ahol az utolsó tagban szereplő $[1 + e^{-k(T - T_0)}]^{-m}$ a tényleges BURR-eloszlás. Az LS és az US mellett a regressziós eljárással meghatározandó paraméterek a következők:



4. ábra. Példa az AHT átmeneti görbére, ahol $D < 0$

- k – az eloszlás skálaparamétere ($k \geq 0$),
 m – az eloszlás alakparamétere ($m \geq 0$),
 T_0 (°C) – egy helyparaméter, amely meghatározza a görbe helyzetét a hőmérsékleti tengely mentén, és általában nem felel meg a DBTT-nek.

A BUR átmeneti görbére egy példa látható az 5. ábrán.

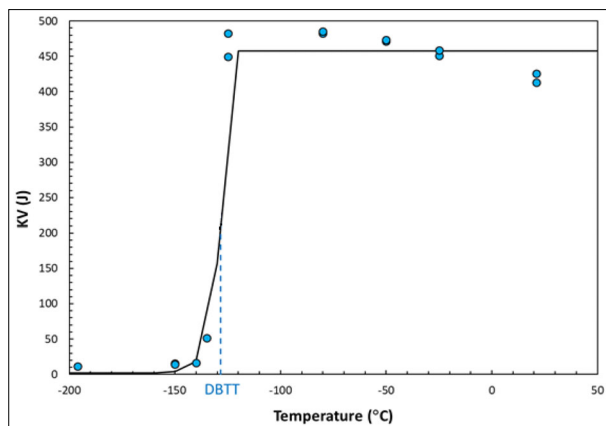
1.2.4. Arcus tangens modell, ACT – Symmetric [1]

Kohout egy viszonylag egyszerű regressziós modellt javasolt a széles körben népszerű HT modell alternatívájaként. A modell az arcus tangens trigonometrikus függvényen alapul, a következő formában:

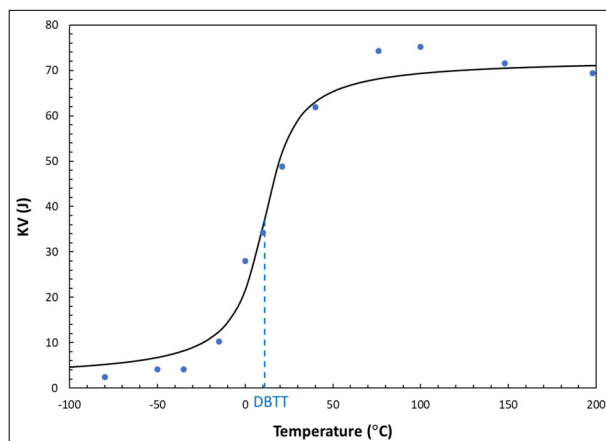
$$Y = \frac{LS + US}{2} + \frac{US - LS}{2} \arctan \left[\frac{\pi}{2C} (T - DBTT) \right], \quad (7)$$

ahol a C és a DBTT paraméterek jelentése ugyanaz, mint a HT modellnél.

A legjelentősebb különbség a HT és az ACT modellek között az, hogy az utóbbi átmeneti görbe gör-



5. ábra. Példa a BURR átmeneti görbére



6. ábra. Példa az ACT átmeneti görbére

bülete az alsó és felső átmeneti régiókban sokkal nagyobb, mint a HT modellben. Ezenkívül az alsó és a felső tartományok gyakran enyhén csökkenő/növekvő trendeket mutathatnak, amint az a 6. ábra ACT görbén látható.

1.2.5. Aszimmetrikus Kohout-modell, – Asymmetric KHT [1]

Egy másik regressziós modell, amelyet Kohout a 2012-es jelentésében javasolt, egy aszimmetrikus modell, amely a következő „kétrészes” formájú:

$$Y = LS + \left(\frac{US - LS}{1 + p} \right) \exp \left\{ \frac{1 + p}{2C} (T - T_0) \right\}, \quad T \leq T_0, \quad (8)$$

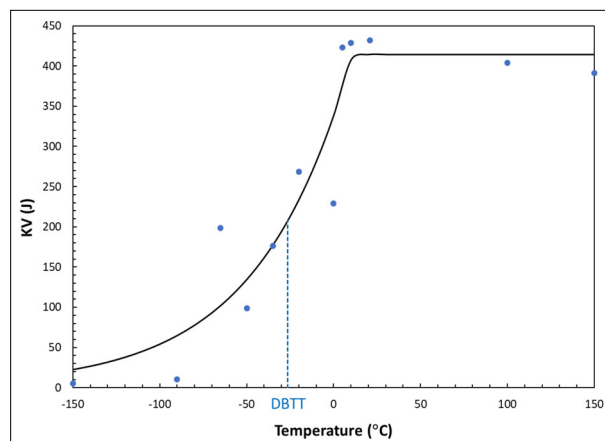
$$Y = LS - p \left(\frac{US - LS}{1 + p} \right) \exp \left\{ \frac{1 + p}{2C} (T - T_0) \right\}, \quad T > T_0. \quad (9)$$

Itt p az aszimmetria paramétere, és megfelel a regressziós görbe görbületei közötti aránynak a felső és az alsó átmeneti tartományban (ha $p > 1$, a görbület az alsó átmeneti tartományban nagyobb, mint a felső átmeneti tartományban). A BUR-modellhez hasonlóan a T_0 a görbe helyparamétere az x tengelyen, és általában nem felel meg a DBTT értékének. A C viszont ugyanazt jelenti, mint a HT, AHT és ACT modellekénél.

1.2.6. Egyéb regressziós modellek

Más irodalmi források a fentiektől eltérő regressziós modelleket használnak, ezek közül megemlítünk néhányat:

- exponenciális görbék,
- hibafüggvények,
- Boltzmann-eloszlás,
- Weibull-eloszlás,
- Avrami-egyenleten alapuló modell [1].



7. ábra. Példa az KHT átmeneti görbére

2. Mérések és modellek

2.1. NIST [1]

A National Institute of Standards and Technology (NIST) 1901-ben alakult, és jelenleg az Egyesült Államok Kereskedelmi Minisztériumának része, az USA egyik legrégebbi fizikai tudományos laboratóriuma. Elsősorban méréssel, mérési technológiák kidolgozásával és szabványosítással foglalkozik. Egyik programjuk a Charpy-féle ütőgépek „távellenzése”, amellyel az általuk küldött próbatesteket a felhasználók megvizsgálják, majd az eredményét visszaküldik nekik. A NIST az eredmények alapján jelzi, hogy a berendezés jól működik-e, vagy valamilyen beavatkozás szükséges.

A NIST honlapján több program található az ütőeredmények grafikus ábrázolására és nemlineáris regressziós görbék illesztésére is. A szoftverek segítségével a felhasználó a saját mérési adatait felhasználva el tudja végezni a modellek megfelelő számításait és a görbeillesztést. Az alkalmazások közül mi az MS Excelben [9] megírt programjukat választottuk, ezek eredményeit ismertetjük.

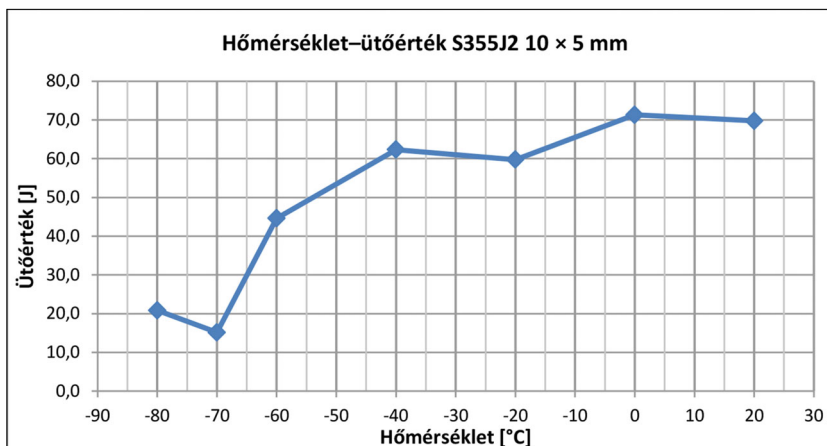
1. táblázat. Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

S355J2						
C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %
0,174	0,558	0,226	0,010	0,011	0,154	0,101
Ni %	Al %	Mo %	Nb %	V %	Ti %	N %
0,043	0,047	0,009	<0,001	0,002	0,021	0,0031
R _{eH} MPa	R _m MPa	A ₅ %				
365	484	32,9				

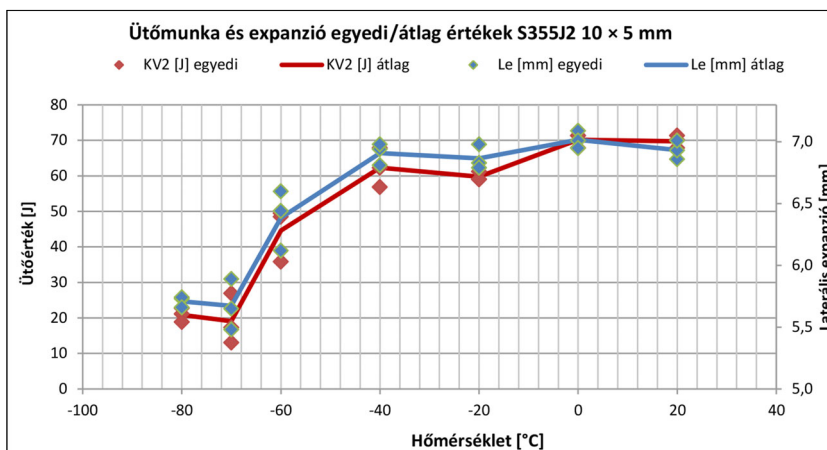
2.2. Próbatestek gyártása

A próbatestsorozatokat négy eltérő időpontban fellelhető alapanyagból gyártottuk. Három sorozat anyaga S355J2 minőségű volt, a negyedik HARDOX® 450. Az alapanyagok kémiai összetételét – és ahol lehetett – szakítóvizsgálatát elvégeztük.

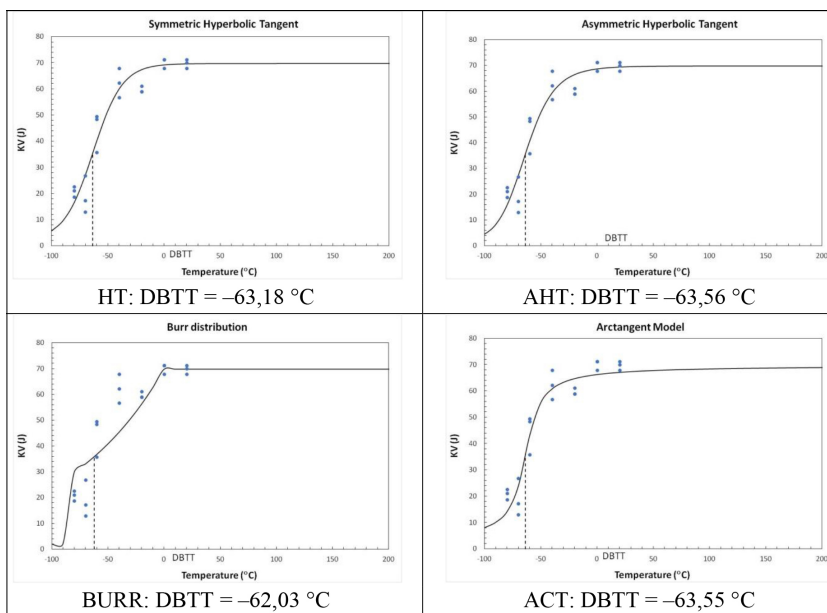
A próbatesteket CNC marógépen készítettük elő, a „V” bemetszés elkészítéséhez váltólapkás szögmarót használtunk. A próbatestek és „V” bemetszések méretét optikai úton ellenőriztük, minden próbatest



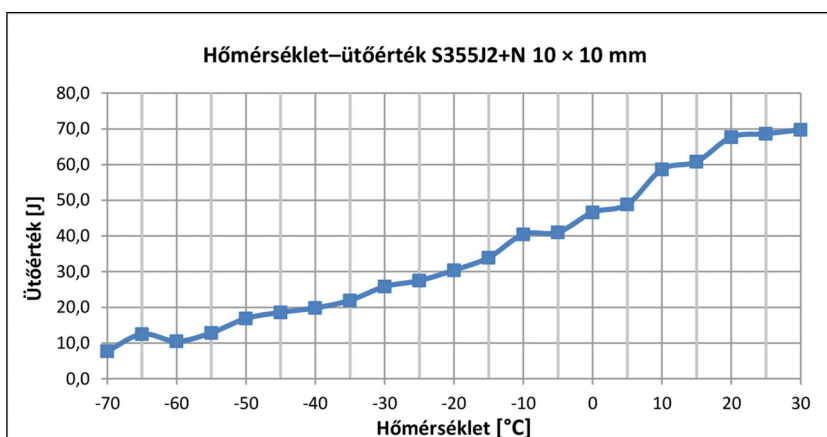
8. ábra. S355J2 10 × 5 mm ütőérték átlagok



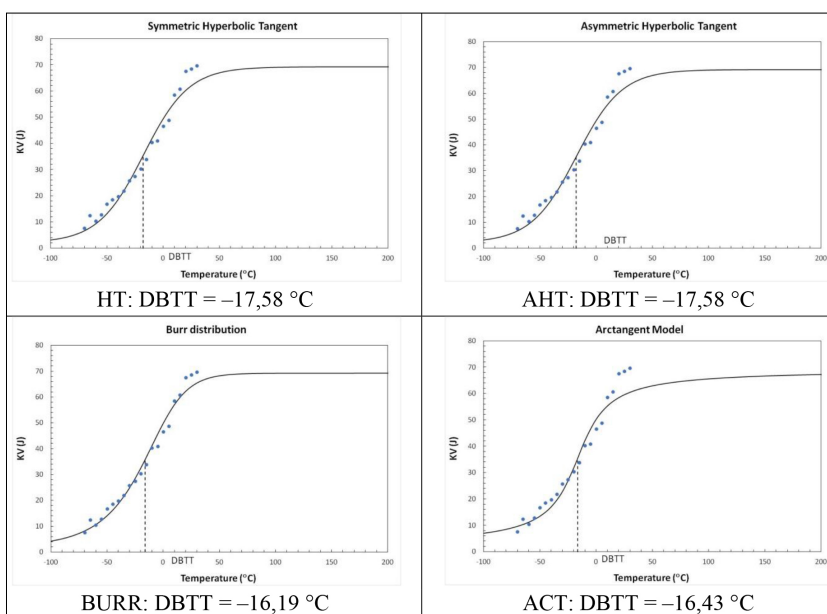
9. ábra. S355J2 ütőérték egyedi értékek és átlagok, a laterális expanzió értékei



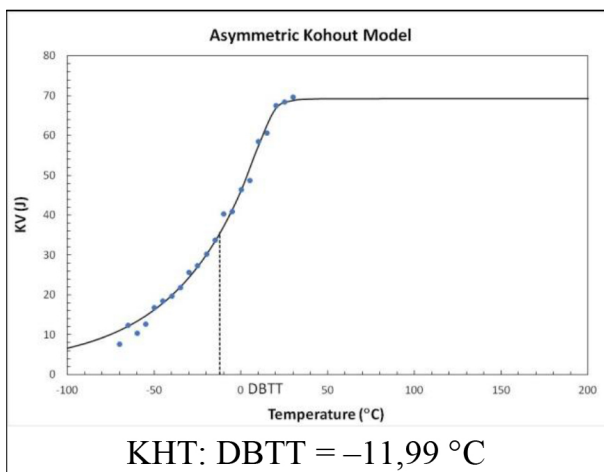
10. ábra. S355J2 ütőértékek HT, AHT, BURR és ACT modelljei



11. ábra. S355J2+N ütőértékátlagok



12. ábra. S355J2+N ütőértékek HT, AHT, BURR és ACT modelljei



13. ábra. S355J2+N ütőértékek KHT modellje

megfelelt az MSZ EN ISO 148-1:2017 szabvány előírásainak.

2.3. S355J2 minőségű acéllemez vizsgálata [10]

Elsőként 6 mm vastagságú táblalemezből munkáltunk ki próbatesteket. Az ütőértékek átlaga szerepel a 8. ábrán. Az 1. táblázat tartalmazza a lemez kémiai összetételét tömegszázalékban és a szakítóvizsgálati eredményeit.

A laterális expanzió és az ütőérték egyedi és átlagolt értékeit tartalmazza a 9. ábra. A két diagram alakja jól egyezik egymással, természetesen a függőleges léptékek eltérnek.

A NIST Excel [1] alkalmazásának eredménye a 10. ábrán látható. Négy számítási modell adott értékelhető eredményt az eredménySORra, mind a négy hasonló átmeneti hőmérsékletet határozott meg, ezek -62,03 °C és -63,56 °C közötti értékek.

2.4. S355J2+N minőségű acéllemez vizsgálata [10]

A második vizsgálati sorozatunkhoz S355J2 + N típusú, 18 mm vastagságú lemezt kaptunk. A lemezből 10 × 10 mm méretű, szabványos ütőpróbatésteget készí-

2. táblázat. Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

S355J2+N						
C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %
0,15	1,34	0,16	<0,004	0,013	0,18	0,10
Ni %	Al %	Mo %	Nb %	V %	Ti %	N %
0,11	0,021	0,019	<0,001	0,047	<0,001	0,005
R _{eH} MPa	R _m MPa	A ₅ %				
395	544	27,0				

3. táblázat. Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

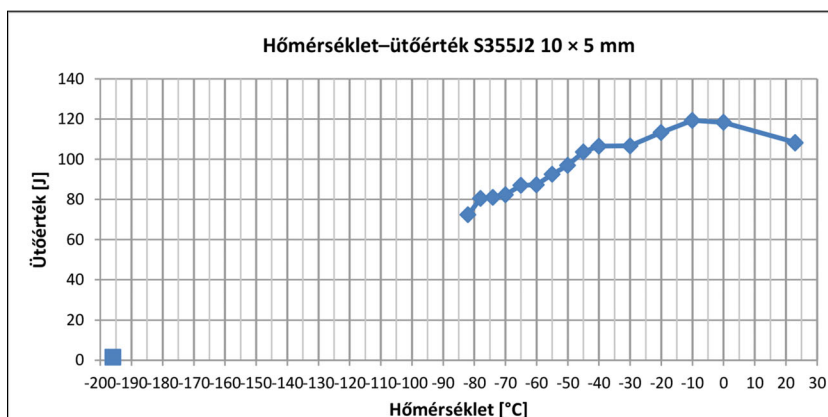
S355J2						
C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %
0,14	0,90	0,19	0,012	0,012	0,33	0,07
Ni %	Al %	Mo %	Nb %	V %	Ti %	N %
0,19	0,020	0,044	<0,001	0,040	0,002	0,012
R _{eH} MPa	R _m MPa	A ₅ %				
424	497	30,9				

tettünk. Kémiai összetétele és szakítóvizsgálati eredménye a 2. táblázatban szerepel.

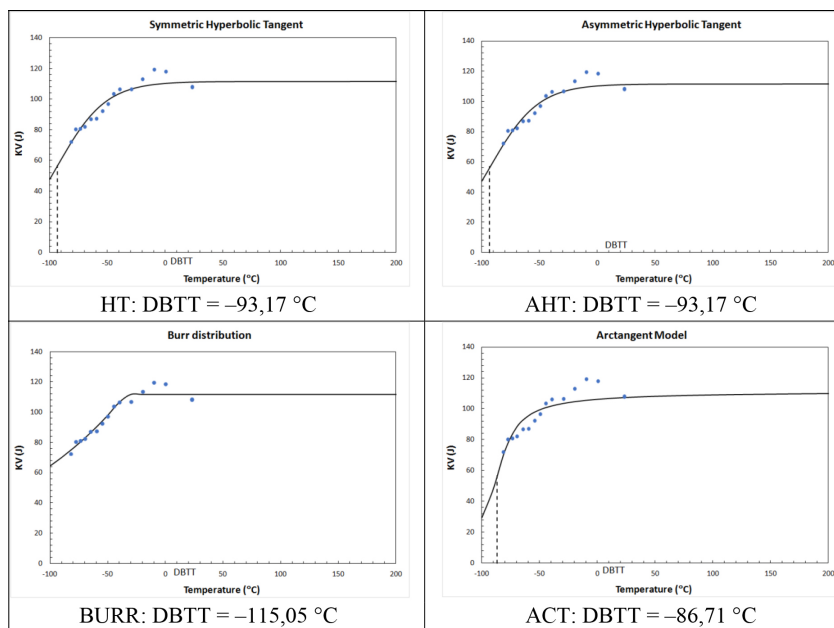
A 11. ábrán a mérési eredmények átlaga látható. A 12. ábrán négy modell -16 °C és -18 °C közötti értékre határozza meg az átmeneti hőmérsékletet, a 13. ábrán szereplő ötödik modell eredménye ezekből eltér, -12 °C.

2.5. S355J2 minőségű acéllemez vizsgálata [10]

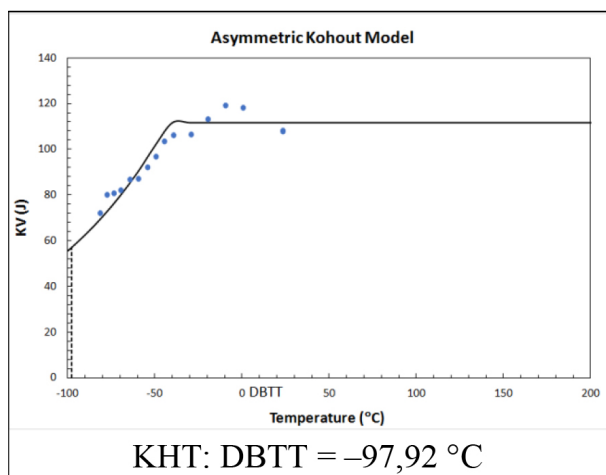
A harmadik vizsgálati sorozatunkhoz S355J2 típusú, 6 mm vastagságú lemezt választottunk. A lemezből 10 × 5 mm méretű, szabványos ütőpróbatésteget készítettünk. Kémiai összetétele, szakítóvizsgálati eredménye a 3. táblázatban, az ütőértékek diagramja a 14. ábrán látható.



14. ábra. S355J2 ütőértékátlagok



15. ábra. S355J2 ütőértékek HT, AHT, BURR és ACT modelljei



16. ábra. S355J2 ütőértékek KHT modellje

A meghatározott átmeneti hőmérsékletek a -115 °C és -87 °C közötti tartományba esnek (15., 16. ábra).

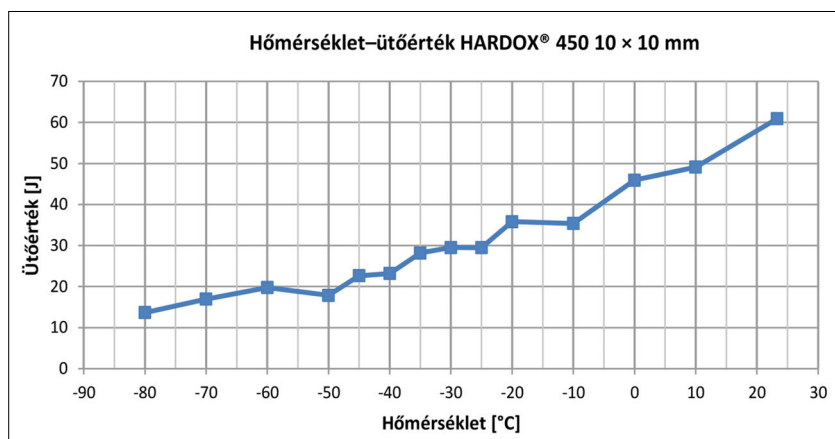
4. táblázat. Kémiai összetétel tömegszázalékban

HARDOX 450						
C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %	Cr %
0,13	0,78	0,75	<0,004	0,007	0,21	0,41
Ni %	Al %	Mo %	Nb %	V %	Ti %	N %
0,22	0,048	0,15	<0,001	0,002	0,020	0,0044

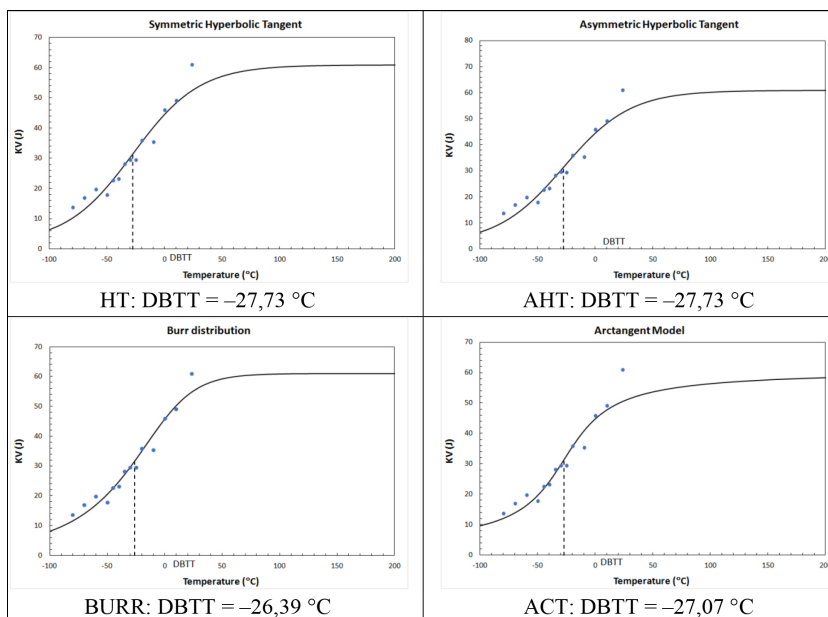
2.6. HARDOX 450 minőségű acéllemez vizsgálata [11]

A negyedik sorozatunk HARDOX 450 típusú, 10 mm vastagságú lemez volt. A lemezből 10×10 mm méretű, szabványos ütőpróbatesteket készítettünk. Kémiai összetétele a 4. táblázatban látható.

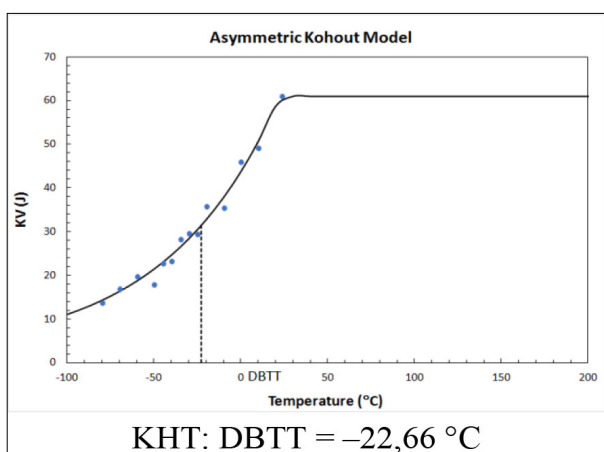
Az ütővizsgálati méréseket -80 és $+23$ °C tartományban végeztük. A mérési eredményeket a szokásos módon a NIST alkalmazásában vizsgáltuk meg. Az átmeneti hőmérsékletet -23 °C és -28 °C közé



17. ábra. HARDOX[®] 450 ütőértéktáblagok



18. ábra. HARDOX[®] 450 ütőértékek HT, AHT, BURR és ACT modelljei



19. ábra. HARDOX[®] 450 ütőértékek KHT modellje

határozták meg a modellek, ezek láthatók a 17., 18., 19. ábrán.

2.7. Bővített vizsgálat

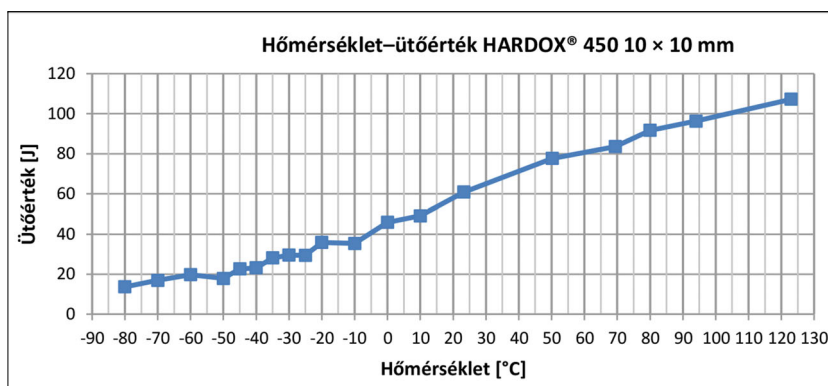
A rendkívül ritka alapanyag miatt a negyedik sorozatunk vizsgálati mennyiségét (2.6. pont HARDOX[®] 450 $T = -80\text{ °C} - +23\text{ °C}$) tovább bővítettük. Több

mérési pontot szerettünk volna elemezni a pozitív hőmérsékleti tartományban, ezért a próbatesteket a szobahőmérséklet feletti állapotban is vizsgáltuk. A kiegészítő méréseket egészen $+123\text{ °C}$ -ig végeztük el, az összes eredmény átlagát ábráztuk, ez látható a 20. ábrán.

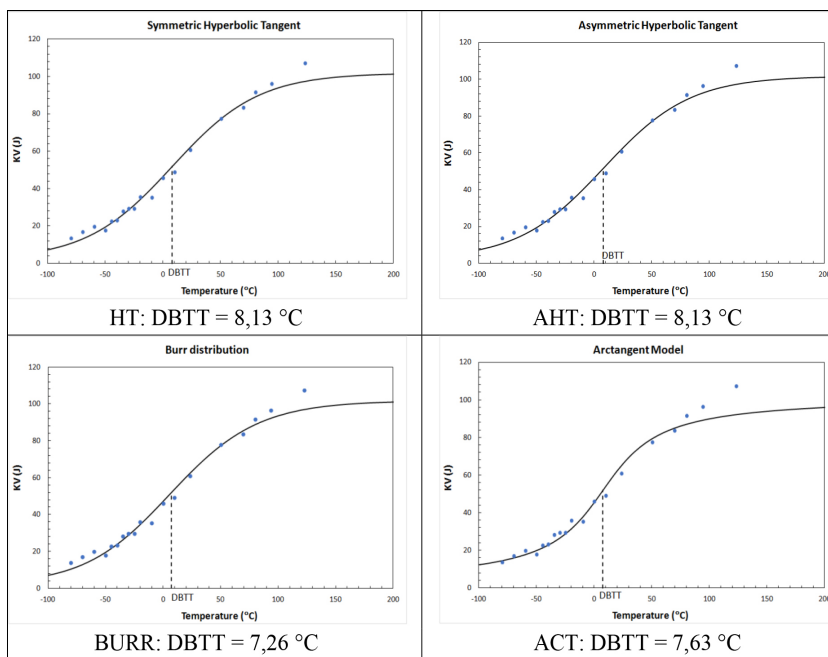
A mérési eredményeket ismét beírtuk a NIST alkalmazásba. Az átmeneti hőmérsékletet $+7\text{ °C}$ és $+13\text{ °C}$ közé határozták meg a modellek, ezek láthatók a 21., 22. ábrán.

2.8. Összehasonlítás

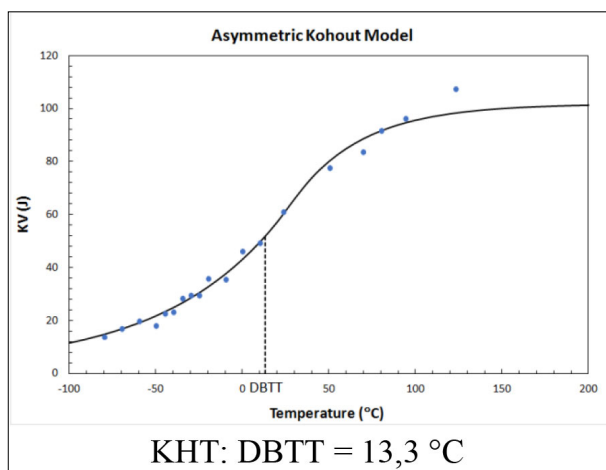
A 2.6. és 2.7. pontban tárgyalt mérési sorozatokat összehasonlítottuk. A modellek a több mérési pont esetén eltérő értékű regressziós görbéket határoztak meg, mint a kevesebb mérési pontnál, ez az eltérés jól látható a 23., 24. ábrán. Az eltérő görbék eredménye az eltérő értékű DBTT. A két sorozatban máshová határozódtak meg az átmeneti hőmérsékletek, az egyiknél jellemzően -28 °C , a másiknál $+8\text{ °C}$ volt az eredmény.



20. ábra. HARDOX[®] 450 ütőértékátlagok



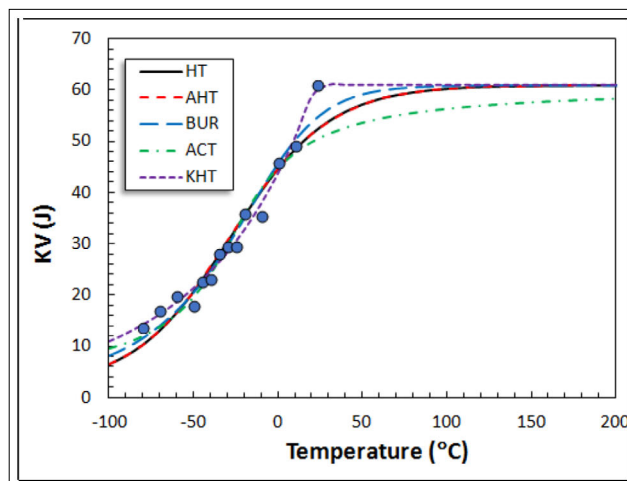
21. ábra. HARDOX® 450 ütőértékek HT, AHT, BURR és ACT modelljei



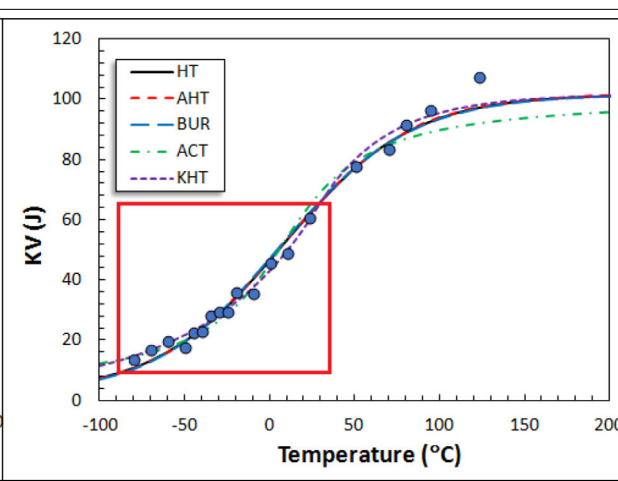
22. ábra. HARDOX® 450 ütőértékek KHT modellje

3. Összefoglalás

- A nemzetközi szakirodalom egy részének bemutatásával – reméljük – sikerült általánosabb képet adni a szívós–rideg átmenet hőmérsékletéről és annak néhány modelljéről. A modellek használata helyett az anyag megfeleltetésére az ISO 148-1 vizsgálati szabvány „D” melléklete minimumhatárok rögzítését javasolja az ütőértékre, az expanzióra vagy a szívós töretarányra vonatkozóan, amelyeket az anyagminőség függvényében célszerű szállítási feltételként előírni [4].
- Az azonos alapanyag szűkebb vagy bővebb mérési eredménySORAI alapján a modellek eltérő eredményeket adnak, ez jól látható a 2.6. és 2.7. pontban. Az ideálisan sok mérési pontra



23. ábra. Eredmények +23 °C-ig




24. ábra. Eredmények +123 °C-ig

végzett regresszió eredménye jelentősen eltér, és eltérhet a kevés mérési pontra végzett számításoktól. A modelleket éppen a kevés mérésből következtethető anyagtulajdonság miatt alkoták meg, így elgondolkodtató a modellek által meghatározott eredmények bizonytalansága és felhasználhatósága.

Köszönjük dr. Gémes György Andrásnak a lektorálást, Várady Tamásnak az angol összefoglaló szerkesztését.


IRODALOM

- [1] National Institute of Standards and Technology (NIST), <https://www.nist.gov/programs-projects/charpy-machine-verification-program>; Lucon E., Splett J., Koepke A., Newton D.: NIST Technical Note 2158 – NIST Software Package for Obtaining Charpy-Transition Curves. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2158>
- [2] Oldfield W. (1979): Fitting curves to toughness data. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 7/6, 326–333.
- [3] Hajro I., Tasić P., Burzić Z., Vuherer T.: Fitting curves and impact toughness transition temperature of quenched and tempered steel welds. ISSN 2303-4521.
- [4] MSZ EN ISO 148-1:2017 Fémek. Charpy-féle ütévizsgálat. 1. rész: Vizsgálati módszer (ISO 148-1:2016) „D” melléklet
- [5] DeepL Translate: [deepl.com](https://www.deepl.com)
- [6] Free Online OCR: [onlineocr.net](https://www.onlineocr.net)
- [7] Sigmoid függvények: https://hu.wikipedia.org/wiki/Sigmoid_f%C3%BCggv%C3%A9nyek
- [8] Tóth L.: A törésmechanika és az anyagvizsgálat története.
- [9] Microsoft Corporation. Microsoft Excel: <https://office.microsoft.com/excel>
- [10] MSZ EN 10025-2:2020 Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból. 2. rész: Ötvözetlen szerkezeti acélok műszaki szállítási feltételei.
- [11] HARDOX® 450: SSAB – Svédország: <https://www.ssab.com/hu-hu/h%C3%ADrek/2019/06/hu-hardox>
- [12] Diszlokáció: <https://idegen-szavak.hu/diszlok%C3%A1ci%C3%B3>; [https://hu.wikipedia.org/wiki/Diszlok%C3%A1ci%C3%B3_\(krist%C3%A1llytan\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Diszlok%C3%A1ci%C3%B3_(krist%C3%A1llytan))



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

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI  **metso** KÉPVISELET



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.

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

JANCSEK KRISZTIÁN mesterdiplomás földtudós, angol–magyar természettudományi szakfordító. 2019 óta a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Közöttani tanszékének PhD-hallgatója. Kutatási területe elsősorban a hazai kőzetek lítiumtartalma és a kioldásos (in situ leaching – ISL) bányászati eljárások. A 2022-es évtől kezdve a BAY-BIO Biotechnológiai Divízió munkatársa, ahol különböző természetes és mesterséges adszorbensek tesztelése a fő profilja.

KISS BALÁZS a Dunaujvárosi Főiskolán 2013-ban szerzett anyagmérnöki oklevelet. A Dunaferr Labor Nonprofit Kft. anyagvizsgáló mérnöke.

KOVÁCS SÁNDOR ENDRE okleveles kohómérnök, 3. éves PhD-hallgató a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolán, 3D-nyomatott fém alkatrészek maradó feszültségének és mechanikai tulajdonságainak vizsgálata kutatási területtel.

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

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

ID. ÓSZ ÁRPÁD aranyokleveles olajmérnök. 1969-ben szerzett olajmérnöki diplomát Miskolcon, a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán, majd 1993-ban menedzser szakmérnöki diplomát a Veszprémi Egyetemen. 1969-től 2015-ben történt nyugdíjazásáig – 46 éven keresztül – a kőolaj- és földgázbányászat területén fűrészi, lyukbefejezési és kútjavítási tevékenységgel, azok tervezésével, irányításával és ellenőrzésével foglalkozott a Kőolajkutató Vállalatnál és a MOL Nyrt.-nél. Dolgozott az Egyesült Arab Emírátsokban (Abu Dhabi) és Irakban (Kurdisztán).

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

DR. VARGA LÁSZLÓ egyetemi docens a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Fémelőállítási és Öntészeti Intézetében, okleveles kohómérnök, tudományos témavezető 3D-nyomatási és öntészeti tématerületeken.



64 éves a Magyar Öntőnapok rendezvény!

A Magyar Öntészeti Szövetség

és az

Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület

Öntészeti Szakosztálya

meghívja az érdeklődő szakembereket a

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

*** **

The Hungarian Foundry Days event is 64 years old!

The Hungarian Foundry Association

and the

Foundry Section of the Hungarian
Mining and Metallurgical Association

invite all interested professionals to the

**27th Hungarian Foundry Days
Conference and Exhibition**

**Program és regisztráció/
Registration:**

**www.foundry.hu, illetve/or
foundry@foundry.hu**

**A rendezvény ideje/
Date of the event:**

2023. október 13–15.

**A rendezvény helye/
Place of the event:**

Hotel Abacus** – www.abacus.hu
2053 Herceghalom, Hungary**

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 eltávozottakról 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
- Hagyományt 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

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 Helsink Deklaráció (1975, revízió 2008) előírásait.

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

1. A **címloldalon** sorrendben a következők szerepeljenek:
 - a kézirat címe magyar és angol nyelven, amely rövidítést nem tartalmazhat;
 - a szerzők neve (fénycéppel, 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 korábbról 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.

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

Következtetések: A tanulmány következtetéseinek tézisszerű, rövid ismertetése az eredmények és a diskusszió 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. Bükksábrányi Bányauzemében. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 148/2, 7–14.

[2] Hári L. (2021): Nyersvasgyártás példatár. Magánkiadás. Dunaujváros, 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.



Kontúrkövető hűtésinnováció az alumínium nyomásos öntőszerszámokban

Az elektromos autók bevezetésének köszönhetően a következő évtizedben várhatóan emelkedni fog az autógyártásban használt, nyomásos öntészeti technológiával előállított alkatrészek iránti igény. Ami ennél is fontosabb, hogy a funkció-összevonások és a gépjárművek súlycsökkentése miatt az öntvények mérete és komplexitása folyamatosan növekedni fog, melyek előállítására alkalmas bonyolult szerszámok hibamentes gyártása gyakran csak kontúrkövető hűtés alkalmazásával biztosítható. Ilyen típusú szerszámok csak additív technológiával (3D fémnyomtatással) állíthatók elő. Ezen új típusú termékek előállításában a hazai öntődék is jelentős részt vállalnak. Az elkövetkező időkben ez a hazai piacon még csak kis mértékben elterjedt kompetencia a következő években egyre nagyobb teret nyer, egyre inkább versenyképességi tényezővé válik.

A kontúrkövető hűtés egy olyan technológiai újítás, amely által jelentősen javítható az alumínium nyomásos öntőszerszámok hőelvonási képessége, tehát az így készült szerszámok a termelési erőforrások tekintetében jelentős megterhelést jelentenek két szempontból is:

1. Alacsonyabb ciklusidő: egységnyi gépidőre jutó több termék. Százazres darabszámok esetén akár néhány másodperc ciklusidő-csökkentés is óriási kapacitásnövekedést és versenyképesség-növekedést eredményezhet.
2. Hosszabb szerszámélettartam: alacsonyabb szerszámköltség a termék önköltségében.

A Spinto Hungária Kft. sikeresen pályázott a Pénzügyminisztérium által meghirdetett GINOP Plusz-2.1.1-21 felhívásra „Komplett tervezési és gyártási technológia kidolgozása és tesztelése öntészeti szerszámokra” című projektjével. A fejlesztésben partnerünk a Csaba Metál Zrt. békéscsabai üzeme és a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézete. A pályázatban vállaltuk, hogy valós termelési körülmények között igazoljuk a kontúrkövető hűtés technológiai és gazdasági előnyeit az öntődék számára. Fő projektcélunk, hogy az ehhez szükséges tervezői és gyártói kompetencia bevezetésre kerüljön a Spinto Hungária Kft.-nél, ezáltal megteremtve a hazai tudásbázist.

A projekt indulását követően kiválasztásra került egy megfelelő, nagy szériában futó öntvény: egy komplex nagy motor olajteknője. Az öntéstechnológiai szempontból legtöbb kihívást jelentő öntvényrész hűtésére két szerszámot is elkészült: egy hagyományos és egy kontúrkövető hűtőcsatornát használó, mindkettő független hűtőkörön. Szeptember utolsó napjaiban a kész szerszámkészlet átadásra került a Csaba Metál öntöde részére. A következő hónapokban a termelési adatok gyűjtése és kiértékelése következik. Emellett az Öntészeti Intézet az additív betét gyártására felhasznált és egyéb lehetséges szerszámacél 3D fémnyomtató por alapanyagok hőtechnikai és mechanikai vizsgálatait végzi a legalkalmasabb nyomtatástechnikai paraméterek meghatározása érdekében.

Terveink szerint az eredményeket a *BKL Kohászat* hasábjain és a 2023-as 27. Magyar Öntőnapokon mutatjuk be.

*** **

Contour-following cooling innovation in aluminium die casting tools

With the rise of electric cars, the demand for parts produced with HPDC technology used in the automotive industry is expected to grow in the next decade. What is even more important is that the size and complexity of castings will continue to increase due to the combination of functions and the weight reduction of vehicles. The defect-free production of such parts can often only be ensured by the use of complex tools with near-contour cooling. Tool inserts of this type can only be produced using additive technology (3D metal printing). Hungarian foundries also take a significant part in the production of these new types of products. In the years come this competency – which is still only slightly widespread in the domestic market – will gain more and more importance becoming a factor of competitiveness.

Near contour cooling is a technological innovation that can significantly improve the heat removal ability of aluminium die-casting tools. Tools designed with this method imply significant savings in terms of production resources in two respects:

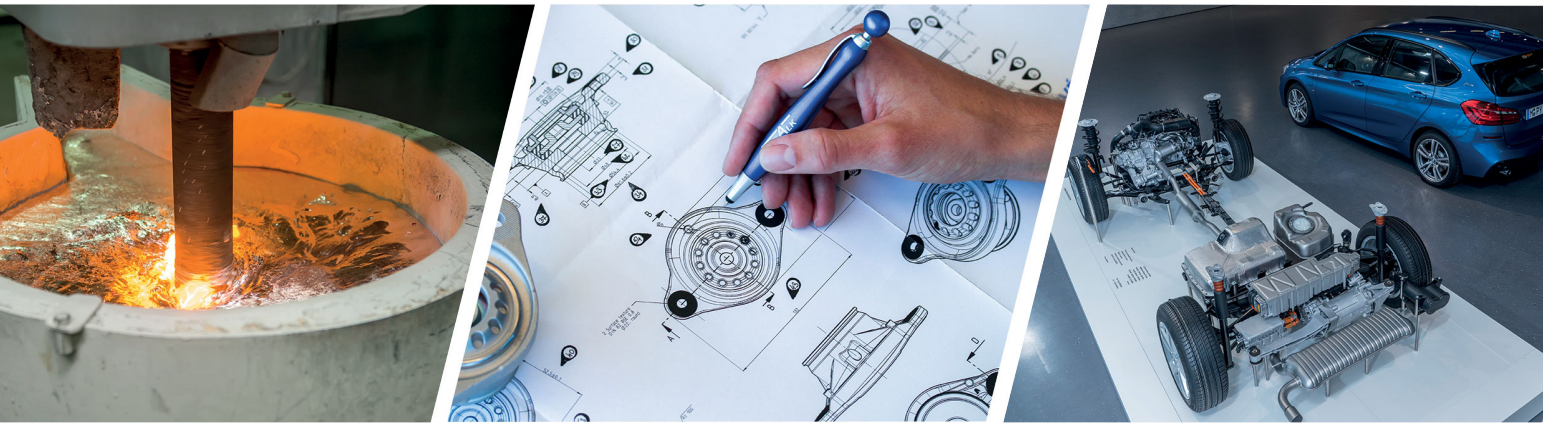
1. Faster cycle time: more products per machine working hours. In case of hundreds of thousands of pieces, a cycle time reduction of even a few seconds can result in a huge increase in capacity and competitiveness.
2. Longer tool life: lower tool costs in the cost of the product.

Spinto Hungária Ltd. successfully applied for the GINOP Plusz-2.1.1-21 tender announced by the Ministry of Finance with the project “Development and testing of complete design and production technology for casting tools”. Our partners in the development are the plant of Csaba Metál Zrt. in Békéscsaba and the Institute of Foundry at the University of Miskolc. In the tender, we undertook to prove the technological and economic advantages of near contour cooling for foundries in between real production conditions. Our main project goal is to introduce the essential design and manufacturing competence at Spinto Hungária Ltd. thus creating a domestic knowledge base.

After the start of the project, a suitable large series casting was selected: the oil pan of a complex large size engine. To temper the most challenging zone of the casting two tool inserts have been made: a traditional one and one using near contour cooling channel, both on independent cooling circuits. In the last days of September, the finished tool set was delivered to the Csaba Metál foundry. In the following months, production data will be collected and evaluated. In addition, the Institute of Foundry conducts thermal and mechanical tests of the metal printing powder used for the production of the additive insert and other possible materials in order to determine the most suitable printing parameters.

According to our plans, the results can be presented in the *BKL Metallurgy* and at the 27th Hungarian Foundry Days in 2023.

FÉMALK



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

**CSATLAKOZZ
CSAPATUNKHOZ!**

WWW.FEMALK.HU/KARRIER