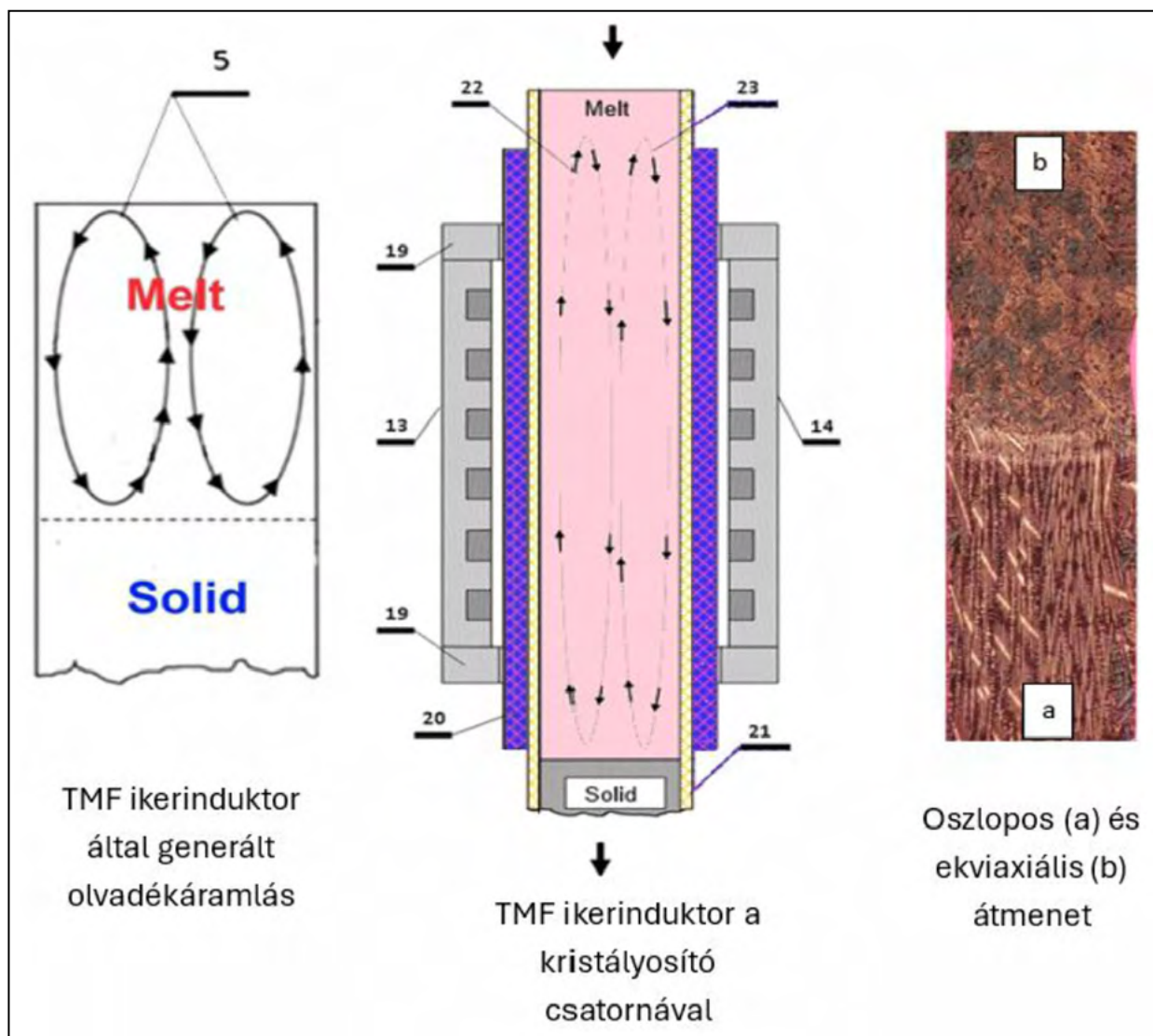


Új berendezés és módszer a kristályosodásnál kialakuló szemcseszerkezet finomításához

Rónaföldi Arnold, Veres Zsolt, Svéda Mária, Roósz András



FROM THE CONTENTS

ARNOLD RÓNAFÖLDI, ZSOLT VERES, MÁRIA SVÉDA, ANDRÁS ROÓSZ: New equipment and method for refining the solidified grain structure 2

MÁDAI FERENC, FÖLDESSY JÁNOS, HANKOVSKY INGRID, LUKÁCS GÁBOR: Critical Raw Materials Hungary Data Collection: Beryllium, titanium, platinum group elements, hafnium, scandium in Hungary 16

ÁRPÁD ŐSZ SR.: Anchoring masts of self-propelled drilling-, well completion- and workover rigs 23

DORINA SPEKKER: Basic procedural technical examination of LFP type Li-ion batteries in order to ensure their sustainable recycling – Part 1 37

FERENC BENKŐ: Mineral exploration as a science and as a value-generating economic activity 54

Posters in BKL – From the 2024 crop of the MFK Faculty and the TEKH College

LÍVIA LESKÓNÉ MAJOROS, SÁNDOR SZAKÁLL, FERENC KRISTÁLY: Comparison of critical mineral and element content of black shales in NE-Hungary 63

Támogatóink



Magyar Tudományos Akadémia



FémAlk Zrt.



ACUFER Kft.



Magyar Villamos Művek



OMYA Hungária Kft.



Ózdi Acélművek Kft.



MOL Magyarország

Felelős szerkesztő:

Hajnal József

E-mail:

hirfor2000@gmail.com

A Szerkesztőbizottság tagjai:

Bariczáné Szabó Szilvia, Bíró Nóra,

Dr. Dovrtel Gusztáv, Fisch Iván,

Dr. Földessy János,

Dr. Harcsik Béla, Dr. Kóródi István,

Dr. Ladányi Gábor, Livó László,

Lois László, Molnár József,

Molnár Zsolt, Pali Sándor,

Schudich Anna, Dr. Szabó Tibor,

Székács Annamária,

Dr. Szunyogh István, Dr. Tardy Pál,

Dr. Török Tamás, Dr. Vadászi Marianna

Dr. Vojuczki Péter

Magyar nyelvi lektorálás:

Keményváriné Nagy Alexandra

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. Szombatfalvy Anna,

Jármai Gábor

Belső tájékoztatásra,

kereskedelmi forgalomba nem kerül.

A közölt cikkek fordítása, utánnyomása,
sokszorosítása és adatrendszerekben való
tárolása kizárólag a kiadó engedélyével
történhet.

A BKL lapszámai az OMBKE

honlapján – www.ombke.hu –

érhetők el.

HU ISSN 3057-9899 (Online)

TARTALOM

RÓNAFÖLDI ARNOLD, VERES ZSOLT, SVÉDA MÁRIA, ROÓSZ ANDRÁS:

Új berendezés és módszer a kristályosodásnál kialakuló
szemcseszerkezet finomításához 2

MÁDAI FERENC, FÖLDESSY JÁNOS, HANKOVSKY INGRID, LUKÁCS

GÁBOR:

Kritikus nyersanyagok Magyarország Adatgyűjtemény: Berillium,
titán, platínacsoport, hafnium, szkandium Magyarországon 16

ID. ŐSZ ÁRPÁD:

Önjáró fúró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések árbocainak
kihorgonyzása 23

SPEKKER DORINA:

LFP típusú Li-ion akkumulátorok eljárástechnikai alapvizsgálata
a fenntartható reciklikálásuk érdekében – 1. rész 37

BENKŐ FERENC:

Az ásványi nyersanyagkutatás mint tudomány és mint értéktermelő
gazdasági tevékenység 54

Posztterek a BKL-ben – Az MFK Kar és a TEKH Szakkollégium
2024-es terméséből

LESKÓNÉ MAJOROS LÍVIA, SZAKÁLL SÁNDOR, KRISTÁLY FERENC:

ÉK-magyarországi feketepalák kritikus ásvány- és elemtartalmának
összehasonlítása 63

(for English titles see B2 page)

Címlapon: Új berendezés és módszer a kristályosodásnál kialakuló
szemcseszerkezet finomításához (Publikáció a 2. oldalon)

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával jelenik meg.

Új berendezés és módszer a kristályosodásnál kialakuló szemcseszerkezet finomításához

RÓNAFÖLDI ARNOLD^{1,2}, VERES ZSOLT^{1,2} , SVÉDA MÁRIA^{1,2} , ROÓSZ ANDRÁS^{1,2,@} 

¹Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet, 3515 Miskolc

²HUN-REN – Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc

©E-mail: andras.roosz@uni-miskolc.hu

Másodközlés – Eredeti közlemény:

New equipment and method for refining the solidified grain structure

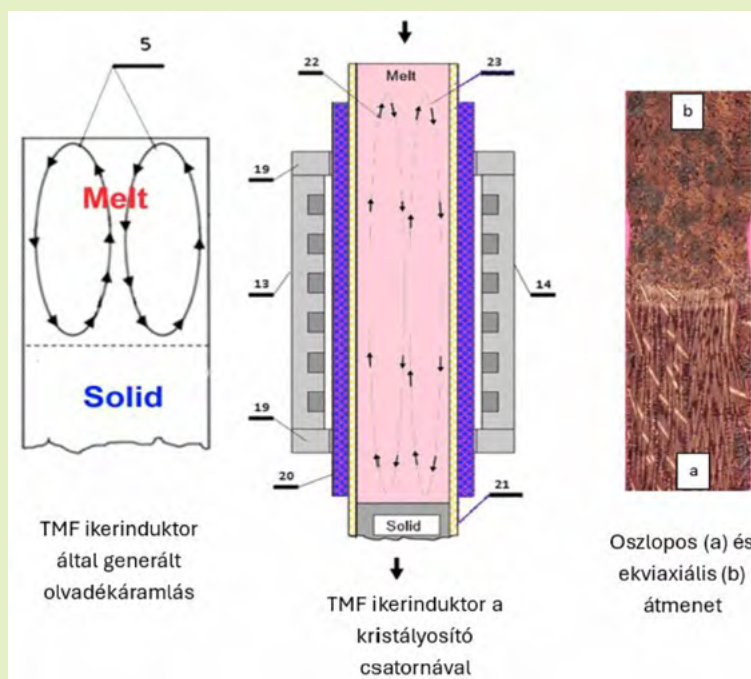
Arnold Rónaföldi^{1,2}, Zsolt Veres^{1,2}, Mária Svéda^{1,2}, András Roósz^{1,2,*}

Metals 2022, 12(4): 658.

<https://doi.org/10.3390/met12040658>

A munka célja egy hatékony mágneses keverőberendezés és keverő módszer megalkotása volt. Mivel a forgó mágneses mező (Rotation Magnetic Field, RMF) általi keverés gyakran erős makrodúsulást eredményez, a keveréshez a haladó mágneses teret (Travelling Magnetic Field, TMF) választottuk. A TMF ikerinduktornak a felépítése jelentősen eltér a hagyományos mágneses keverőtől, mert zárt mágneses áramkörrel rendelkezik. A kifejlesztett ikerinduktorral három különböző mágneses mező állítható elő a keverőhatás vizsgálatára. A mágneses mező erős nyírófeszültséget fejt ki a kristályosodási frontra merőleges áramlásnál azáltal, hogy a fémek olvadék rétegei egy része ellentétes irányban mozog. A TMF ikerinduktort egy kristályosító berendezéssel kombináltuk a különböző ötvözetek egyirányú kristályosításához.

Az ikerinduktorral létrehozott három különböző mágneses térnek a szemcseszerkezetére gyakorolt hatását Al-7%Si-1% és Al-10%Si-0,2%Fe ötvözetekkel hasonlítottuk össze. Kimutattuk, hogy a leghatékonyabb keveredés és ezzel a szemcsefinomítás akkor következik be, amikor a két induktor mágneses tere egymással szemben mozog.



Kulcsszavak: kristályosodás, szemcsefinomítás, mágneses keverés, haladó mágneses tér

1. Bevezetés

A kristályosodási folyamat során kialakuló szemcse-méret és eloszlás nagy hatással van a megszilárdult anyagok mechanikai tulajdonságaira (szakítószilárdság, keménység és nyúlás). A berendezés egy fűtő egységből, egy indukciós keverőből és két különböző tápegységből áll, egy a fűtéshez és egy a keveréshez. A fizikai paraméterek ismeretében az optimális fűtés és keverés egy adott alkalmazáshoz kompatibilis és speciális fűtő és indukciós tekercs tervezésével érhető el [1]. A kristályosodási folyamat során a kristályosodási paraméterek bizonyos értékeinél (szilárd/olvadék frontsebesség, hőmérséklet gradiens) úgynevezett oszlopos szerkezet alakulhat ki, amelynek eredményeként a munkadarab egyik irányban mért tulajdonságai eltérnek a másik irányban mértéktől. Általában nem lehet a cél (kivéve a speciális eseteket, pl. egykristályos turbinalapátokat) oszlopos szövetszerkezet létrehozása. Annak ellenére, hogy a kristályosodás során sokszor nem alakul ki oszlopos szövetszerkezet, az úgynevezett homogén csíráképződés miatt nagy krisztallitokból (szemcsékből) álló ekviauxiális szemcseszerkezet jöhet létre, melynek a mechanikai tulajdonságai lényegesen rosszabbak, mint a finom szemcsét tartalmazó szemcseszerkezeté.

A munka célja a kristályosodási folyamat során kialakuló szemcseszerkezet finomítására alkalmas berendezés és módszer kifejlesztése volt.

2. A szemfinomítás módszerei

2.1. Szemcsefinomítás szemcsefinomító anyaggal

Különböző technológiák ismertek a finom szemcseszerkezet kialakítására, amelyek megközelítőleg azonosak a munkadarab minden pontján. Az egyes technológiák alapja, hogy bizonyos típusú szilárd részecskéket adnak az olvadákhöz. Ezek a szilárd részecskék heterogén csíráképződést okoznak, azaz ezeknek a felületén keletkeznek a csírák, az olvadék kismértékű túlűtése mellett [2, 3, 4].

A munkadarab finomszemcsés szerkezetű lesz, ha megfelelő mennyiségű szilárd részecskét adunk az olvadákhöz. A folyamatot szemcsefinomításnak (beoltásnak), az anyagot pedig szemcsefinomító (beoltó) anyagnak nevezzük.

A szemcsefinomító anyagnak a következő feltételeknek kell megfelelnie:

- i) a keletkező csírának nedvesítenie kell a szemcsefinomító anyag részecskéit (a szemcsefinomító anyag szemcséinek kell rendelkeznie olyan kristálysíkkal, amelyen az atomok elhelyezkedése hasonló a keletkező csíra valamely kristálysíkjához),
- ii) szilárd halmazállapotúnak kell lenni a kristályosodási hőmérsékleten, azaz nem olvadhat

meg, a technológiai folyamat során nem oldódhat fel,

- iii) nem ülepedhet ki vagy úszhat fel (sűrűségének megközelítőleg azonosnak kell lennie az olvadék sűrűségével),
- iv) nem változtathatja meg jelentősen a munkadarab fizikai és mechanikai tulajdonságait.

Nem könnyű megfelelő szemcsefinomító anyagot találni a különböző ötvözetekhez. Az Al-5%Ti-1%B ötvözetet sikeresen alkalmazzák az Al-ötvözetek esetében, ahol a TiB_2 részecske a szemcsefinomító anyag. Az acélok és a rézalapú ötvözetek esetében nem ismertek hatékony szemcsefinomító anyagok. Különösen nagyon nehéz ilyen anyagot találni az acélok esetében, mivel az acélok nagyon magas kristályosodási hőmérséklettel rendelkeznek. Egyes anyagok olvadáspontjukat tekintve alkalmasak lennének, de jelentősen ronthatják a mechanikai tulajdonságokat.

Egy másik lehetőség a fémoxidok hozzáadása, pl. a saját oxid mechanikus bekeverésével az olvadékba [5]. Az olvadék felületén oxidok képződnek, ha az olvadék nincs védve az oxidációtól vagy szándékosan oxidálják. Ezek az oxidok az olvadék mozgásával vagy áramlásával bekeverhetők az olvadékba. Az oxidok olvadáspontja általában magasabb, mint az ötvözeté. Ennek a technológiának az a hátránya, hogy nehezen ellenőrizhető, és sok esetben az oxidot nem nedvesíti az ötvözet csírája, azaz az i) feltétel nem teljesül. Nagyon nehéz olyan keverő lapátot találni, amely hosszú ideig tartó mechanikus keverésre alkalmas anyagból készült, különösen magas hőmérsékleten (acélok). Az oxidkerámia merev és törékeny, a grafit oxidáló atmoszférában ég, és alacsony szilárdsága miatt könnyen tönkre mehet.

2.2. Szemcsefinomítás saját részecskével

A szilárd oldat típusú ötvözetek kristályosodási folyamata során úgynevezett keverék zóna alakul ki, ami részben már szilárd fázist tartalmaz. Ennek oka az, hogy az ötvözetek jelentős része (melyek egyenúlyban legalább részben szilárdoldatot tartalmaznak) a likvidusz és a szolidusz közötti hőmérséklet tartományban kristályosodnak. A szilárd fázisból (a dendritekből) a mechanikus keveréssel létrehozott intenzív olvadékarámlással apró részecskék törhetők le. Ezeket a kis szilárd részecskéket az olvadékba keverve, azok heterogén csíráképződőként viselkednek. Ez a technológia elvileg akkor lehet használható, ha nem áll rendelkezésre hagyományos szemcsefinomító anyag. Gyakorlatilag nagyon nehéz alkalmazni ezt az eljárást. A probléma ugyanaz, mint amit korábban említettünk; a folyamatos acélöntés során egy keverőlapátot kell behelyezni a kristályosítóba, amelynek ellenállnia kell a nagyon magas hőmérsékletnek (1700

°C-nál magasabb) és a nagyon erős mechanikai igénybevételeknek.

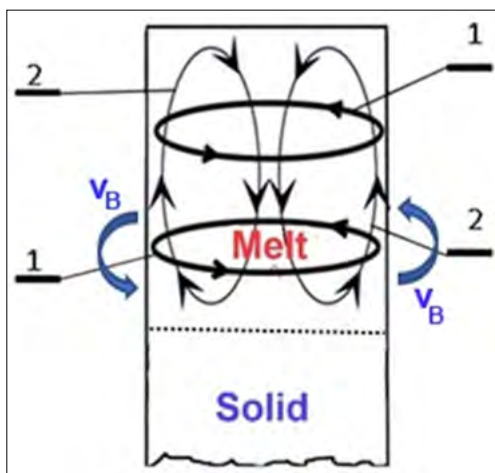
2.3. Szemcsefinomítás mágneses térrel való keverésével

Az elektromos vezetőképességgel bíró olvadékok váltakozó mágneses mezők segítségével a magneto-hidrodinamikai elmélet által leírt áramlásra kényszeríthetők. Ilyen olvadékok a fémek és a fém-ötvözetek (a továbbiakban olvadékok). Az áramlás jellegzetességeit a váltakozó mágneses tér sajátosságai határozzák meg.

A keverék zónában lévő szilárd fázisból kis részecskék letörhetők a fémolvadékok mágneses térrel történő áramoltatásával, ha az olvadék áramlásánál kialakuló nyírófeszültség meghaladja a már kristályosodott fázis nyírószilárdságát. Az olvadék keveréséhez pulzáló, forgó vagy haladó mágneses tér használható.

A fémolvadék pulzáló mágneses térrel történő áramlása esetén az olvadékáramlás sebessége lényegesen kisebb, mint a forgó vagy haladó mágneses tér hasonló villamosenergia fogyasztással megvalósított áramlása. Ennek a módszernek további hátránya, hogy bonyolult az áramlás irányának és sebességének szabályozása.

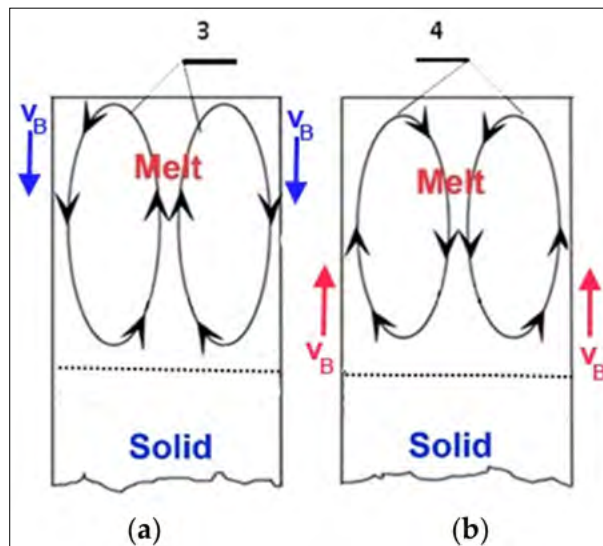
A fémolvadék áramoltatása megvalósítható a kristályosodási fronttal párhuzamos síkban forgó mágneses mezővel (Rotation Magnetic Field, RMF) [6–9]. Az áramlás vázlata az 1. ábrán látható. Az olvadék RMF-fel történő áramlásakor kétféle makrodúsulás alakul ki [10]. A primer áramlás (párhuzamos a kristályosodási fronttal, „1”) hatására a munkadarab sugara mentén, a kristályosodási front síkjára merőleges másodlagos áramlás hatására (amelynek intenzitása sokkal kisebb, mint az elsődleges áramlás intenzitása, „2”) pedig a munkadarab hossz tengelyének irányában alakul ki makrodúsulás. Következésképpen ez a fajta mágneses keverés a



1. ábra. Az RMF induktorok által létrehozott olvadékáramlás

gyakorlatban kevésbé alkalmazható, bár bizonyos mértékű szemcsefinomodást okozhat.

A fémolvadék a kristályosodási frontra merőlegesen mozgó mágneses térrel (TMF) is áramoltatható, ha a mozgó mágneses tér iránya megegyezik a kristályosodási front mozgási irányával vagy azzal ellentétes (2. ábra) [11–15].



2. ábra. A hagyományos TMF induktorok által létrehozott olvadékáramlás

A függőleges tengelyű TMF induktor hossztengetyében elhelyezett téglában lévő olvadékra ható erő az olvadék tengellyel párhuzamosan felfelé vagy lefelé mutat, az induktorhoz csatlakoztatott gerjesztési fázissorozattól függően.

Ebben az esetben az azonos irányba mutató olvadék tengelyével párhuzamos Lorentz-erő az egész olvadékra hat. Az erő intenzitása (az erő által kifejtett nyomás) a sugár függvényében változik. Ennek eredményeként áramlás alakul ki az olvadékban. Az olvadék felfelé áramlik a tégl fal mentén („3”), ha a mágneses tér haladási iránya felfelé mutat, a tégl közepén az ellenkező irányba áramlik, két áramlási hurkot kialakítva. Az olvadék áramlási iránya a tégl fal mentén és a tégl közepén is megváltozik, ha a mágneses tér mozgási iránya lefelé mutat („4”). Az áramlás vázlata a 2a. és a 2b. ábrán látható. A mágneses tér felfelé halad a 2a. ábrán, míg fordítva halad a 2b. ábrán.

Kétféle TMF induktort használnak. A hengeres (cső) konstrukciót alkalmazzák leggyakrabban. Előnye, hogy nagyon egyszerű módon felépíthető [10, 12]. Egy másik TMF induktor sík elrendezésű. Ritkán használják, mert tekercsrendszere sokkal bonyolultabb, mint az RMF induktore [11]. A sík elrendezésű induktornál sokkal kisebb elektromos teljesítményre van szükség az olvadékban kialakuló mágneses indukció egységnyi értékének biztosításához, mint a

csőszerkezetű TMF induktornál (azonos geometria esetén). Az olvadékból kialakuló olvadékáramlási képek hasonlóak mindkét típusú TMF induktor használatára esetén (2a. és 2b. ábra).

Ezek az áramlások képesek letörni szilárd részecskéket a keverék zónában lévő dendritekből, és azokat az olvadékba juttathatják; következésképpen a szemcse finomodása figyelhető meg. Ezeknek a TMF induktoroknak azonban az a hátránya, hogy a megfelelő szemcsefinomítás csak nagyon nagy mágneses tér (nagyon nagy elektromos teljesítmény) használatával biztosítható.

Lehetőség van az RMF és TMF induktorok kombinálására [15, 16]. Elvileg a kristályosodási fronttal párhuzamos és arra merőleges áramlások alakulhatnak ki ezzel a megoldással. Egy lehetséges elrendezést mutatnak be a szerzők a [17]-ben. Ebben az esetben, belül egy hengeres elrendezésű TMF induktor, kívül pedig egy 6 pólusból álló RMF induktor található. Ez egy levegő magos megoldás, így nagyon nagy elektromos teljesítményre van szükség nagy mágneses indukció biztosításához az olvadékban. Az induktor egyik típusának (pl. az RMF típusú induktor) mágneses tere örvényáramot generál a másik típusú induktor (TMF) tekercseiben, így több hő fejlődik benne. Az RMF induktor mágneses terét bizonyos mértékig a TMF induktor tekercsei ráadásul árnyékolják. A fent említett tények miatt az olvadékban csak egy alacsony intenzitású áramlás alakul ki a szemcsefinomításhoz szükséges áramláshoz képest. A vasmagos változat esetében az RMF vasmagok jelentős mértékben árnyékolják a TMF induktor mágnes terét. Ez a megoldás a gyakorlatban nem alkalmazható a szemcsefinomításra.

Az olvadékban jelentős mértékű szemcsefinomást okozó áramlás csak akkor alakulhat ki, ha a fent leírt mágneses keverőegységek nagyon nagy mágneses teret (nagyon magas villamosenergia-fogyasztást) generálnak, mivel az olvadék egymást érintő részei ugyanabba az irányba mozognak (1. és 2. ábra).

3. Új berendezés

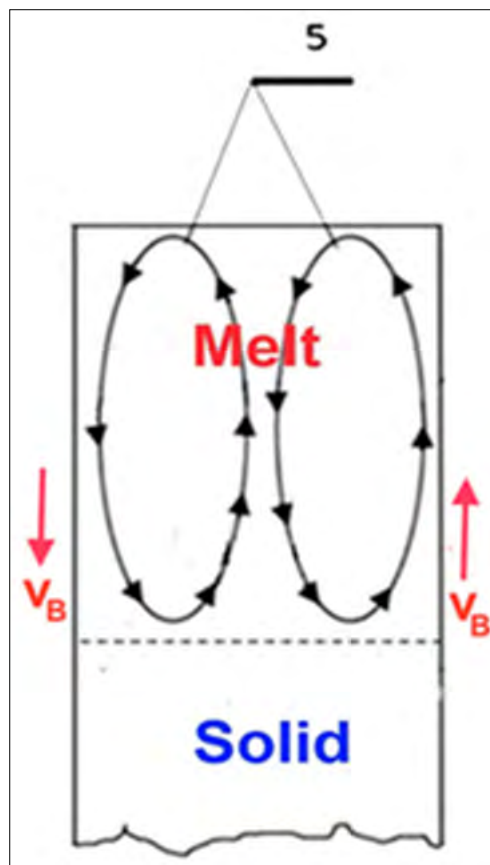
3.1. Az új típusú TMF eszköz elve [18]

Célunk a leírt megoldások hátrányainak kiküszöbölése, azaz egy olyan módszer és berendezés létrehozása volt, amellyel minimális makrodúsulás mellett megvalósítható a szemcsefinomítás oly módon, hogy a kristályosodási folyamat során a keverés mágneses térben, a fent említett módszereknél kevesebb elektromos energia felhasználásával történik.

Szükség volt egy új típusú mágneses induktor megépítésére a berendezés keverőegységéhez, megvalósítva azt az új módszert, amellyel a keverék zónában nagy nyírófeszültséget biztosító áramlás alakulhat ki

a hagyományos mágneses keverőberendezésekhez képest kisebb elektromos energiafogyasztás mellett.

A megoldásnak az a felismerés az alapja, hogy jelentős nyírófeszültség alakul ki az olvadékban, ha az olvadék keverését végző berendezés TMF induktorát úgy építjük fel, hogy az képes egymással ellentétes irányú áramlási zónákat létrehozni („5” a 3. ábrán).



3. ábra. A TMF ikerinductor által létrehozott olvadékáramlás

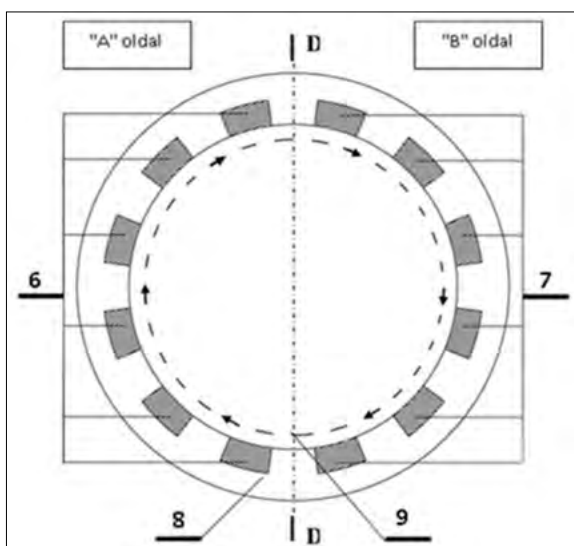
A berendezés induktora a legjelentősebb nyírófeszültséget a kristályosodási frontra merőleges áramlásnál úgy alakítja ki, hogy a fém olvadékrétegek egy része (jellemzően a hosszirányú tengely környékén) ellentétes irányban érinti egymást. Ekkor nagyon erős turbulencia alakul ki az ellenkező irányba áramló olvadékrétegek között. Ez a turbulens áramlás nagy mennyiségű részecskét tör le a keverék zónában lévő szilárd dendritekről, és az olvadék/szilárd front elé viszi azokat, ahol saját anyagú szemcse finomítóként jelennek meg, ezáltal biztosítva a jelentős szemcsefinomodást.

A mágneses tér mozgási irányának adott frekvenciával történő megváltoztatásával megváltoztathatók az olvadék áramlási irányok és ezzel kiküszöbölhető a makrodúsulás megjelenése.

A kristályosító berendezés egy TMF ikerinduktort használ az olvadék áramlására. Ennek a TMF

ikerinduktornak a felépítése jelentősen eltér a hagyományos mágneses keverőktől, és zárt mágneses áramkörrel rendelkezik [18]. Ez a zárt mágneses áramkörrel rendelkező TMF ikerinduktor bármilyen páros póluspárszámú RMF induktorból származtatható. A levezetési lépéseket két póluspárral (4 pólusú) RMF induktorral mutatjuk be. A levezetés lépései a 4–9. ábrákon láthatók.

1. lépés: Az RMF induktornak két póluspárja van (4 pólusú, 4. ábra), amit a D-D sík 2 részre vág („A” és „B” oldal).
2. lépés: Az induktor „A” és „B” oldalát az 5. ábra szerint választjuk el egymástól, így a félinduktor szegmens két darabját kapjuk, egyenként egy póluspárral (2-2 pólus).

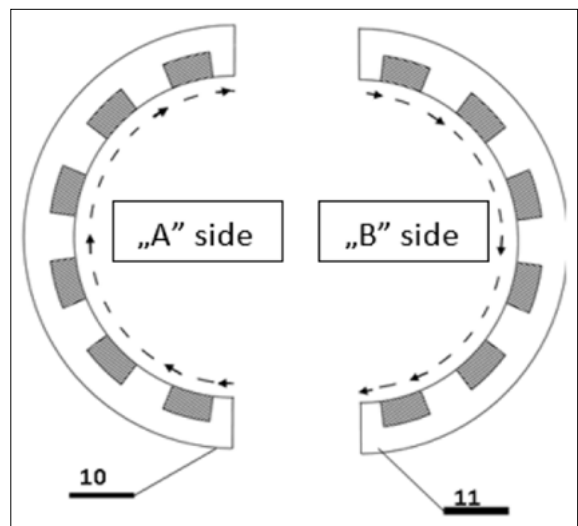


4. ábra. A négypólusú RMF induktor előlnézete, amely a forgó mágneses teret hozza létre. „6”, „7”: gerjesztőtekercsek, „8”: zárt vasmag, „9”: a forgó mágneses tér mozgási iránya

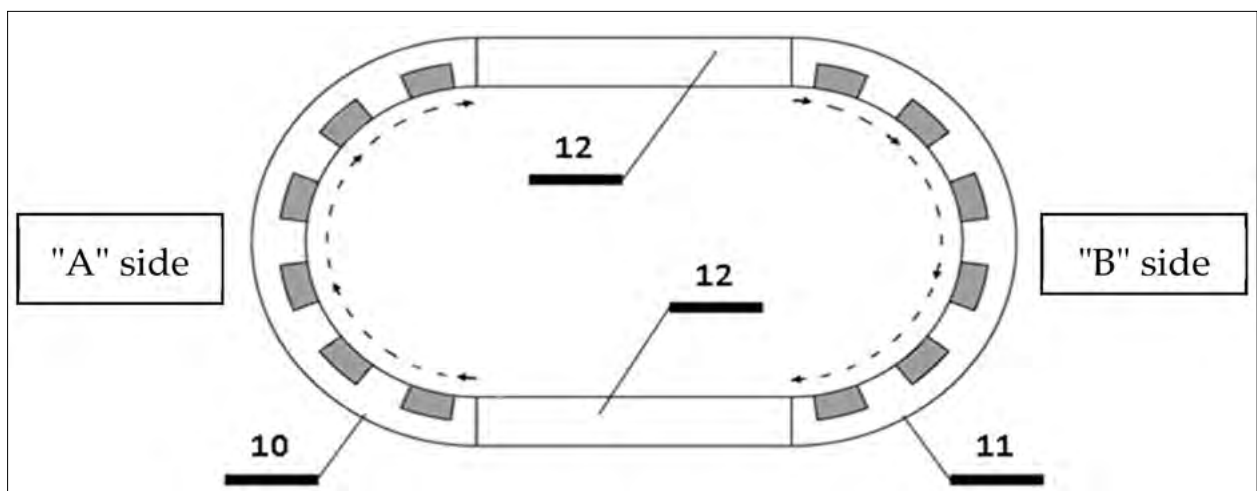
3. lépés: A két félinduktor mágneses áramkörét (lásd a 5. ábrát), úgynevezett „ferromágneses hidakkal” zárjuk le („10”, „11”), amelyek nem tartalmaznak tekercseket, amint azt a 6. ábra mutatja („12”). A ferromágneses hidakat olyan anyagból kell készíteni, amely megakadályozza az örvényáram kialakulását.

4. lépés: A zárt induktor íves szakaszait (6. ábra „10”, „11”) átalakítottuk a 7. ábrán látható síkra. (A 6. ábra „10” és „11” elemei a 7. ábra „13” és „14” elemei lesznek). A 7. ábrán láthatók a „ferromágneses hidak” („15”).

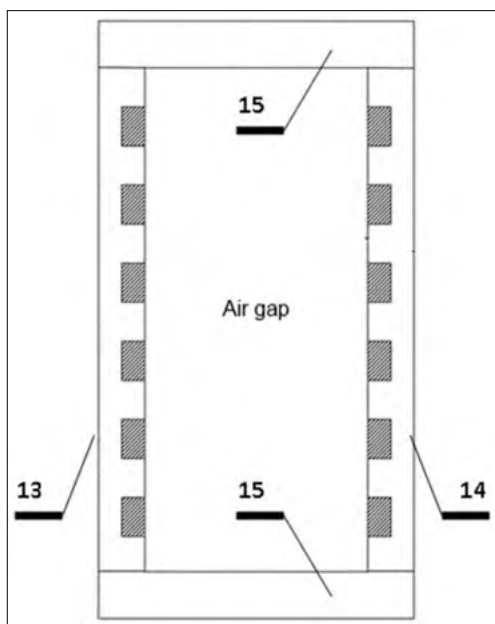
Így az „A” és a „B” oldalon függőlegesen egymással ellentétes irányban mozgó mágneses tér alakul ki.



5. ábra. A nyitott mágneses áramkörrel rendelkező „fél” induktorpárok előlnézete; az „A” („10”) és a „B” („11”) oldalon lévő póluspárok egymástól való elválasztása után alakultak ki



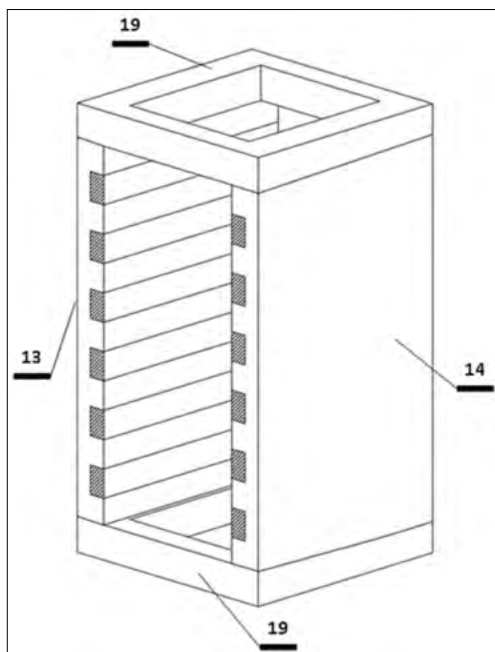
6. ábra. Az íves induktor előlnézete a tekercsfejek bemutatása nélkül. Az induktor zárt mágneses áramkörből áll, amelyet a „fél” induktorpár mágneses áramkörének ferromágneses hidak segítségével történő összekapcsolásával (a mágneses áramkör lezárásával) („12”) kaptunk



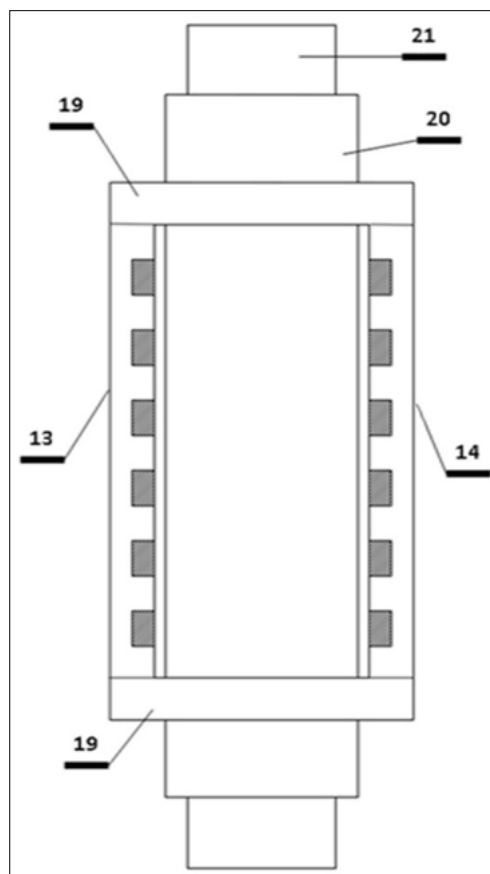
7. ábra. Előnézet a TMF ikerinduktor átalakított változatáról. 6. ábra zárt mágneses áramkörrel. Ezt az induktort úgy építettük, hogy megváltoztattuk az íves induktor szakaszokat (síkká alakítva, „13”, „14”)

5. lépés: A 7. ábrán látható „15” ferromágneses hidakon két illesztő nyílás készül (egy az alsó és egy a felső „ferromágneses hídon”), amelyek létrehozzák a 8. ábrán látható „19” elemeket, kialakítva a TMF ikerinduktor végső összeállítását.

Amint az a 9. ábrán látható, a 8. ábrán látható fűtési és hűtési köpennyel („20”) ellátott kristályosodási



8. ábra. A TMF induktor axonometrikus képe a teljesen megépített a ferromágneses hidakban kialakított bemenetekkel, amelyekbe a kristályosodási csatornát helyezik („19”) a tekercsfejek bemutatása nélkül



9. ábra. A kristályosodási csatorna („21”) fűtő- és hűtőköpennyel („20”)

csatorna („21”) becsúsztható a TMF ikerinduktor ferromágneses hidjainak nyílásaiba.

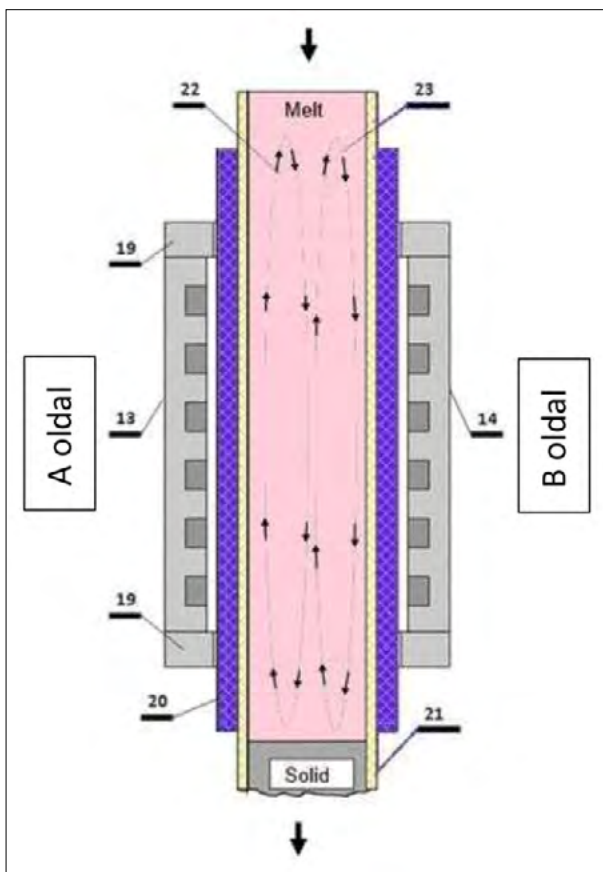
Sem a fűtő-hűtő köpeny, sem a kristályosítási csatorna nem tartalmazhat ferromágneses anyagot.

Az új típusú kristályosító berendezés három fő részből áll, az alábbiak szerint:

- i) TMF ikerinduktor („13”, „14”, „19”)
- ii) Kristályosítási csatorna hőszigetelő és fűtési-hűtési köpenye („20”)
- iii) Kristályosítási csatorna („21”)

A tekercsek célzott gerjesztésével három különböző mágneses mező hozható létre. Az „x” típus esetében a mágneses indukciós vektor („ B_x ”) merőleges az induktor falára, míg az „y” típus esetében párhuzamos az induktorok falával („ B_y ”) (11. ábra). Ezekben az esetekben a mágneses tér mindkét oldalon alulról felfelé vagy fordítva lefelé mozoghat. Az olvadék elmozdul, amint az a 2a. és 2b. ábrán látható. A különbség a két eset között az, hogy a keverő hatás erősebb „x” esetén egy adott gerjesztésnél.

A harmadik („xy”) variáció az „x” és „y” típusok kombinációjával hozható létre. A mágneses induktor vektor („ B_{xy} ”) tetszőleges szöget zár be 0 és 90 fok között az induktor falával, az induktorok gerjesztése nem azonos a két oldalon. Ennek eredményeként,

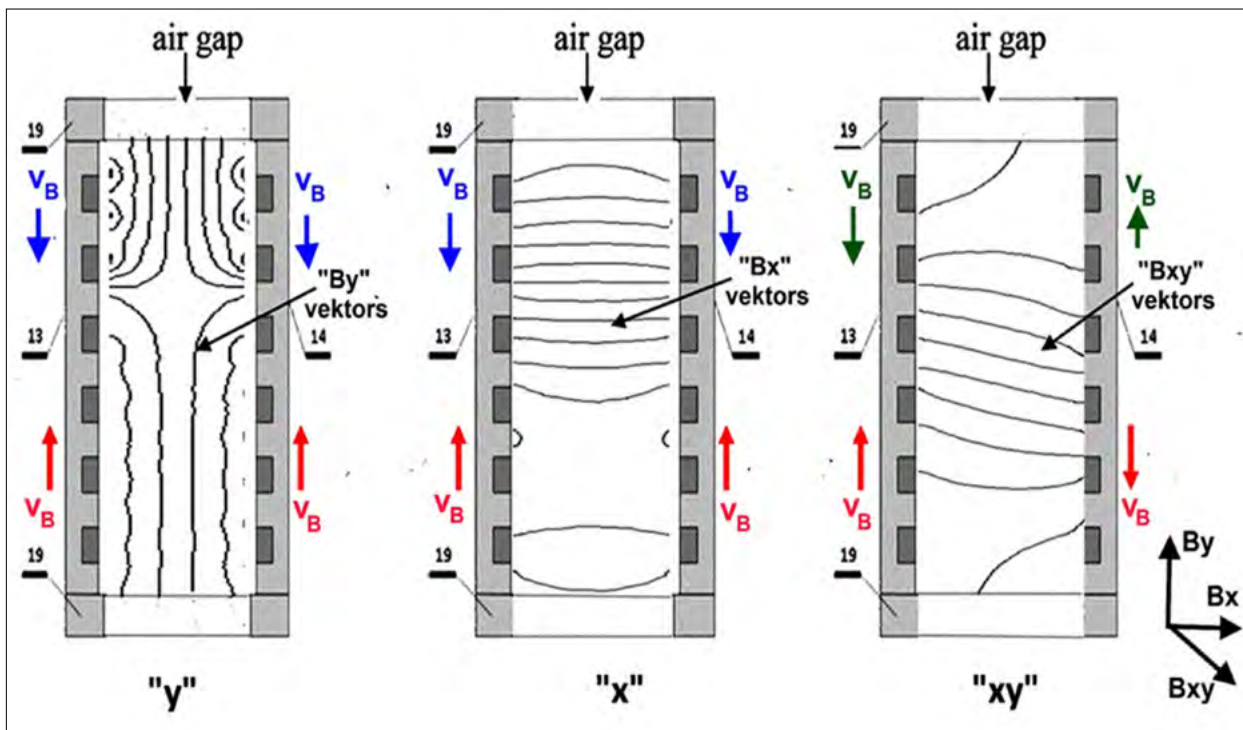


10. ábra. A TMF ikerinduktor által a kristályosodási folyamat során a keletkező olvadékáramlás képe: „22”: az induktor „A” oldalán keletkező olvadékáramlás iránya, „23”: az induktor „B” oldalán keletkező olvadékáramlás iránya

a mágneses indukciós mező ellentétesen mozog az induktor két falában. A kialakult olvadékáramlás a 3. ábrán látható. A minta közepén az olvadék az egyik oldalon felfelé, míg a másik oldalon lefelé mozog, és a legjelentősebb nyírófeszültséget fejleszt ki, amint azt korábban említettük. Az „xy” típusú keverést nem lehet előállítani a hengeres típusú induktorral.

Az új berendezés nem csak statikusan (álló olvadék esetén) hanem dinamikusan (folyamatosan befolyó olvadék esetén) is alkalmazható. Ez utóbbi esetben a kristályosítandó fémolvadék a kristályosodási csatorna felső nyílásán keresztül („21”) kerül az induktorok közé (10. ábra). Miközben az olvadék átfolyik az induktorok között, a TMF ikerinduktor által a kristályosodási csatornában generált mozgó mágneses tér hatására erősen keveredik, és a hűtőköpeny által biztosított hőelvonás hatására kristályosodik. Ezután a kristályosodási csatorna alján szilárd állapotban finom szemcsés szerkezettel távozik.

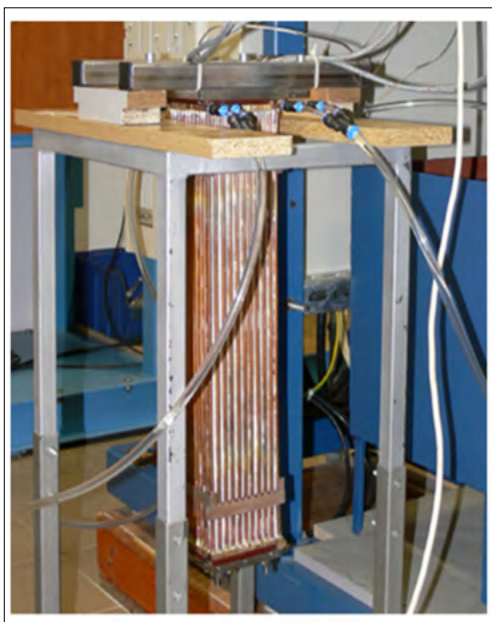
A megszilárdult szerkezetben kialakuló makrodúsulás kiküszöbölése érdekében az olvadék áramlási irányát 0,01–0,1 Hz frekvenciával változtatjuk meg a haladó mágneses tér irányának váltakozásával. A kísérleti berendezéssel előállított munkadarabok szemcsemérete (mint azt alább bemutatjuk) közel két nagyságrenddel finomabb, mint a szemcsefinomító anyag nélküli megszilárdult munkadarab szemcsemérete. Ennek alapján kijelenthető, hogy a finom szemcseméret szemcsefinomító anyag hozzáadása nélkül is előállítható.



11. ábra. A mágneses mező különböző típusai

3.2. Kristályosító berendezés haladó mágneses (TMF) keverővel

A 4. pontban bemutatott elmélet alapján laboratóriumunkban kristályosító berendezést terveztünk és építettünk egy függőleges Bridgman típusú csőkemencében, 4 fűtési zónával (12. ábra) és egy 2 pólusú TMF ikerinduktorral (13. ábra). A kemence belső (hasznos) átmérője 20 mm, hossza 200 mm. A kemence falát vízzel lehűtjük, hogy megvédjük az induktort a hőtől. A kemence maximális hőmérséklete 1000 °C, a maximális hőmérsékletgradiens ~10 K/mm. A minta mozgási sebessége 2 µm/s és 1000



12. ábra. Bridgman-típusú csőkemence 4 fűtési zónával



13. ábra. 2 pólusú TMF ikerinduktor (1) a kemencével (2) és a víztartállyal (3)

µm/s között változhat. A kemence teste alatt egy víz-hűtő kamra található, amelybe a kísérletek során a rézből készített hűtőtönkhöz merítjük.

A mozgó mágneses teret a kemencével párhuzamos, kétpólusú ikerinduktor hozza létre (13. ábra). Az ikerinduktor maximális mágneses indukciója és a maximális frekvencia 150 mT, illetve 75 Hz. A minta tengelyével párhuzamos irányban haladó mágneses tér intenzitása a kísérlet során állandó.

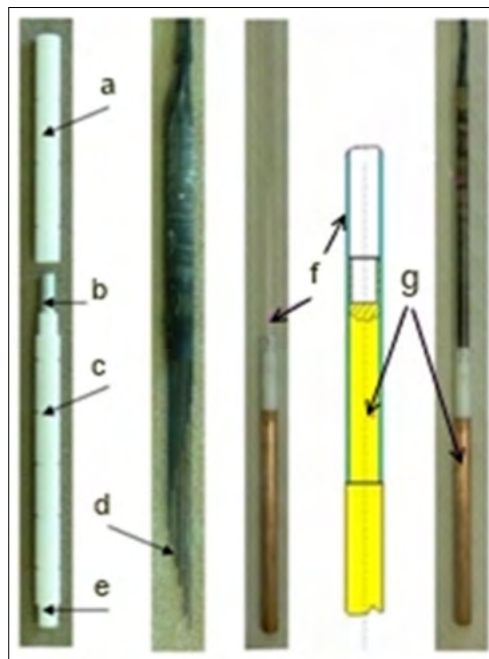
4. Kísérletek

4.1. Minta és mintatartó

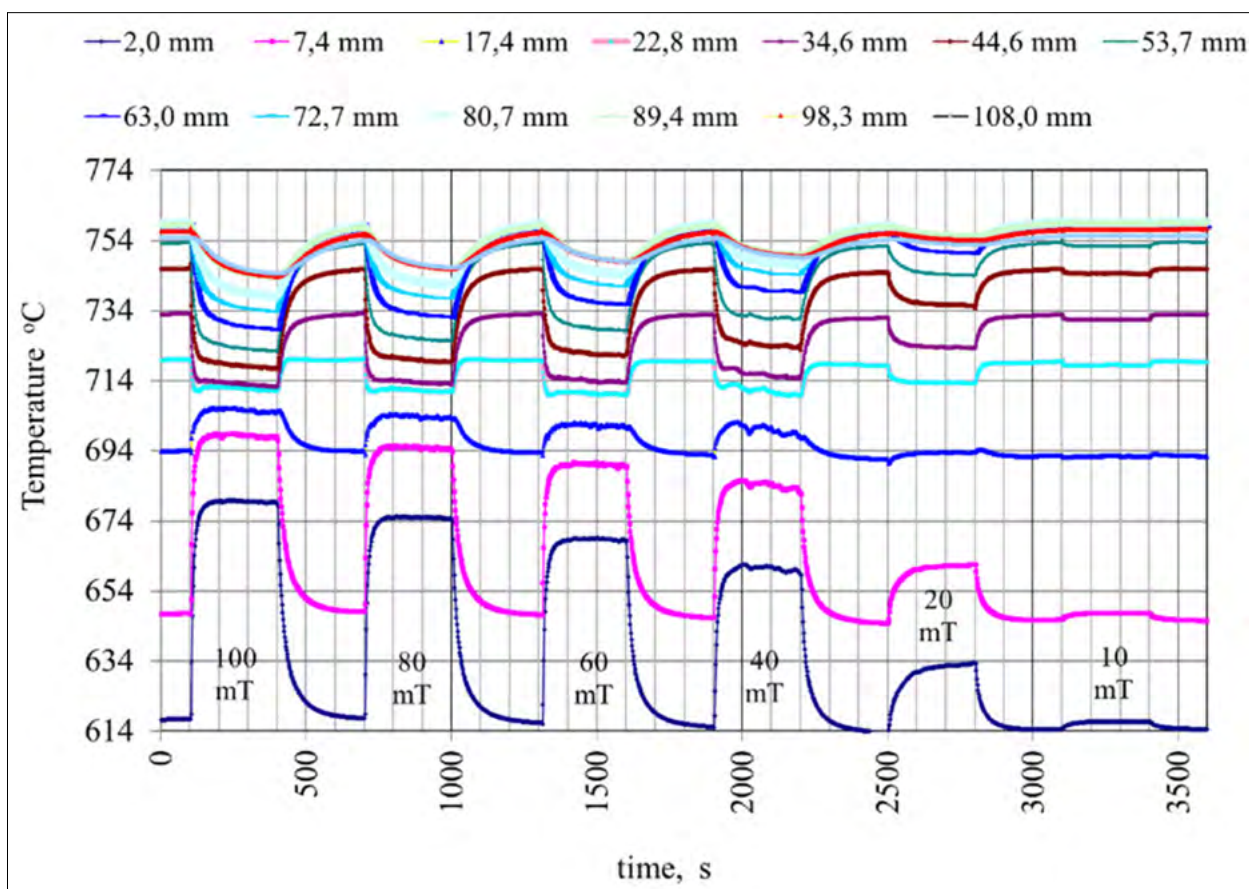
A kísérletek során két minta geometriát használtunk. A minta átmérője 8 vagy 20 mm, hossza pedig 110 vagy 60 mm volt (14. ábra). A mintatartó szerkezete a kétféle minta esetében azonos volt. A (b) mintát egy alumínium-oxid kapszulába (a, c) helyeztük. A hőmérséklet-eloszlást 13 helyen mértük K-típusú termoelemmel az alumínium-oxid kapszulák felületén (d). A termoelemekkel ellátott alumínium-oxid kapszulát kvarc csőbe (g) helyeztük. Alul a kvarccső a vízbe merülő réz hűtőtönkhöz kapcsolódott (h) a hőelvezetés növelése érdekében.

4.2. 1. kísérlet: A keverés hatása az olvadék hőmérséklet-eloszlására

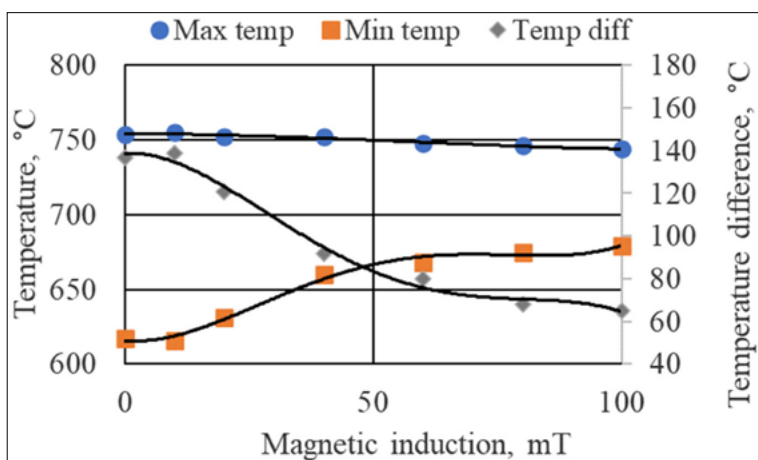
Az egyirányú kristályosodási kísérleteknél az olvadékokban hőmérséklet különbséget kell létrehozni oly módon, hogy a szilárd/olvadék (S/L) front előtt a hőmérséklet emelkedik. A mozgó mágneses tér hatására a hidegebb olvadék (amely az S/L határfelület közelében van) és a melegebb olvadék (amely távol van az



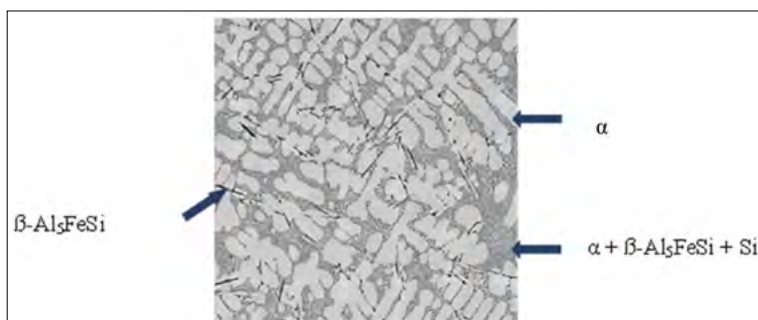
14. ábra. Minta és mintatartó



15. ábra. Az olvadék hőmérséklet-eloszlása különböző mágneses indukcióknál az idő függvényében



16. ábra. A maximális, minimális hőmérséklet és hőmérséklet-különbség a mágneses indukció függvényében



17. ábra. Al-7% Si-1% Fe ötvözet mikroszerkezete

S/L határfelülettől) keveredik, megváltoztatva a hőmérséklet-eloszlást.

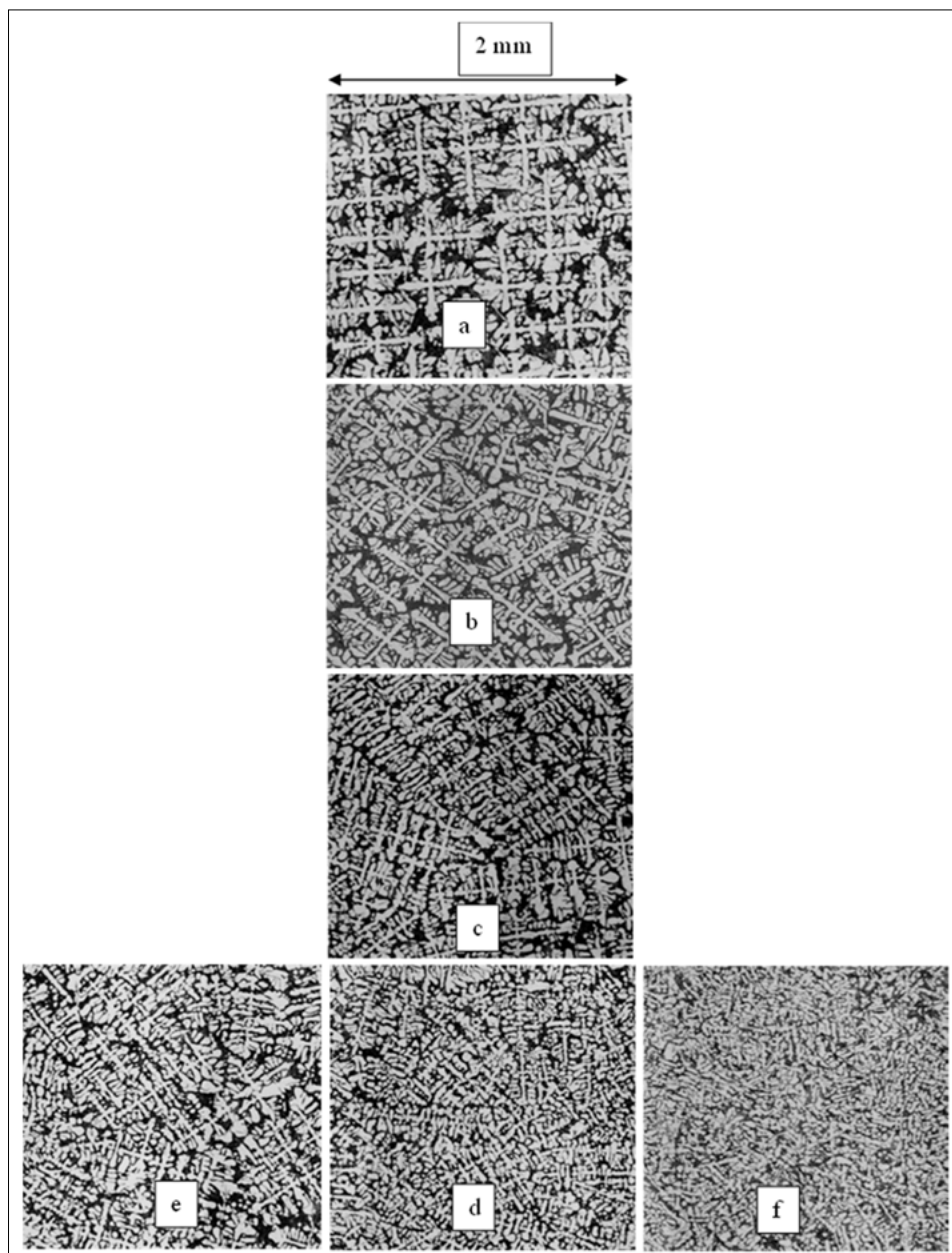
A 15. ábra a hőmérséklet-eloszlás változását mutatja a TMF „xy” típusú ikerinduktor be- és kikapcsolása után. Az Al-7%Si minta átmérője és hossza 8 mm, illetve 110 mm volt. A mintatartó szerkezete a 14. ábrán látható. A kísérlet elején a minta aljától 2 mm-re a hőmérséklet megegyezett az ötvözet likvidusz hőmérsékletével (614 °C) a tetején (108 mm-nél) pedig 750 °C volt. így gyakorlatilag az egész mintát megolvasztottuk. Az induktort 300 másodpercenként kapcsoltuk be és ki, a mágneses indukciót 100 mT-ről 20 mT-s lépésenként 20 mT-ra, majd végül 10 mT-ra csökkentve. A TMF által indukált olvadék áramlás eredményeként az olvadék hőmérséklete 2 mm és ~26 mm között emelkedett, ~26 mm és 110 mm között csökkent. A hőmérséklet növekvő és csökkenő értéke magasabb, a hőmérséklet különbség pedig a mintában kisebb a nagyobb mágneses indukciónál (16. ábra). Ez az in-

formáció felhasználható a kísérletek tervezésénél és az olvadákáramlás szimulációjában.

4.3. 2. kísérlet: A különböző típusú mágneses tér hatásának összehasonlítása a kristályosodott mikroszerkezetre

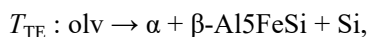
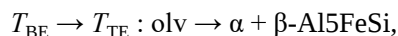
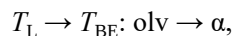
Egyirányú kristályosodási kísérleteket végeztünk három különböző típusú („x”, „y” és „xy”) típusú mozgó mágneses térrel. Az anyag Al-7%Si-1% Fe ötvözet volt. A hengeres minták méretei $\varnothing 8 \text{ mm} \times 110 \text{ mm}$, a hőmérséklet gradiens (G) 5 K/mm, a szilárd/olvadék front sebessége (v) 0.05 mm/s, a mágneses tér szinkron sebessége 29 m/s volt. Az első kísérletsorozattal a

különböző típusú mágneses mezők hatását vizsgáltuk. A mágneses indukció (B) 40 mT volt. Az „x” és „y” típusú kísérleteknél („a”, „b”, „c” minta), míg az „xy” típusú kísérleteknél („d”, „e” és „f” minta) a mágneses tér az egyik oldalon felfelé, a másik oldalon lefelé mozgott. A második kísérletsorozattal a mágneses indukció értékének hatását vizsgáltuk. Az „xy” típusú kísérletek esetében a mágneses tér 20, 40 és 80 mT volt, a kísérletek egyéb paraméterei megegyeztek az első sorozatával. A gyémántsztárral történő csiszolás és polírozás után a mintákat 2 tf% HF vizes oldattal marattuk a dendrites szerkezetet (18. ábra), majd Barker-oldattal (19. ábra) marattuk a szemcseszerkezet vizsgálatához.



18. ábra. Az Al – 7% Si – 1% Fe ötvözet egyirányú kristályosodásánál kialakult dendrites szerkezete. Maratás 2 tf% HF vizes oldattal. Hőmérsékleti gradiens (G): 5 K/mm, szilárd/olvadék front sebesség (v): 0,05 mm/s, mágneses indukció a: $B = 0 \text{ mT}$, b: $B = 40 \text{ mT}$, „x” típus, c: $B = 40 \text{ mT}$, „y” típus, d: $B = 40 \text{ mT}$, „xy” típus, e: $B = 20 \text{ mT}$, „xy” típus, f: $B = 80 \text{ mT}$, „xy” típus

A kristályosodási út a következő (17. ábra):



ahol

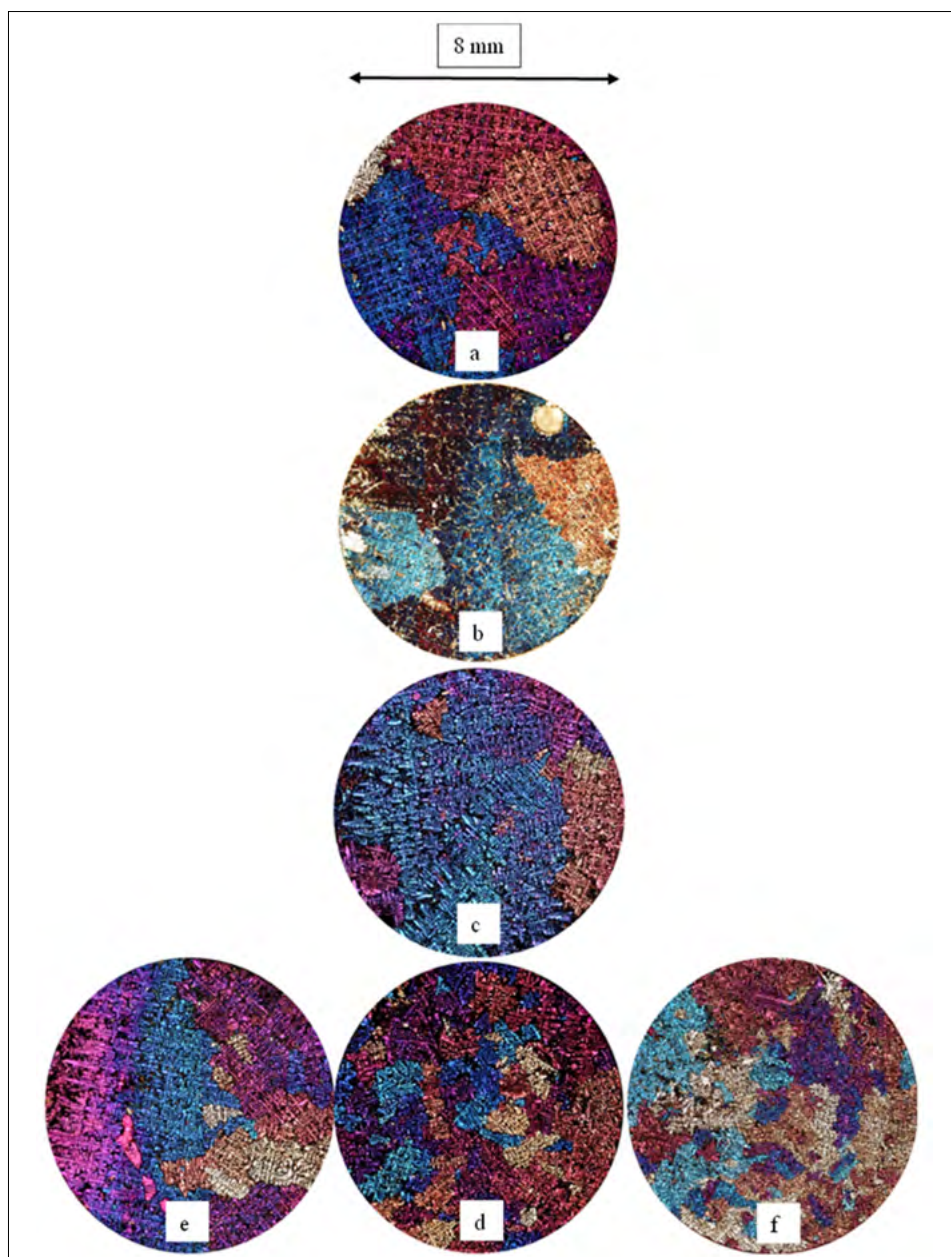
$T_L = 614^\circ\text{C}$, a likvidusz hőmérséklet,

$T_{BE} = 594^\circ\text{C}$ a binér eutektikum kristályosodásának kezdő hőmérséklete,

$T_{TE} = 574^\circ\text{C}$ a ternér eutektikus hőmérséklet.

Az ötvözet mikroszerkezete α alumínium szilárd oldatú dendritekből, binér ($\alpha + \beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$) és ternér ($\alpha + \beta\text{-Al}_5\text{FeSi} + \text{Si}$) eutektikumból áll. A binér eutektikum csak $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ vegyületből állt mert elfajult, az α fázis rákristályosodott az α dendritekre.

Az primer dendritág távolság (Primary Dendrite Arm Spacing, PDAS) mérhető volt az oszlopos szerkezetű „a”, „b”, „c” és „e” mintákban (18. ábra). A „d” és „e” minták ekviaxiális szerkezetűek. A „b” minta PDAS értéke hasonló, mint az „a” minta PDAS értéke, ami azt jelenti, hogy az „x” típusú 40 mT-s keverésnek nem volt hatása a PDAS-ra. Az „c” („y” típusú 40 mT-s keverés) minta PDAS értéke az „a”



19. ábra. Az Al – 7% Si – 1% Fe ötvözet egyirányú kristályosodásakor kialakult szemcseszerkezete. Maratás Barker oldattal. Hőmérsékleti gradiens (G): 5 K/mm, szilárd/olvadék front sebesség (v): 0,05 mm/s a: $B = 0$ mT, b: $B = 40$ mT, „x” típus, c: $B = 40$ mT, „y” típus, d: $B = 40$ mT, „xy” típus, e: $B = 20$ mT, „xy” típus, f: $B = 80$ mT, „xy” típus

1. táblázat. A 2. kísérlet paraméterei és a szemcseszerkezet

Minta	Indukció típusa	Mágneses indukció B , mT	Szemcsé-típus	Szemcseszám a keresztmetszeten	Átlagos szemcseterület mm^2	Átlagos szemcsé átmérő mm	PDAS μm	Speciális felület mm^2/mm^3
a	Nem kevert	0	oszlopos	11,00	2,28	0,85	449	126
b	„x”	40	oszlopos	10,00	2,51	0,89	438	132
c	„y”	40	oszlopos	20,00	1,26	0,63	269	158
d	„xy”	40	ekviaxiális	94,00	0,27	0,29	–	206
e	„xy”	20	oszlopos	24,00	1,05	0,58	366	163
f	„xy”	80	ekviaxiális	140,00	0,18	0,24	–	251

minta PDAS értékének körülbelül a fele, azaz az „y” típusú keverésnek jelentős hatása volt a PDAS értékére. Az „e” minta esetében („xy” típusú, de csak 20 mT-s keverés) a PDAS értéke a „b” és a „c” minta értéke közötti, azaz a keverésnek volt hatása, de a kisebb mágneses indukció miatt a hatás kisebb. A minták dendrites szerkezetét (ami a primer és szekunder dendritágakból áll) dendritek specifikus felületének nagyságával is jól lehet jellemezni. Ezt az értéket az u.n. körmeteszéses módszerrel mértünk. A specifikus felület értéke az indukció értékével nő (lásd „e”, „d” és „f” mintákat), azaz a dendrites szerkezet az indukció növekedésével egyre finomabb.

A minták szemcseszerkezete a mágneses tér típusával és a mágneses indukció értékével változik (19. ábra). A mágneses indukció a „b”, „c” és „d” minták esetében azonos, 40 mT volt. Az „a” mintában lévő szemcsék, amelyeket nem kevertek, durva oszloposak. A „b” minta szemcséi majdnem megegyeznek az „a” szemcsékkel, és a „c” is oszlopos, de kétszer finomabb, mint az „a” minta. A „d” minta szemcséi ekviaxiálisak, és a szemcseszámuk körülbelül tízszer nagyobb, mint az „a” és „b” mintáké (1. táblázat).

A mágneses indukció növekedésével a szemcsék finomabbak lesznek („e”, „d” és „f” minták). Az „e” minta szemcséi oszloposak ($B = 20$ mT), szemcseszámuk olyan, mint a „c” mintájé ($B = 40$ mT). Ez azt jelenti, hogy a 20 mT-s „xy” típusú keverés hatása hasonló az 40 mT-s „y” típusú keveréshez. Az „f” minta szemcseszerkezete 14-szer finomabb, mint az „a” mintájé.

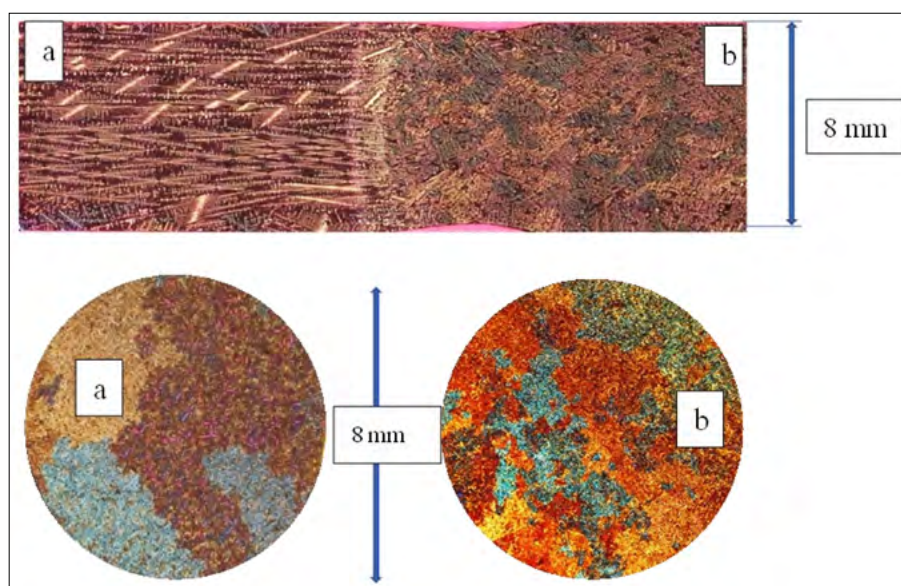
Ezek a kísérletek bizonyítják, hogy az „xy” típusú keverés a szemcsé-

finomítás és a dendrites szerkezet szempontjából is hatékonyabb, mint az „x” vagy „y” típus.

A TMF keverés nem hoz létre makrodúsulást a minta közepén. A TMF ikerinduktor mágneses tere mozgási irányának időszakos megváltoztatásával (akár másodperceként való megfordításával) kiküszöbölhető a minta szélén lévő kismértékű makrodúsulás is.

4.4. 3. kísérlet: A keverés hatása az oszlopos/ekviaxiális átmenetre (Columnar Equiaxed Transition, CET)

Az Al-10%Si-0,2%Fe ötvözetet az új TMF keverő „xy” típusú keverésével kristályosítottuk (20. ábra). A hőmérséklet-gradiens, a szilárd/olvadék front sebessége és a hűtési sebesség 5 K/mm, 0,2 mm/s és 1,0 K/s volt. A minta „a” részét nem kevertük, a „b” részt 110 mT-val kevertük, a frekvencia pedig 50 Hz volt. A minta átmérője 8 mm, hossza pedig 100 mm volt. A kristályosodás után két keresztmetszetet vágunk ki a mintából a TMF bekapcsolásának előtt és után, majd a két keresztmetszet közötti részt a minta tengelyével párhuzamosan vágtuk el. A metszeteket gyémántpasz-



20. ábra. Oszlopos/egyenlőtengelyes átmenet (CET) a hosszanti és keresztmetszeten

tával csiszolták és políroztuk, majd Barker-oldattal maratták.

A kristályosodási út a következő (17. ábra):

$$T_L \rightarrow T_{BE}: \text{olv} \rightarrow \alpha,$$

$$T_{BE} \rightarrow T_{TE}: \text{olv} \rightarrow \alpha + \beta\text{-Al5FeSi},$$

$$T_{TE}: \text{olv} \rightarrow \alpha + \beta\text{-Al5FeSi} + \text{Si},$$

ahol

$T_L = 590^\circ\text{C}$, a likvidusz hőmérséklet,

$T_{BE} = 578^\circ\text{C}$ a binér eutektikum kristályosodásának kezdő hőmérséklete,

$T_{TE} = 574^\circ\text{C}$ a ternér eutektikus hőmérséklet.

A TMF bekapcsolása után a mikroszerkezet azonnal finom oszloposról (20a. ábra) finomabb ekviaxiálisra változott (20b. ábra). Az oszlopos rész szemcseszám 16, míg az ekviaxiális részé 96, a keresztmetszeteken mérve. A kevert rész nem tartalmaz makrodúsulást. Ez a kísérlet azt mutatja, hogy az új típusú TMF keverés alkalmas az oszlopos mikrostruktúra kiküszöbölésére, amely a szerszám fala közelében lévő munkadarabokban alakul ki, és nagyon finom egyenletes mikroszerkezetet hoz létre makrodúsulás nélkül.

5. Összefoglalás és következtetések

Egyes ipari öntészeti technológiák (pl. acél, réz és nikkelötvözetek stb.) esetében lehetetlen finomítani a kristályosodott szemcseszerkezetet (az oszlopszerkezetet ekviaxiálisra változtatni), mert nem ismerünk hatékony szemcséfinomító anyagot. Ebben az esetben a szemcséfinomítás az olvadék keverésével történhet. Az áramló olvadék letör néhány apró részecskét a szilárd fázisból (a növekvő dendritből), heterogén csíra képződést eredményezve. Praktikus módszer erre a haladó mágneses mező általi keverés. Jelen cikkben a TMF induktor egy új típusát mutatjuk be, amellyel a kristályosodás során a kristályosodási csatornában és a keverék zónában lévő olvadékban erős turbulens áramlás és nagy nyírófeszültség alakul ki oly módon, hogy az olvadék egyes részei egymással szemben áramlanak. E módszer alapján kristályosodási berendezést terveztünk és építettünk. Ezzel a lehetőséggel három kísérletet végeztünk a módszer alkalmazhatóságának bemutatására.

Az első kísérlet azt mutatja, hogy a mágneses tér bekapcsolásakor az olvadék hőmérséklet eloszlása megváltozik. A TMF keverés hatására a minta magasabb hőmérsékletű részének hőmérséklete csökkent, míg az alacsonyabb hőmérsékletű rész hőmérséklete emelkedett. A hőmérséklet növekvő és csökkenő értéke nagyobb, a mintában kialakuló hőmérséklet kü-

lönbség pedig kisebb a nagyobb mágneses indukciónál.

A második kísérlet bebizonyította, hogy az ún. „xy” típusú mágneses tér (amikor a mágneses indukciós mezőt az induktorok két falában ellentétesen mozgatjuk, a nagy nyírófeszültség kialakulása érdekében) a leghatékonyabb, a legfinomabb szemcsés és dendrites szerkezetet produkálja, és a mágneses indukcióval növekedésével a mikroszerkezet egyre finomabb lesz. Az olvadék TMF-fel történő keverése nem hoz létre makrodúsulást a minta közepén, szemben az RMF keveréssel.

A TMF ikerinduktor mágneses terének mozgási irányának időszakos megváltoztatásával kiküszöbölhető a minta szélén lévő kismértékű makrodúsulás. TMF ikerinduktorunkkal a mágneses tér mozgási iránya akár másodpercenként megfordítható.

A harmadik kísérletben kimutattuk, hogy a TMF bekapcsolása után a mikroszerkezet azonnal oszloposról ekviaxiálisra változik. Ez a kísérlet azt mutatja, hogy az új típusú TMF keverés alkalmas a munkadarabokban kialakuló oszlopos mikroszerkezet megszüntetésére a forma falánál, és nagyon finom egyenletes mikroszerkezetet hoz létre makrodúsulás nélkül.

Szabadalom

Hungarian patent: Rónaföldi Arnold, Roósz András: „Eljárás és berendezés kristályosodás során kialakuló szemcseszerkezet finomítására/Method and equipment for refinement of solidified grain structure”. Patent number: HU 231169.

Köszönetnyilvánítás

Jelen munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Vizsgálati Hivatal (130946. sz. „Kristályosított mikroszerkezet és makrodúsulás kialakulása egyirányú kristályosodás során szabályozott áramlási körülmények között” című projektje támogatta.

Irodalom

- [1] Mansoor M, Shahid M.: On the designing, efficiency, and stirring force of an induction coil for the processing of prototype Al based nanocomposites. Journal of Metallurgy. 2014; 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/637031>
- [2] Sigworth GK, Kuhn TA: Grain refinement of Aluminium casting alloys. AFS Transactions © American Foundry Society, Schaumburg, IL USA. 2007; 1–12. Int. J. Metalcasting 2007; 1: 31–50. <https://link.springer.com/article/10.1007/bf03355416#citeas>
- [3] Mark Easton, Cameron Davidson, David StJohn: Grain Morphology of As-Cast Wrought Aluminium Alloys. Materials Transactions 2011; 52/5: 842–847. <https://doi.org/10.2320/matertrans.L-MZ201118>

- [4] Kori SA, Murty BS, Chakraborty M.: Development of an efficient grain refiner for Al-7Si alloy. *Mater. Sci. Eng. A*. 2000; 280: 58–61. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00656-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00656-5)
- [5] Li HT, Xia M, Ph. Jarry, Scamans GM, Fan Z.: Grain refinement in a AlZnMgCuTi alloy by intensive melt shearing: A multi-step nucleation mechanism. *J. Cryst. Growth*. 2011; 314/1: 285–292. <https://core.ac.uk/download/pdf/337304.pdf>
- [6] Zimmermann G, Sturz L, Walterfang M, Dagner J.: Effect of melt flow on dendrites growth in Al-Si7-based alloy during directional solidification. *Int. J. Cast Metals Research*. 2009; 22: 335–338. <https://doi.org/10.1179/136404609X368154>
- [7] Zimmermann G, Vitusevych WT, Sturz L.: Microstructure formation in AlSi6Cu4 alloy with forced melt flow induced by a rotating magnetic field. *Mater. Sci. Forum*. 2010; 649: 249–254. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.649.249>
- [8] Nikrityuk PA, Eckert K, Grundmann R.: A numerical study of unidirectional solidification of a binary metal alloy under influence of a rotating magnetic field. *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 2006; 49/7–8: 1501–1515. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.08.035>
- [9] Eckert S, Nikrityuk PA, Rábiger D, Eckert K, Gerbeth G.: Efficient melt stirring using pulse sequences of a rotating magnetic field. *Metall. Mater. Trans. B*. 2007; 38B/6: 977–988. <https://doi.org/10.1007/s11663-007-9096-4>
- [10] Veres Zs, Roósz A, Rónaföldi A, Sycheva A, Svéda M.: The effect of melt flow induced by RMF on the meso- and micro-structure of unidirectionally solidified Al–7wt.% Si alloy Benchmark experiment under magnetic stirring. *J. Mater. Sci. Technol*. 2021; 103: 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.06.060>
- [11] Zaidat K, Ouled-Khachroum T, Vian G, Garnier C, Mangelinck-Noël N, Dupouya MD, Moreau R. Directional solidification of refined Al-3.5wt% Ni under natural convection and under a forced flow driven by a travelling magnetic field. *J. Cryst. Growth*. 2005; 275/1–2: e1501–e1505. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2004.11.182>
- [12] Su Yan-Qing, Xu Yan-Jin, Zhao Lei, Guo Jing-Jie, Fu Heng-Zhi: Effect of electromagnetic force on melt induced by travelling magnetic field, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 2010; 20/4: 662–667. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60195-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60195-3)
- [13] Zou QC, Jie JC, Liu SC, Wang TM, Yin GM, Li TJ: Effect of traveling magnetic field on separation and purification of Si from Al–Si melt during solidification. *Journal of Crystal Growth* 2015; 429: 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.08.015>
- [14] Qin L, Shen J, Feng Z, Shang Z, Fu H: Microstructure evolution in directionally solidified Fe–Ni alloys under traveling magnetic field. *Materials Letters* 2014 Jan 15; 115: 155–158. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.082>
- [15] Min Z, Shen J, Feng Z, Wang L, Wang L, Fu H: Effects of melt flow on the primary dendrite spacing of Pb–Sn binary alloy during directional solidification. *Journal of Crystal Growth* 2011 Apr 1; 320/1: 41–45. <http://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2011.01.013>
- [16] Qin L, Li Q, Liu W: Modeling and experiments on electromagnetic separation of inclusions from Aluminum melt under combined magnetic field. *Rare Metal Materials and Engineering* 2014 Aug 1; 43(8): 1793–1797. [https://doi.org/10.1016/S1875-5372\(14\)60133-8](https://doi.org/10.1016/S1875-5372(14)60133-8)
- [17] He Y, Li Q, Liu W: Effect of combined magnetic field on the eliminating inclusions from liquid aluminum alloy. *Materials Letters* 2011 Apr 30; 65(8): 1226–1228. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.01.061>
- [18] Rónaföldi A, Roósz A: Method and equipment for refinement of solidified grain structure. Patent number: HU231169. 19 May 1970.



Article

New Equipment and Method for Refining the Solidified Grain Structure

Arnold Rónaföldi ^{1,2}, Zsolt Veres ^{1,2}, Mária Svéda ^{1,2} and András Roósz ^{1,2,*}

¹ Institute of Physical Metallurgy, Metal Forming and Nanotechnology, University of Miskolc, H-3515 Miskolc, Hungary; rarnold@digikabel.hu (A.R.); femvezso@uni-miskolc.hu (Z.V.); femmaria@uni-miskolc.hu (M.S.)

² MTA-ME Materials Science Research Group, ELKH, H-3515 Miskolc, Hungary

* Correspondence: femroosz@uni-miskolc.hu

Kritikus nyersanyagok Magyarország Adatgyűjtemény: Berillium, titán, platinacsoport, hafnium, szkandium Magyarországon

Critical Raw Materials Hungary Data Collection: Beryllium, titanium, platinum group elements, hafnium, scandium in Hungary

MÁDAI FERENC, egy. docens; FÖLDESSY JÁNOS, professzor emeritus;
HANKOVSKY INGRID, MSc-hallgató, LUKÁCS GÁBOR, MSc-hallgató

TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem, Miskolc

A Miskolci Egyetem Föld- és Környezettudományi és Műszaki Karának Természeti Erőforrás Kutatási és Hasznosítási (TEKH) Szakkollégiuma 2023-ra célul tűzte ki, hogy különös figyelmet fordít a kritikus nyersanyagokra (CRM). Az egyes nyersanyagtípusok bemutatása mellett fontos a hazai CRM-anomáliák ismertetése is. Korábbi cikkünkben bemutattuk a ritkaföldfémek dúsulásait hazánkban, a geológiai formáció típusától függetlenül. Jelen cikkben a különféle egyéb kritikus nyersanyagokat, a berilliumot, a platinacsoport elemeit, a hafniumot, a titánt és a szkandiumot foglaljuk össze.

Kulcsszavak: kritikus nyersanyagok, titánérc, hafnium, berillium, Magyarország

The Natural Resources Research and Utilization (TEKH) Special College of the Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering, University of Miskolc set a goal in 2023 to pay special attention to critical raw materials (CRM). In addition to presenting the individual raw material types, it is also important to describe the Hungarian CRM anomalies. In our previous paper we presented the REE enrichments in Hungary regardless of the type of geological formation. In the present article miscellaneous other critical raw materials, beryllium, platinum group elements, hafnium, titanium, scandium are summarized.

Keywords: critical raw materials, titanium ore, hafnium, beryllium, Hungary

Bevezetés

A kritikus nyersanyagok olyan csoportját foglaltuk össze ebben az áttekintésben, amelyeket a hagyományos ércfeldolgozásban a hazai technológiák alkalmazói korábban nem tartottak kinyerhetőnek (pl. a titán fém a bauxitokból). Jelenlétük, dúsulásuk csak néhány elemzés alapján ismert, de néhány helyen potenciálisan jelentős, gazdaságos termelést lehetővé tevő nyersanyag források lehetnek.

A nemzetközi helyzetkép ezen elemek esetében (a titán kivételével) hézagos. Nem szerepelnek a nyilvános nyersanyag piacokon, kis volumenű a termelésük is, globálisan évente néhány tíz – néhány ezer tonna. Ugyanakkor nélkülözhetetlen és több stratégiai ipari alkalmazásban nem helyettesíthető nyersanyagok, mint például a platinafémek a katalizátorokhoz. A legtöbb esetben ezek a kritikus elemek más hasz-

nos nyersanyag összetevőkkel együtt dúsulnak, azaz a fő komponensek kinyerésével jelentős értékű melléktermékeként kell ezeket számba venni. Egyúttal minden esetben a kinyerési technológiák esetében további részletes adatgyűjtés szükséges, mivel ezeknek a kritikus nyersanyag-összetevőknek a kinyerésére az elmúlt években születtek új megoldások, amelyek erősen befolyásolhatják egy előfordulás ásványvagyonának gazdasági megítélését.

A hazai dúsulás előfordulásokat kijelölésénél a korábban is alkalmazott eljárást követtük. Azokat tekintettük nyilvántartásra érdemes előfordulásnak, ahol az ismert geokémiai adatokból becsült CRM-tartalom eléri a mai árak szerint a 10 USD/tonna közet koncentrációt. Az 1. táblázat azokat a jelenlegi fémárakat tartalmazza, amelyeket referenciaként használtunk. A sokféle lehetséges árváltozat közül a legalacsonyabb

feldolgozottsági szintű piaci termék árát választottuk. A hivatkozott ár a USGS 2025 nyersanyag-összefoglalóban szereplő 2024. évi átlagár volt [1].

1. táblázat. Az összesítésben szereplő nyersanyagok esetében a kiemeléshez használt koncentráció-küszöbértékek [1]

Ar	USD/gramm	USD/tonna	küszöb g/t	küszöb %
Sc	0,36		28	
Hf	4,6		2	
Be	1,5		7	
Ti		3200		0,31
V	0,01		831	
Pt	31,51		0,32	
Pd	30,54		0,33	
Os				
Ir	154,33		0,06	
Rh	147,90		0,07	
Ru	14,15		0,71	

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2Q25.pdf>

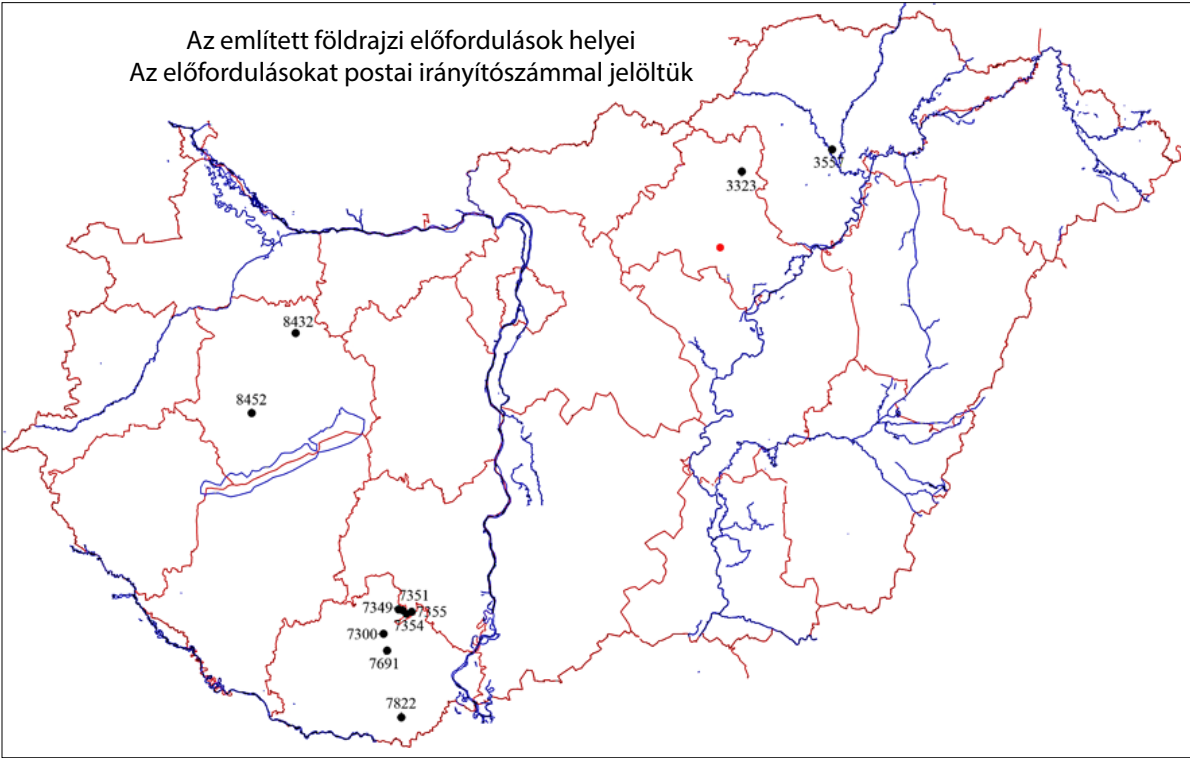
Az 1. ábrán azokat az előfordulásokat ábrázoltuk Magyarország térképén, amelyekről geokémiai adatok rendelkezésre álltak, és ezek meghaladták az 1. táblázatban összefoglalt küszöbértékek valamelyikét.

Berillium

Az univerzumban és a földkéregben is ritka elem. A föld felső kérgében 2,1 ppm, alatta 2,8–3 ppm az átlagos koncentrációja. Be-dúsulás jelentkezhet magmás kőzetek mállása során, így agyagokban, bauxitokban, de kőszekenben is. A jelenlegi termelés döntő része bertranditből ($\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$) származik, melynek legfontosabb lelőhelye az USA-ban Utah államban található – Spor Mountain, ami a globális Be-kitermelés 63%-át adja, és mintegy évi 150 tonna Be fémeket jelent. A Spor Mountain földtani készlete (valószínűsített + bizonyított) mintegy 20 000 t Be, ami még 75 évre elegendő nyersanyagot jelent a jelenlegi ütemű kitermeléssel [2].

A Be kis fajsúlya és magas keménysége, merevsége és olvadáspontja miatt számos stratégiai ipari alkalmazáshoz fontos. A réz ötvöző fémeként (0,2–2% Be) használják jelentős mennyiségben, ez adja az EU felhasználás 80%-át [2], ami a nagy teljesítményű transzformátorállomásokhoz és mechanikai alkatrészekhez szükséges a védelmi, közlekedési és energia-szektorokban.

Az Európai Digitális Földtani Adatbázis (EGDI, europe-geology.eu) nyilvántartása szerint nagyobb Be-előfordulások Ausztriában (Spittal/Wolfsberg, Markogel), D-Csehországban, Franciaországban (Bretagne), ÉK-Spanyolországban és Ukrajnában ismertek. Emellett kisebb előfordulások Skandináviában, a Pireneusokban, D-Franciaországban találhatók. Ezen területek döntően granitoidokhoz kötődnek. Az EU-



1. ábra. A magyarországi előfordulások földrajzi helyzete

ban ismert Be ásványvagyon mindössze 12 tonnára becsülhető [2], kitermelés sehonnán nem ismert az EU-ban.

Bükk

A bükk-szentkereszti környéki metavulkanitokon több korai radiometria felmérés és terepi vizsgálat történt, melyek során magas Be-tartalmat észleltek [3]. A Criticel újra mintázás során Bükk-szentkereszt Hősök-forrás közelében egy magas U-tartalmú foszforit-területet találtak (a triász Bagolyhegyi Metariorit Formációban), amely Be-t (kb. 100–300 g/t, maximum 421 g/t), 100–400 g/t U-t, valamint jelentős mennyiségű foszfort, mangánt, ólmot, cinket és ritka földfémeket tartalmazott [4].

Mecsek

A mecseki szénmedencében számos mintázott szénlelőhelyen jura kori fekete szenekben magas Be-tartalmat elemeztek a korai vizsgálati programok során 430 g/t Be-maximummal [5]. Egy későbbi országos szén mintavételi projekt két komlói mintában átlagosan 860 g/t Be-tartalmat mutatott ki [6]. A Criticel program által ugyanebben a rétegcsoporthoz tartozó legújabb vizsgálatok maximum 23 g/t Be-értéket találtak (Nagymányok). A Karolina bánya mintavételi sorozata 8–54 g/t Be-t mutatott [7]. Ennek alapján a Be-tartalom egyértelműen anomáliás minden sorozatban, bár a megbízható, friss vizsgálati adatok nagyon kevesek ahhoz, hogy eldöntsék a fém lehetséges kinyerésének perspektíváját.

Hafnium

A hafnium 2017 óta szerepel az EU CRM listáján. Természeti előfordulása (és így termelése is) lényegében a cirkóniumhoz kapcsolódik, a cirkon-ásványokban a Zr-t max. 2% mértékig helyettesíti. Felhasználása a nukleáris iparhoz, az űriparhoz és egyéb ágazatokhoz kapcsolódik, szuperötvözetek formájában.

A hafnium a cirkóniumgyártás bizonyos szakaszának mellékterméke. A két legnagyobb termelő Franciaország és az Egyesült Államok, amelyek a globális hafniumtermelés közel 90%-át adták 2019-ben [8]. Az EU-ban hafniumot Franciaországban, import nukleáris fűtőanyag-nyersanyagból állítják elő a cirkóniumfém-gyártás melléktermékeként. Európában ismert erőforrások vannak Svédországban 6781 tonna, valamint potenciális előfordulás Finnországban, Sokliban. Norvégiában és Svédországban minden cirkóniumban gazdag ásványkincs egyúttal potenciális hafniumforrást is jelent. Az EU-ban nyilvántartott egyetlen jelentős hafnium-ásványvagy a svédországi Norra Kärr fejlesztés alatt álló lelőhelye, ahol a HfO_2 dúsulása

átlagosan 338 ppm. A Kárpát-medence környezében jelentősebb Hf dúsulására nincs adat.

Hazai elemzési adatok Hf dúsulásáról nagyon kevés területről ismertek. Ezek közül egyedül a Mecsek hegység jura kőszéntelepes összlet közetei haladják meg a 10 USD/tonna kőzet küszöbértéket

Mecsek

Nagy cirkon és hafnium koncentrációkat rögzítettek a jura feketeszenekben. A nagymányoki minták mutatták legnagyobb Hf-értéket (24 g/t), de hasonló értékeket kaptak Vasasban is (a természetes kokszt 23 g/t Hf legmagasabb értékével az alkáli bazalt kontaktusánál). A Vasasi kőfejtő közeteinek átlagos Hf-tartalma 11 ppm, ami körülbelül 10-szeres dúsítást jelent a szenek átlagos tartalmához képest. A kapcsolt Zr-tartalmak elérik a 2500 g/t-ot, de ezekből a mintákból Hf adatok nincsenek. A Zr-tartalmat részletesen vizsgálták, a cirkon mint a fő Zr-hordozó ásványi komponens jelenlétében a jura szenekben és a kapcsolódó üledékekben, 1–15 mikrométeres szemcseméretű tartományban [9].

Titán

A titán a földkéregben a kilencedik leggyakoribb elem, a földkéreg 0,52%-át alkotja, természetben leggyakrabban oxidokat képez. A titánban gazdag ásványok mállással szemben ellenállóak, ezért gyakori alkotók a törmelékeny üledékes kőzetek nehézasványjaiban. Jelentős lelőhelyei ezért egyrészt bázikus és ultrabázikus (ortomagmás) magmatitokhoz, alkáli magmatitokhoz, másrészt torlatokhoz kapcsolódik. A titángazdag magmás eredetű lelőhelyekben a fő érc-ásványok az ilmenit és a titanomagnetit, torlatokban leginkább a rutil és az ilmenit jelentkezik [10]. A kitermelt ércből döntően kétféle alapanyagot készítenek: titán-dioxidot és szivacs titánt, ami 99,1–99,7% tisztaságú termék, és alapanyaga a különböző tisztaságú finomított titánfémnek. A globális felhasználás 95%-a TiO_2 formában hasznosul, döntően a fehér festékek gyártásánál. A titánfém alkalmazásnál döntő szerepet játszanak az előnyös tulajdonságok: kisebb fajszám, nagyobb mechanikai szilárdság, magas olvadáspont, kis hőtágulás. Ezek miatt a titán fontos alapanyag a repülő- és űriparban, védelmi iparban, orvosi alkalmazásoknál. Filmbevonatként korróziógátló tulajdonságot ad a fém alkatrészeknek [11].

Az EU kitermelése az orosz és ukrán gyártók felé 2022-ben finomítatlan Ti-alapanyagokra összesen 24% volt, míg a finomított alapanyagok 21%-a származott Oroszországból [11]. Oroszország 2008 óta különleges stratégiai terméknek tekinti a titánfém alapanyagokat, ezekre az Ural-ban egy összetett ökoszisztéma jött létre, melynek fő vevői közé tartozott

az Airbus és a Boeing is. 2021-ben Oroszország a titántermékek harmadát az USA-ba, 43%-át az EU-ba exportálta. Az ukrán titántermékek 60%-a került az EU-ba. Az orosz és ukrán forrásokból származó EU import 46%-a Franciaországba ment (Airbus) 2022-ben, 28% Olaszországba, 22% Németországba, a többi tagállam részesedése néhány százalékos. Az orosz és ukrán alapanyagot a háború kezdete óta döntően az USA, Japán és kínai import növelésével lehetett kiváltani. Az orosz titán művekben előállított termékek a repülőgép ipar számára olyan különlegesek, amelyeket nagyon nehéz más forrásból pótolni, erre leginkább az USA képes [12].

Európában jelentősebb titánérc-előfordulások Skandináviában, Ukrajnában, NY-Franciaországban, Portugáliában és Romániában vannak (Minerals4EU). Európában titán nyersanyag kitermelés csak Norvégiában (2023-ban: 290 660 t) és Ukrajnában (2023-ban 147 700 t) történt. Az ukránkitermelés 2022-ben közel negyedére zuhant. Európában szivacs titán előállítás nincs, csak kevés (az EU kereslet 4,9%-a) öntvény titán előállítás folyik, de import nyersanyagból [13].

Az elsődleges nyersanyagok között két fajta előfordulás hordozhat gazdasági lehetőséget Magyarországon.

Bakony

A Bakony és a Vértes vonulatában számos kisebb-nagyobb, már letermelt (pl. Iharkút) vagy leállított (pl. Nyírád) esetleg megkutatott, de le nem termelt (pl. Nagyegyháza) bauxit-előfordulás ismert, az összes megkutatott bauxit-ásványvagyron 123 millió tonna [14]. A bauxitok átlagos TiO_2 -tartalma 2%, azaz az összesített ásványvagyron kb. 2,5 millió tonna TiO_2 -tartalom becsülhető. Ez azonos a világ többi bauxitjának átlagos titán tartalmával. A gazdaságos kinyerésre jelenleg folynak (vörösiszapból) ígéretes technológiai fejlesztések Oroszországban [15], Kínában [16].

Bükk, Szarvaskő

A DNY-Bükkben, illetve attól ÉÉK irányban, egészen az országhatárig több ultrabázisos, illetve alkáli bázisos intruzív test ismert. Szarvaskőn részletesebb vasérckutató folyt az 1940–50 közötti időszakban, amelynek során több ponton tárták fel az akkor wehrliknek nevezett titanomagnetit-tartalmú kőzetváltozatot [17]. Ebben az elemzések szerint a TiO_2 -tartalom 6–14% között változó. A kutatás akkor vasércre sikertelen volt. Az ércesedett zóna tömegbecslése nem történt meg. A jelenlegi technológiai fejlesztések szerint ez az érc típus alkalmas lehet primér titánérc-termelés-

re, magnetit, vanádium és szkandium melléktermékekkel.

Platinafémek

A platinacsoport elemei (PGE) közé tartozik a platina (Pt), palládium (Pd), ródium (Rh), irídium (Ir), ruténium (Ru) és ozmium (Os). Ezek az elemek a periódusos rendszer 8., 9. és 10. csoportban találhatók, az átmeneti fémek között. Kémiai tulajdonságaik nagyon hasonlóak, de fizikai tulajdonságaik eltérőek. Elektronszerkezetük stabil d-mezővel rendelkezik, amely különleges katalitikus és kémiai tulajdonságokat adja. Korrozíóval és oxidációval szemben nagyon ellenálló, ezért a nemesfémek csoportjába sorolják őket. Emellett magas olvadáspontjuk, elektromos vezetőkéességük, nem toxikus jellegük (kivéve Os) miatt alkalmazzák a high-tech iparban és gyógyászatban.

A platina (Pt), palládium (Pd), és ródium (Rh) a „könnyebb” PGE csoportba tartoznak. Az irídiumot (Ir), ruténiumot (Ru), és ozmiumot (Os) a „nehezebb” PGE-ként tartják nyilván, főként magasabb olvadáspontjuk miatt.

Az éves globális kitermelés 500 tonnánál kevesebb, de a világgazdaság számára nélkülözhetetlen elemek. A PGE-k rendkívül fontosak az autóiparban, különösen a katalizátorok gyártásához. Szerepük van a hidrogéntekológiákban (üzemanyagcellák katalizátorai), az elektronikai iparban (érintkezők, vezetők) és az orvosi eszközökben (implantátumok). Az ipari kereslet folyamatosan nő, különösen a globális energiaváltás és zöld technológiák térnyerése miatt. Legnagyobb mennyiségben palládiumot termelnek, a 2016–2020 közötti átlagos éves kitermelés 213 t volt. Második a platina (185 t/év átlag), harmadik a ródium (23 t/év átlag). A további három PGE (Ir, Ru, Os) kitermelése egybe véve érte el a 35 t-s átlagot [18].

A Pd és Pt felhasználása 90%-ban a gépjárműiparban történik katalizátorok esetén a károsanyag-kibocsátás csökkentésére. A fennmaradó 10% a vegyipari, elektronikai, orvosi és ékszer szektorok között oszlik meg. Katalizátorként való felhasználásban a PGE fémek helyettesíthetők, ami az áringadozásokkal szemben némi pufferhatást okoz. Ezeket a fémeket együtt kutatják, elemzésük speciális, külön mintavételt követel. Piaci áruk, gyakoriságuk erősen eltérő. A földtani közegben megjelenő platinafémeknek hazai elemzési bázisa ma nincs, összes információnk külföldi laboratóriumok eredményein alapul.

Platina esetében a 2021-es adatok alapján [19] a legnagyobb termelő a világtermelés 74%-át adó Dél-Afrikai Köztársaság, második 10%-kal Oroszország. További fontosabb termelők Zimbabwe, USA és Kanada. Palládium esetében a szereplők nem, de az arányok változnak: első volt 40%-kal Oroszország, majd 39%-kal Dél-Afrika, 13%-kal É-Amerika és

6%-kal Zimbabwe következett. Az EU importfüggősége a primér platinafém nyersanyag esetében közel 100%. Csekély termelés Finnországban (933 kg Pt, 762 kg Pd) és Lengyelországban (6 kg Pt, 5 kg Pd) van [13]. Az EU termelés primér nyersanyagból a kereslet 1%-át sem teszi ki, viszont az újrahasznosított platinafém mennyisége 15%.

A 2024. évi elfogadott 47 CRMA stratégiai projekt közül hat irányul részben, vagy egészében PGE termelésre. Ezek közül négy újra hasznosítási projekt, melyek Olaszországban, Spanyolországban és Lengyelországban valósíthatók meg, kettő pedig bányászati: Sakkati, Finnország, Aguablanca, Spanyolország [20].

Az EU számára kiélezett helyzetet okoz a PGE-ellátás szempontjából az orosz–ukrán háború, mivel az EU platinabeszerezésének 10%-a Oroszországból származott 2021-ben, míg palládium esetében ez 40% volt. Az EU szankciók az orosz PGE-termékek behozatalát nem érintették, de fokozatos átállás történik más források irányában, elsősorban Dél-Afrika és Zimbabwe felé. Az újrahasznosítási projektek is segítenek a függetlenedésben, de nem tudják kiváltani az orosz forrást [19].

Csak néhány földtani előfordulási típusból van elemzési adatunk, ezek közül a recski előfordulás rendelkezik gazdasági potenciállal.

Mátra, Recsk

Az első írásos recski információ platinafémekről 1967-ből származik, lahócai dúsérc- és dúsítmány-mintákból (10 minta) kombinált nedveskémiai – szinkép eljárással a legmagasabb mért koncentráció a tennantitban (0,56 ppm), a legalacsonyabb a piritben és markazitban (0,07) jelentkezett, a dúsítmányban 0,12 g/t értéket mértek [21].

A következő mintázási program a MÁFI és a GTK (Finn Földtani Szolgálat) (18 db minta) együttműködésében folyt [22]. Az összemérések során öt mélyszinti vágatminta (–700, –900 szint) közül a –900 szintű egyik minta hordozott nagy (>0,5 g/t feletti) Pt- és szintén hasonló jelentős Rh-dúsulást a MÁFI és a GTK ICP-MS méréseiben egyaránt. Nem volt viszont jó megfelelés a savas feltárási és a tűzi mérések eredményei között, ezért ez további vizsgálatra szorul.

Az ELTE kutatói által vezetett OTKA-projekt során [23] az összes érchordozó szerkezetben kimutatták a Pd 0,05–0,1 ppm körüli dúsulásait, továbbá esetenként a Pt 0,07–0,41 ppm közötti koncentrációit és egy esetben a Ru 0,2 ppm mennyiségű jelenlétét. A jelentős nemesfém-koncentrációkkal jellemzett mintákban egyúttal a Cu, As, Sb, Sn és S kiugró mennyiségeit találtuk, tehát a platinafém-dúsulások feltételezhetően az enargit-luzonit képződési folyamataihoz társulnak.

A mélysztint Pt- és Pd-dúsulásait azonosították terméssplatina, pirit, kalkopirit ásványfázisokban [24]. Az ismeretek egyelőre nem engedik meg pontosabb mennyiségi, minőségi jellemzők becslését.

Szkandium

A fém átlagos koncentrációértéke a földkéregben 14 ppm, de előfordulásai nem önálló ásványi fázisokhoz, hanem egyéb ásványokba beépülve jelentkeznek, és a dúsult zónákban sem haladja meg sokkal a 100 g/t értéket a kőzet Sc-tartalma. Technikailag a ritka földfémekkel azonos csoportba sorolják. Kis mennyiségű a globális piaca (2020 körül 10 tonna körüli), a fém értéke az elmúlt öt évben 400 százalékkal emelkedve jelenleg 3200 USD/kg.

Európában Görögország bauxit-előfordulásaiból ismert félüzemi szintű Sc-termelés, illetve Finnországban megkutatott szkandiumércesedés alkáli intruzívumokban (Kiviniemi, 13 millió tonna 165 g/t Sc).

Bükk, Szarvaskő

A DNY-Bükki Szarvaskőn részletesebb vasérckutatóval feltárt wehrilit [17] Sc-tartalma a Criticel projekt során vett néhány mintában átlagosan 70, maximum 109 g/t. Ebben a kőzetben az elemzések szerint TiO₂-tartalom 6–14% között változó, a V₂O₅-tartalom átlagosan 0,14% volt.

Bakony

A Bakony és a Vértes vonulatában számos bauxit-előfordulás ismert, az összes megkutatott bauxit ásványvagyon 123 millió tonna [14]. Az érces kőzetváltozatokban (20 minta) elemzett Sc-tartalom átlagértéke 43 g/t Sc, viszonylag szűk tartományt átfogva 30 – 61 g/t Sc-értékek között.

Összefoglalás

Az áttekintésünkben négy kritikus elem, illetve egy elemcsoport általános jellemzőit és ismert hazai dúsulásait részleteztük. Ezek olyan elemek voltak, amelyek javarészt oxidként, illetve más ásványok szerkezetébe épülve hoznak létre dúsulást. A jelenlegi ismeretek nem elegendőek a dúsulások gazdasági értékének becslésére, de indokoltan utalnak arra, hogy több előfordulás megkutatása várhatóan eredményes lehet egy új termelő előfordulás körvonalazásához. A 2. táblázat az előfordulásokat és az ezekben található kritikus nyersanyagokat összefoglalását tartalmazza.

Az előzetes adatösszesítések alapján az alábbi lehelyek emelhetők ki az egyes kritikus nyersanyagok esetében:

2. táblázat. Az áttekintésben szereplő előfordulások és helyi koncentrációmaximumok (a mért legnagyobb koncentrációértéket vastagítva jelöltük, a dúsítási tényező erre az értékre vonatkozik)

Térképi szám		Pt	Pd	Rh	Be	Se	Hf	Ti %	Egyéb CRM-dúsulások*
	Klark g/t	0,005	0,015	0,001	2,8	20	3	0,56	
3245	Recsk	0,41	0,1	0,1					Cu, As, Sb, W
3323	Szarvaskő					109		14,1	V
3557	Bükkszentkereszt				421				P, HREE
8452	Halimba				30	30		2,13	LREE, Ga
7822	Nagyharsány					42		3,29	LREE, Ga
8432	Fenyőfő					66		2,65	LREE, Ga
	Pécs-Szabolcs				54				
7691	Vasas				19		23		MetCoal, LREE, HREE
7300	Komló				860		13		MetCoal, LREE, HREE
7351	Máza				430		24		MetCoal, LREE. HREE
7355	Nagymányok				12		13		MetCoal, LREE, HREE
7349	Szászvár						14		MetCoal. LREE. HREE
7354	Váralja						14		MetCoal, LREE, HREE
Dúsulási tényező**		82	7	100	307	5	8	25	
* MetCoal: Kokszolható szén; HREE: Nehéz ritkaföldfém; LREE: Könnyű ritkaföldfém									
** A dúsulási tényező itt az aktuális maximumérték és a klark-érték hányadosa									

- ❑ berillium: Bükkszentkereszt, Komló
- ❑ titán, szkandium: Szarvaskő–Eger
- ❑ hafnium: Nagymányok
- ❑ platinafémek: Recsk

A földkéregben az átlagokhoz képest a legnagyobb mértékű dúsulást a berillium mutatja, a második helyen a platinafémek vannak a recski előfordulás esetében (2. táblázat).

Ezek közül gazdasági szempontból a recski fontosabb. Részben azért, mert az előfordulás méretei jelentősek, a platinafémek több kőzettípusban, érc típusban megjelentek, részben pedig azért, mert ezeknek az anyagoknak globális piaca és kereslete van, azaz értékesítésük (recski egyéb ércekből leválasztott melléktermékként) nem jelentene nehézséget.

Irodalom

[1] USGS Mineral Commodity Summaries 2025. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>
[2] SCREEN (2023) : https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/02/SCREEN2_factsheets_BERYLLIUM-update.pdf
[3] Kubovics I., Nagy B., Nagy-Balogh J., Puskás Z. (1989): Beryllium and some other rare element con-

ents of acid volcanics (tuffs) and metamorphites in Hungary. Acta Geologica Hungarica, 21, 219–231.
[4] Földessy J. (szerk., 2014): Basic research of the strategic raw materials in Hungary, 159 p. https://kritikuselemek.uni-miskolc.hu/files/files/egyetem10_vegso_okt26.pdf
[5] Csalagovits I., Víghe-Fejes M. (1971): Geokémia – A meddőközetek és a kőszén nyomelemei. [Geochemistry – Trace elements of the barren rocks and coals. MÁFI Yearbook 51.2. b, 520–574.] (in Hungarian).
[6] Somos L., Zubovic P., Simon F. O. (1985): Geochemical analyses of 12 Hungarian coal samples. Geophysical Transactions, 31, 191–203.
[7] Kóbor B. (2006): A liász kőszénes összlet radiológiai, geológiai jellemzői és bányászatának környezeti-radiológiai hatásai Pécsbányatelep környékén. 249 p. PhD-értekezés. Szegedi Tudományegyetem.
[8] https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_HAFNIUM-update2.pdf
[9] Hochrein B., Hámorné Vidó M., Mádaí F., Földessy J. (2017): A hafnium és cirkon dúsulási lehetőségei a mecseki kőszénes összletben. BKL Bányászat, 151/5–6, 2–7.
[10] Kiss G., Mozgai V., Hartai É., Molnár J., Tompa R. (2013): Platinacsoport. In: Less Gy. (szerk.) CriticEl Monográfia sorozat 2., Stratégiai fontosságú ásványi nyersanyagok II. Milagrossa Kft., Miskolc
[11] European Commission, Joint Research Centre, Buesa A., Georgitzikis K., Jakimów M., Piñero P., Maury

- T., Latunussa C., Pedauga L., Samokhalov V., Baldassarre B., Mathieux F., Rueda-Cantuche J. M., Stijepic D., Reys A., Bilous A., Notom P., Tercero L. (2025): Titanium metal in the EU: Strategic relevance and circularity potential, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/5871804>, JRC137082. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d9619eecd700-11ef-be2a-01aa75ed71a1/language-en#>
- [12] SCREEN (2023): https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_TITANIUM_V1.pdf
- [13] Reichl C., Schatz M. (2025): World Mining Data 2025. Vol. 40. Federal Ministry of Finance, Austria, Vienna. <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD%202025.pdf>
- [14] SZTFH (2025): Magyarország ásványvagyona 2024. https://sztfh.hu/downloads/banyaszat/nyilvantartasok/asvanyvagon-nyilvantartas/magyarorszag_asvanyvagyona_2024.pdf
- [15] Grudinsky P., Pasechnik L., Yurtaeva A., Dyubanov V., Zinoveev, D. (2022): Recovery of scandium, aluminum, titanium, and silicon from iron-depleted bauxite residue into valuable products: A case study. Crystals, 12, 1578. <https://doi.org/10.3390/cryst12111578>
- [16] Yuguan Zhang, Yilin Wang, Lingyun Yi, Tianguai Qi, Qiusheng Zhou, Zhihong Peng, Guihua Liu, Xiaobin Li (2023): Highly efficient separation of titanium minerals from a modified bauxite residue through direct reduction: A comparison study. Journal of Materials Research and Technology, 26, 6331–6341. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.017>
- [17] Lengyel E. (1957): A Szarvaskő környéki titán-vanádium-vasérc kutatás újabb eredményei. MÁFI Évkönyve 46/2, 132 p. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [18] https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCREEN2_factsheets_PGM.pdf
- [19] European Union (2023): Platinum: Impact assessment for supply security, Palladium: Impact assessment for supply security. JRC Raw Materials Information System. <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>
- [20] European Commission (2025): Annex to Commission Decision recognising certain critical raw material projects as Strategic Projects under Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council. C (2025) 1904 final. <https://webgate.ec.europa.eu/circabc-ewpp/d/d/workspace/SpacesStore/1958718b-21e9-40f4-9c9f-42a58dc4c5a3/download>
- [21] Nagy B., Zentay P. (1967): Hazai nyersanyagok platina tartalmának vizsgálata. Kézirat, SZTFH Adattár.
- [22] Bertalan É., Bartha A., Juvonen R., Soikkeli L., Földessy J., Szebényi G. (2004): Nemesfémek meghatározása recski ércmintákból. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, pp. 69–80.
- [23] Molnár F. (2008): A platinafémek előfordulása a Darnó-öv és környezetének mezozoos és paleogén korú magmás kőzeteiben. <http://nyilvanos.otka-palyazat.hu/index.php?menuid=930&num=49633>
- [24] Biró M., Raith J. G., Feichter M., Hencz M., Kiss G. B., Virág A., Molnár F. (2024): Comparative study of sulfides from porphyry, skarn, and carbonate-replacement mineralization at the Recsk porphyry-mineralized complex, Hungary. Minerals, 14, 956. <https://doi.org/10.3390/min14090956>

MEGHÍVÓ



**A Magyar Öntészeti
Szövetség**



**Országos Magyar Bányászati és
Kohászati Egyesület Öntészeti
Szakosztálya**

meghívják Önt a

28. MAGYAR ÖNTŐNAPOK KIÁLLÍTÁS ÉS KONFERENCIA

nemzetközi rendezvényre.

2025. október 10–12.

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

Önjáró fúró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések árbocainak kihorgonyozása

Anchoring masts of self-propelled drilling-, well completion- and workover rigs

ID. ŐSZ ÁRPÁD

E-mail: oszarpad46@gmail.com

Az utóbbi évtizedben két önjáró berendezés kihorgonyzott fúróárboca is eldőlt, ezzel nagy kárt okozott a fúrási vállalkozónak, szerencsére személyi sérülés nem történt. Az üzemi balesetek kivizsgálása során felmerült a kérdés, hogy megfelelő-e a fúróárbocok kihorgonyzásának magyarországi gyakorlata. Mivel a kivizsgálások megállapításai, az eldőlés okai, a keletkezett károk nagysága és az esetleges felelősségre vonás üzemi titoknak minősül, így azokat nem lehet a nagy nyilvánosság elé tárni. Azonban az érvényben lévő szabványok, szabályzatok és elérhető szakirodalmi források alapján érdemes a kihorgonyzás helyes gyakorlatát áttekinteni. Ezt a feladatot igyekszik elvégezni ez a tanulmány.

Kulcsszavak: bányá, bányanyílás (kútfej), bányavállalkozó, bányaiüzem, berendezés, engedélyes, fúróárboc, fúróberendezés, fúrótorony, horgonykötél (feszítőkötél, kikötőkötél), kihorgonyzott fúróárboc, kikötőkötél-horgony, kútmunkálat, kútjavító berendezés, lyukbefejező berendezés, szerelői ellenőrzés, üzemeltető

In the last decade, the anchored drilling masts of two self-propelled rigs have fallen over, causing great damage to the drilling contractor, but fortunately no personal injuries occurred. During the investigation of operational accidents, the question arose as to whether the Hungarian practice of anchoring drilling rigs is appropriate. Since the findings of the investigations, the reasons for the decision, the extent of the damage caused, and any potential liability are considered trade secrets, they cannot be disclosed to the general public. However, it is worth reviewing good anchoring practices based on current standards, regulations and available literature sources. This study attempts to accomplish this task.

Keywords: mine, mine opening (well head), mining contractor (operator), mining operation, rig, licensee (operator), drilling mast, drilling rig, derrick, anchor line (guy wires), guyed mast, guy anchor, well work, well completion rig, workover rig, mechanic inspection, drilling contractor

Előzmények

A European Gas and Electric Company (EUROGAS-CO) 1934 őszén hozta be Magyarországra az első, az akkori műszaki színvonal alapján korszerűnek mondható, amerikai gyártmányú forgatva működő (rotari) fúróberendezést. Európában ekkor még úgyis alig volt ismert, illetve alig terjedt el a forgató rendszerű fúrástechnológia. Abban az időben a kutak lefűrésán kívül azok kivizsgálását és termelésre történő kiképzését is a rotari fúróberendezések

végezték. A rotari fúróberendezéseknek kiegészítő kelléke volt az egydobos, szánkóra szerelt segédvitla. A forgatóasztal láncával hajtották meg a munkapadra helyezett – eredetileg a gyors-magszedőhöz tartozó – „Baret Robishow” segédvitlát a dugattyúzási vagy egyéb dróthuzalos műveletekhez. A Magyar Amerikai Olajipari Rt. (MAORT) már 1938-ban szorgalmazta a lyukbefejezés különválasztását a lyuk lefűrésától, mivel az 1938-ban behozott CARDWELL típusú berendezések (1. ábra) révén kedvező munkastílus vált megvalósíthatóvá.



1. ábra. CARDWELL berendezés



3. ábra. BAKINYEK berendezés



4. ábra. CSEPINYEK berendezés

Az egydobos, belsőégésű motorhajtású, kompaund elrendezésű CARDWELL egységek alkalmasak voltak cementfúrásra és után fúrásra is. A kiépítési és dugattyúzási munkákhoz teleszkopikusan összerolható csőárboc szolgált. Joggal lehetett ezeket a berendezéseket a szénhidrogénmezei lyukbefejezési munkák gazdaságos egységeinek tekinteni. Gyakorlatilag csak akkor váltak teljes értékűvé a lyukbefejező berendezések a szénhidrogénmezők feltárása során, amikor fontos kiegészítő tartozékok: önjáró, saját árboc, forgatóasztal és szivattyú is rendelkezésre álltak. Ezt valósította meg elsőként a Németországból 1941-ben behozott WUELFEL egydobos, önjáró, saját árboccal rendelkező berendezés. Még korszerűbb FRANK'S kétdobos, önjáró, saját teleszkopikus árbocú, asztalhajtású berendezés 1948-ban érkezett hazánkba. (2. ábra) Ezek a berendezések feleslegessé tették a fúrotornyok helyben tartását a fúrólyuk lemélyítése után. Abban az időben ezeket a berendezéseket kútkiképző–termelésbeállító–kútgondozó berendezéseknek hívták.

A szénhidrogén-bányászat állami kezelésbe vétele után átcsoportosították a korábbi időszak kútkiképző–termelésbeállító–kútgondozó berendezéseit az újonnan megszervezett szénhidrogén-bányászati vál-

latoknak megfelelően. A fúrási vállalatoknál működő egységeket „lyukbefejező” berendezéseknek (Lyb-1. stb.), a termelő vállalatoknál működő egységeket „kútjavító” berendezéseknek nevezték el. A kútjavító berendezések egyik csoportját – számozás nélkül – sajátosan csak megnevezésükkel jelölték (MAZALÁN-DÁG, BAKINYEK (3. ábra), CSEPINYEK (4. ábra) stb.

A kútjavító berendezések másik csoportját „kútkezelő” berendezéseknek jelölték (KK-1. stb.), ezek elsősorban a SALZGITTER (SMG) különböző típusú berendezései voltak. Az első SALZGITTER önjáró, saját árbocos lyukbefejező–kútjavító berendezést (SALZGITTER SMG BK 100/7) 1952-ben állították üzembe, majd ezt követően egymás után érkeztek be a különböző típusok: SALZGITTER ZA-292, ZA-312 (5. ábra), ZA-315S, WB-160/92, ZA-160/92.2.

(Megjegyzés: Az akkor érvényes szénhidrogén-ipari embargó miatt berendezést nem volt lehetséges importálni nyugatról. Így a behozott berendezések megnevezésében ez kifejezésre is jutott: BK (Bakran) = Építkezési daru, WB (Wasserbohranlage) = Vízkút-fúró berendezés, ZA (Zerlegbare Autowinde) = Szét-szedhető autó-villa). A román gyártású T-50 típusú,



2. ábra. FRANK'S berendezés



5. ábra. SALZGITTER ZA-312 berendezés



6. ábra. T-50 berendezés

önjáró, saját árbocos lyukbefejező-kútjavító berendezések (6. ábra) – amelyekkel sekélyebb fúrásokat is mélyítettek – 1967-ben érkeztek be Magyarországra.

Az eddig elmondott önjáró, saját árbocú lyukbefejező-kútjavító berendezések BIR = Back-In-Rambler megnevezésűek voltak, amely arra utal, hogy a berendezés hátramenettel állítható rá a vizsgálandó, kiképzendő vagy javítandó kútra. A nagyobb mélységű kutak kivizsgálására alkalmas lyukbefejező berendezéseket 1965-től az osztrák Schoeller-Bleckmann Stahlwerke (SBS) cég szállította. Bár mindkét (SMG és SBS) típus magas technikai színvonalat képviselt, a típusváltás az SBS irányába főként az alacsonyabb ár és a DIR megoldás döntött (DIR = Drive-In Rambler), amely azt jelenti, hogy a berendezés előre menetben állítható rá a lefúrandó, a vizsgálandó vagy a javítandó kútra. 1965-től több SBS típus érkezett be: SBS DIR-110 (7. ábra), -308 (8. ábra), -309, -311, -379, -551, -5506 (9. ábra), -5512, -5519, -7005, -7007.



7. ábra. SBS DIR-110 berendezés

Ezek közül több berendezéssel sekélyebb kutakat is fúrtak. 1977-től a Szovjetunióból hozták be az A-50U típusú önjáró, univerzális lyukbefejező-kútjavító berendezéseket. 1974-től kezdve a kútjavító berendezések ismét közös szervezeti egységben működtek a fúró- és lyukbefejező berendezésekkel, így elmosódott a lyukbefejező és kútjavító berendezések korábbi megkülönböztetése. 1987-től érkeztek be



8. ábra. SBS DIR-308 berendezés



10. ábra. SBS DIR-806 berendezés



9. ábra. SBS DIR-5506 berendezés

a mélyebb kapacitású SBS fúróberendezések: SBS DIR-806 (10. ábra), DIR-806/A [1, 2].

Az előzőekben említett fúró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések önjáróak, saját, kihorgonyzott,

összecsukható fúróárboccal rendelkeznek, melyeket teleszkopikusan nyitnak ki végleges méretűre (a függőlegeshez képest 5–7°-os dőlésszögűek), és azután kihorgonyozzák őket. A horgonyzó köteleket az árboc teherbírásában számításba veszik.

Értelmezések

Ezen összeállítás alkalmazásában:

Bánya: Az ásványi nyersanyagok feltárására, kitermelésére és elsődleges feldolgozására irányuló munkák végzése céljából kialakított felszíni vagy felszín alatti térség, ideértve a szénhidrogének tárolására kialakított földtani szerkezetet is.

Bányanyílás/kútfej: A bányának, kőolaj- és földgáz-bányászati üzemnek az az első technológiai pontja, ahol a kitermelt, nyers bányatermék (a meddővel és a kísérő ásványi nyersanyaggal együtt) első alkalommal hitelesen méri (mennységi mérés).

Bányavállalkozó: A bányászati tevékenységre jogosult jogi vagy természetes személy, illetve jogi személyiséggel nem rendelkező társaság.

Bányaüzem: Viszonylagosan önálló műszaki-gazdasági egység, amelyet a bányavállalkozó az ásványi nyersanyagok kutatása, feltárása (mezőfejlesztés) és kitermelése, a földalatti gáz tárolása és a geotermikus energia kinyerése, valamint a kitermelt ásványi nyersanyagok előkészítése (elsődleges feldolgozás) céljából működtet.

Berendezés: A fúrasi- és kútmunkálatok elvégzésére a telephelyen felszerelt fúró-, lyukbefejező-, kútjavító berendezések.

Engedélyes: Az a személy, aki a fúrasi-, kútvizsgálati-, kútkiképzési- és kútmunkálati tevékenységre kiadott hatósági engedély jogosultja, aki az engedélyezett tevékenységet végzi, vagy az üzemeltetővel végezteti.

Fúróárbc: Olyan, csak néhány nagy szállítási egységre szétszerelhető rácsos idomacél, vagy csőszerkezetű fúrótorony, amelyet már összeszerelt vagy néhány elemből a felszínen összeszerelhető állapotban, vízszintes helyzetből, egy darabban gépi úton lehet felállítani. Jellemzője, hogy a kiemelt fúró- vagy termelőcső-rakatokat rendszerint a rácsos idomszerkezeten kívül, az úgynevezett külső kapcsolóállásban helyezik el.

Fúróberendezés: A fúrás gépi berendezéseinek összessége, vagyis erőátviteli elemekkel kapcsolódó gépi berendezések (erőgépek, hajtóművek, emelő-, forgató- és öblítő-munkagépek) és eszközeinek (fúrószár, felszíni öblítőrendszer, kitorésgátló stb.) a technológiai folyamatba illesztett együttese, része a fúrótorony vagy a fúróárbc.

Fúrótorony: A fúrólyuk fölé emelt, acélelemből (csőből, idomacélból) összeszerelt csonkagúla alakú rácsos szerkezet, amelynek tetején, a főtárcsára támaszkodó koronacsígsoron függ a fúrószerszám és alkalmas a fúróberendezés működőképese elhelyezésére.

Horgonykötél, feszítőkötél, kikötőkötél:

- ❑ A fúrótornyot vagy fúróárbcot a stabilitás növelése érdekében földbe ástott vagy becsavart horgonyhoz rögzítő acélsodronykötél.
- ❑ Kihorgonyzott fúróárbcot a fúróberendezés alapjához vagy földbe ástott vagy becsavart horgonyhoz rögzítő acélsodronykötél, amely az árbocterhelés viselésében számításba vett elem.

Kihorgonyzott fúróárbc: Kihorgonyzott vagy összecsiszukható fúróárbcokat rendszerint egyben szállítják és felállításuk után, teleszkopikusan vagy csuklósan nyitják ki végleges méretükre, és azután kihorgonyozzák, s amelynek kikötőkötélei a méretezésekor figyelembe vett teherviselő elemek.

Kikötőkötél-horgony: Földbe ástott vagy fúrt test, amelyhez a fúrótorony vagy a fúróárbc kikötő elemeit erősítik.

Kútmunkálat: Meglévő kút karbantartására, kiképzésének, funkciójának módosítására és a réteg produktivitási jellemzőinek megváltoztatására irányuló munkálatok.

Lyukbefejező berendezés, kútjavító berendezés: A beléscsővezetett fúrólyukban a tárolóközet vizsgálatok, a termelési kísérletek elvégzésére, a szükséges mélybeli kútszerelvények beépítésére, továbbá a kiképzett és termelő kutak karbantartására, javítására és átképzésére alkalmas motorhajtású, saját árbo-cú, célszerűen járműalvázra szerelt kétdobos vitla.

Szerelői ellenőrzés: A gép, villamos berendezés alapvető hibáinak kimutatása céljából megtekintéssel és működési próbákkal elvégzett valamennyi ellenőrzés, ideértve a vonatkozó nemzeti szabványokban szerelői ellenőrzésként, vizuális vagy közeli felülvizsgálatként meghatározott tevékenységet.

Üzemeltető: Az a személy, aki a fúrasi-, kútvizsgálati-, kútkiképzési- és kútmunkálati tevékenységet az engedélyes megbízása alapján végzi.

Szabványok

A szabványok alkalmazása nem kötelező, csupán ajánlott. Azonban, a felügyeleti hatóság vagy az engedélyes előírhatja az üzemeltetőnek a szabványok részleges vagy teljes körű kötelező használatát. A fúró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések kihorgonyzására érvényes szabványok [3]:

API:

- ❑ API RP 4G 2019 (2020): Operation, Inspection, Maintenance and Repair of Drilling and Well Servicing Structures
- ❑ API Recommended Practice 8B: Recommended Practice for Procedures for Inspections, Maintenance, Repair, and Remanufacture of Hoisting Equipment
- ❑ API Recommended Practice 9B: Application, Care, and Use of Wire Rope for Oil Field Service
- ❑ API Recommended Practice 54: Occupational Safety for Oil and Gas Well Servicing

AISC:

- ❑ AISC 335-89: Specification for Structural Steel Buildings—Allowable Stress Design and Plastic Design
- ❑ AISC 360: Specification for Structural Steel Buildings

MSZ EN ISO:

- ❑ MSZ EN ISO 13534: 2001: Hoisting equipment – care/maintenance
- ❑ MSZ EN ISO 13535: 2001: Drilling and production equipment – Hoisting equipment
- ❑ MSZ EN ISO 13626: 2005: Drilling and well-servicing structures

Hazai szabályozás

A kihorgonyzott fúró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések árbocokra vonatkozó érvényben lévő hatósági szabályozások:

16/2022. (I. 28.) SZTFH rendelet a Kőolaj- és Földgázbányászati Biztonsági Szabályzatról [4]

II. Fejezet

Mélyfúrás és kútmunkálatok

Eszközök, berendezések

19. § (1) A fúrási, lyukbefejezési és kútjavítási tevékenységnél használt eszközt és berendezést úgy kell méretezni, kiválasztani, hogy biztonsággal megfeleljen a rendeltetésszerű használata során fellépő igénybevételnek.

(2) A fúrási, lyukbefejezési és kútjavítási tevékenységnél az Európai Unió belüli gyártó által adott megfelelőségi nyilatkozattal vagy tanúsító szerv által kiadott megfelelőségi tanúsítvánnyal rendelkező eszköz és berendezés használható.

20. § (1) A fúróárbc és a munkapad részére az alapot a talaj szilárdságát számításba véve kell elkészíteni.

(2) Fúrási, lyukbefejezési és kútjavítási munkához a várható igénybevételnek megfelelő teherbírású fúróárbcot kell használni.

(3) A fúróárbc adattábláján fel kell tüntetni a gyártó nevét, a torony típusát és gyári számát, a megengedett maximális korona- és horogterhelést a kötélfeszültségek számával, valamint a kihorgonyzás módját.

(4) A fúróárbc kapcsolóállását legkésőbb az üzembe helyezés előtt el kell látni menekülőkötéllel és menekülőláncokkal. Menekülőkötélként legalább 110 kN/mm² szakítóerejű, korrózió ellen védett sodronykötelet kell alkalmazni.

(5) A menekülőkötél alsó rögzítő horgonyát a fúróárbcotól olyan távolságra kell elhelyezni, ahol a kötélfeszültség mért hajlásszöge legfeljebb 30°.

(6) A kapcsolóállás, a koronacsigához vezető lépcsők, létrák, azok háttámaszai, valamint a pihenőpadozatok kialakításának meg kell felelnie a gyártó által a fúróárbc tekintetében előírtaknak.

(7) A fúróárbcokon, alépítményeken ötévente szerkezeti felülvizsgálatot kell végezni.

21. § (1) Az emelő és teherviselő eszközöket, elemeket a gyártó előírásai szerint kell használni, karbantartani és ellenőrizni.

(2) Az emelő és teherviselő eszközöknek meg kell felelniük a vonatkozó szabvány követelményeinek vagy annál nem alacsonyabb gyártói előírásnak.

22. § (1) A fúró, lyukbefejező és kútjavító berendezéseknél a gyártó vagy akkreditált intézmény által kiállított megfelelőségi tanúsítvánnyal ellátott kötélfűrés használható.

(8) A torony kihorgonyzó köteleinek méretét, teherbírását, elrendezését, az üzem közben megengedett

kötélfeszültségeket, a kötélfűrés és rögzítéseinek ellenőrzési módját, gyakoriságát, lecserélésének feltételeit a gyártó előírásait figyelembe véve az üzemeltető üzemi utasításban határozza meg.

(9) Függesztéknek egyedi azonosítóval ellátott, a karbantartási utasításban előírt rendszerességgel ellenőrzött, megfelelőségi tanúsítvánnyal rendelkező eszköz használható.

(10) Az üzemeltető az emelő- és teherviselő eszközökre ellenőrzési utasítást dolgoz ki, amelyben rögzíti a különböző elemekre vonatkozó ellenőrzési, felülvizsgálati és színkódolási vagy azzal egyenértékű jelölési előírásokat.

(11) A fúróberendezésen lévő összes függesztőelemről – ideértve a felszerelt, a megtörő csigát, a hegesztett és a rögzített fülecset, valamint a kötelet – térképet kell készíteni.

5/2022. (I. 24.) SZTFH rendelet a Mélyfúrási Biztonsági Szabályzatról [5]

5. Mélyfúró berendezés

6. § (1) A fúrási, lyukbefejezési és kútjavítási tevékenységeknél csak a gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról szóló miniszteri rendelet szerinti megfelelőségi nyilatkozattal vagy a mellékletben előírt vizsgálatok alapján kiadott mélyfúrási alkalmassági bizonyítvánnyal rendelkező mélyfúró berendezés használható.

(2) A fúrási, lyukbefejezési és kútjavítási tevékenységeknél használt eszközöket, berendezéseket úgy kell méretezni, kiválasztani, hogy a rendeltetésszerű használatuk során fellépő igénybevételnek biztonsággal megfeleljenek.

(3) A fúrótorony felbillenés elleni biztonságának – kikötés nélkül – 33 m/s talajszinti szélességet feltételezve, 1,5-szeresnek kell lennie. A kikötőelemek az ún. kihorgonyzott típusú fúrótorony esetében a felbillenés elleni biztonság számításánál figyelembe vehetők.

8. Emelő- és forgató-berendezés, kulcsok

9. § (3) A teherviselő elemeket úgy kell megválasztani, hogy a névleges teherbírás a kivételesen megengedett terhelésnek legalább 1,25-szorosa legyen.

(4) Csak minőségi bizonyítvánnyal (műbizonylattal) ellátott teherviselő elemek használhatóak.

Kihorgonyzott fúróárbcok terhelése

A szabványok a fúróárbcoknak – így a kihorgonyzott fúróárbcoknak is – csak a főméreteit írják elő, a fúróárbc tervezőire bízák a szerkesztés és a merevítés módját az előírt terhelési feltételezések és méretezési elvek szerint. Bármelyik kihorgonyzott árbcotípusról legyen is szó, mindegyik előre dőlt árbc és legalább

kettő horgonykötél teherviselő elem. A szabványok nem rögzítik a merevítés, tehát a rácsos szerkezet módját, hanem csak

- ❑ a számításba veendő terhelőerőket;
- ❑ a terhelési eseteket;
- ❑ a terhelőerők csoportosítását;
- ❑ a felhasznált tartóelemek karcsúsági viszonyait és
- ❑ az acélanyagot

írják elő.

Terhelési esetek lehetnek:

- ❑ üzemi terhelések, amikor a berendezés dolgozik (csövek ki- és beépítése, forgatás, öblítés, mentés, túlhúzás, rogyasztás, szélterhelés stb.);
- ❑ üzemen kívüli terhelések, amikor a berendezés nem dolgozik (kiállított vagy beépített csőszakatok, nincs forgatás, nincs öblítés, nincs túlhúzás vagy rogyasztás, leállított meghajtó motor(ok), szélterhelés felléphet, ez a helyzet a rétegvizsgálati műveletkor vagy várakozás esetén).

A kihorgonyzott fúróárbocokra ható terhelések:

- ❑ függőleges terhelések;
- ❑ vízszintes terhelések;
- ❑ csavaró terhelések.

Függőleges terhelések: A szabványok a kihorgonyzott fúróárbocok teherbírását a koronaterheléssel vagy a horogterheléssel adják meg. A koronaterhelés a maximális figyelembe veendő horogterhelésből, a húzó- és holtkötélszál maximális terhelésének megfelelő kötél feszültségéből és a csigasor, a horog és a fúrókötél önsúlyából áll. A maximális koronaterhelés 1,2-szerese a kivételes koronaterhelés (biztonság a fúrószár vagy a termelőcső-oszlop megszorulása, a mentés, a koronacsigasor és a szállítócsigasor összehúzása stb. esetére). A kiinduló horogterhelés maximumaként a legnehezebb csőoszlop folyadékban mért tömegét fogadják el és 1,5-1,6 biztonsági tényezővel figyelembe veszik a súrlódási ellenállást is. A fúróárbocok kapacitását az API is a maximális névleges horogterheléssel írja elő, meghatározott árbochajlásszög, csigasorbefűzés és holtkötél-lekötés mellett. A függőleges terheléseknél megkülönböztetnek, és a méretezésnél számolnak statikus, dinamikus, normális és kivételes terhelésekkel.

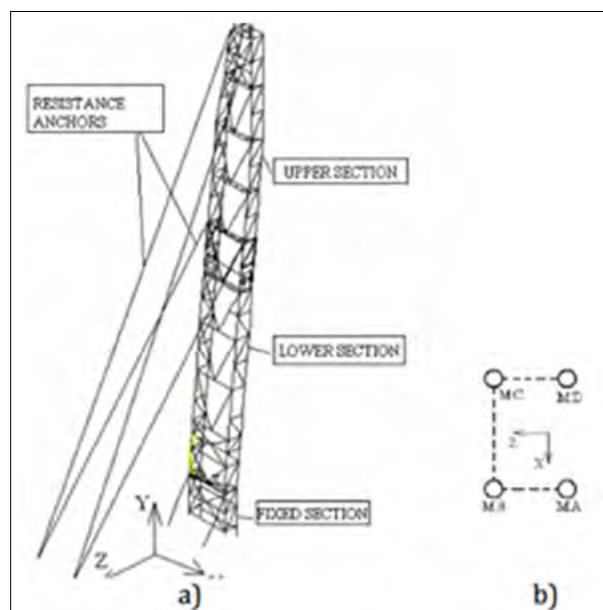
Vízszintes terhelések: A szabványok figyelembe veszik a korona síkjában a húzó-, illetve a holtkötél-szál ferde irányú erőhatások vízszintes összetevőjét. Ez a kivételes horogterhelés 0,01%-a,

de maximum 1350 kP. Ugyancsak vízszintes irányúnak feltételezik a szabványok a szélterhelést is, mint a torlónyomás többszörösét is, ahol figyelembe veszik az árbocszerkezet alakját. A különböző szabványok más és más szélességet és hozzátartozó szélnyomást feltételeznek a magasság függvényében. A vízszintes terheléseknél megkülönböztetnek, és a méretezésnél számolnak az árbocra-, az árbocra átló mentén- és a kiállított csőszakatokra ható szélterheléssel, a kiállított csőszakatok és a koronára ható erők vízszintes összetevőjével. A szabványokban a szélességek és szélnyomások nagyságát rögzítik üzemi viszonyok és üzemen kívüli viszonyok, valamint különböző magasságok (8, 20, 40 és 100 m) szerint.

Csavaró terhelések: Csavaró terhelések nagy szélességek, szélnyomások, szélirányok hirtelen változása (örvénylés) esetén lép(het)nek fel, amelyek az árboc rácszatára, a kapcsolóállásra, a kiállított csőszakatokra, a fúrókötélre és a szállító-csigasorra hatnak. Ezt külön nem számolják, hanem a szélességek és a szélnyomások által kiszámolt terheléseknél 2–2,8 körüláramlási együtthatóval veszik figyelembe.

Az érvényben lévő szabvány szerint az önjáró berendezések árbocát – mint rácsos szerkezetet – 120 km/óra szélességre kell tervezni.

Önjáró berendezések horgonyzatlan árbocának stabilitásával kapcsolatban végelem módszerrel számításokat végeztek a szél és a horogterhelés összetett hatását vizsgálva (11. ábra).

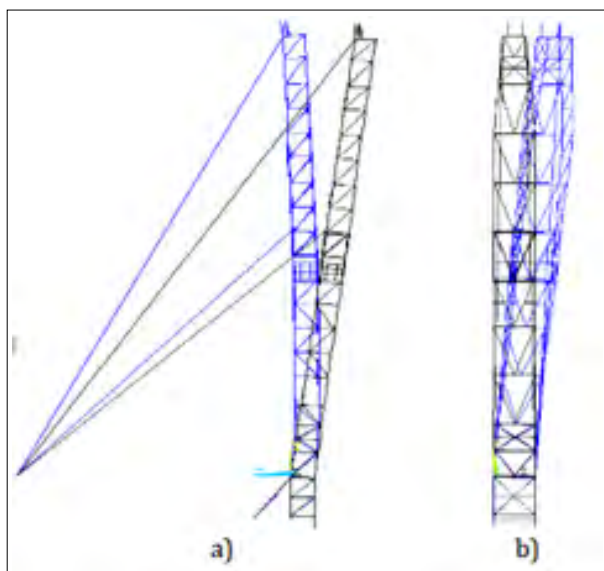


11. ábra. Önjáró berendezés árbocának számítási modellje: a) szerkezeti nézet; b) árboc keresztmetszet

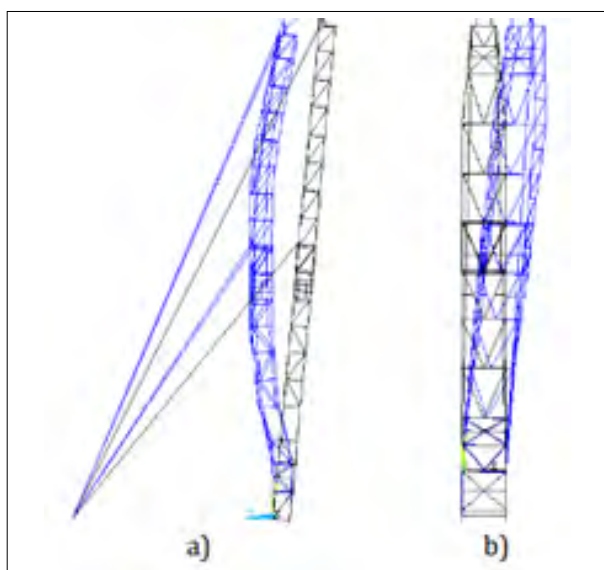
A számítás célja az volt, hogy meghatározza az árboc stabilitását horogterhelés nélkül és horogterheléssel. A számítás kiinduló adatai:

- ❑ szélesebbség 120 km/óra;
- ❑ szélirány a „Z” tengely irányában (előlről hátra, hosszirány);
- ❑ szélirány az „X” tengely irányában (oldalról keresztirány);
- ❑ nincs horogterhelés;
- ❑ különböző horogterhelés.

A számítások kimutatták, hogy ilyen típusú árbocoknál összetett tengelyirányú- és hajlító feszültségek



12. ábra. A terheletlen árboc deformált alakja 120 km/h szélesebbség hatására. a) hosszirányú szél esetén; b) keresztirányú szél esetén

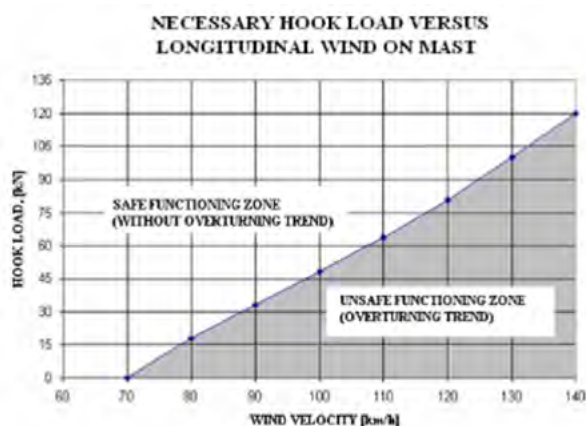


13. ábra. A terhelt árboc deformált alakja 120 km/h szélesebbség hatására: a) hosszirányú szél esetén; b) keresztirányú szél esetén

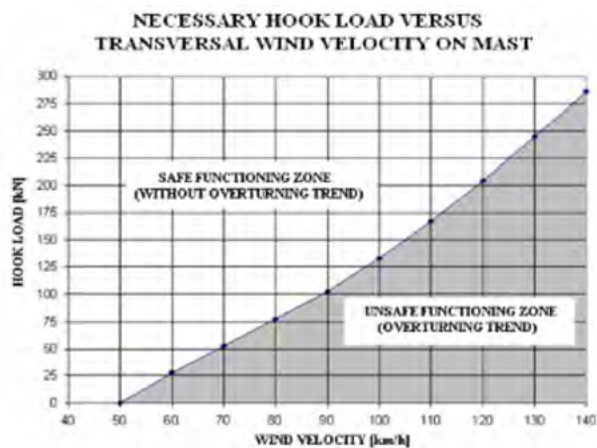
lépnek fel. Az árboc deformált alakját 120 km/h szélesebbség hatására a 12. és 13. ábrák mutatják. Látható, hogy az árboc hátrafelé dől, tehát nagy a felborulás veszélye, sőt az „MA” és az „MD” tartóoszlopokon elhelyezkedő összekötő elemek – amelyek a berendezéshez kikötött szakaszt az alépitménnyel kötik össze – tengelyirányú erői feszítőerők, ami azt jelenti, hogy az árboc hátsó részén tovább nő a felborulás esélye.

A modellezés és a számítások megerősítették a földhöz történő kihorgonyzás szükségességét és azt, hogy a horgonykötelek és a horgonyok teherviselő elemek, amelyek előfeszítésének mértékét meg kell határozni.

Az árbocra előlről hátrafelé ható hosszirányú szél hatás miatt az árboc hátrafelé felborulásának nagy az esélye, azonban a horogterhelés ellentétes hatást gyakorol a felborulásra. Egy adott szélesebbségnél minél nagyobb a horogterhelés, annál inkább csökken az árboc felborulási lehetősége. Sok számítást elvégezve az 1. és 2. diagramokat tudták összeállítani. Tovább növeli az árboc felborulási lehetőségét az árbocba kiállított csórákatok mennyisége.



1. diagram. Árboc megbízhatósági diagram hosszirányú szél hatására



2. diagram. Árboc megbízhatósági diagram keresztirányú szél hatására

1. táblázat. Szélsebesség és szélnyomás
(Átváltások: $1 \text{ kg/m}^2 = 0,00980665 \text{ kPa}$; $1 \text{ kPa} = 0,01 \text{ bar}$; $1 \text{ kg/m}^2 = 9,80665 \times 10^{-5} \text{ bar}$)

Beaufort-fokozat	Szél jellege	m/s	km/h	tmh (csomó/h)	A szél nyomása kp/m^2
0	szélcsend	0–0,2	<1	<1	0
1	leheletszerű	0,84 0,3–1,5	1–5	1–3	0,05
2	széllő	0,84 1,6–3,3	6–12	4–6	0,4
3	gyenge	3,34 3,4–5,4	12–19	7–10	15
4	mérsékelt	6,69 5,5–7,9	20–23	11–16	3,5
5	élénk	9,35 8–10,7	29–38	17–21	56
6	erős	12,29 10,8–13,8	39–49	22–27	11,8
7	igen erős	15,5 13,9–17	50–61	28–33	18,7
8	viharos	18,92 17,2–20,7	62–74	34–40	28
9	vihar	22,57 20,8–24,4	75–88	41–47	39,3
10	erős vihar	26,44 24,5–28,4	89–102	48–55	54,3
11	heves vihar	30,5 28,5–32,1	103–114	56–63	72,7
12–17	orkán	34,75 32,7–36,1	>117	>64	94,4

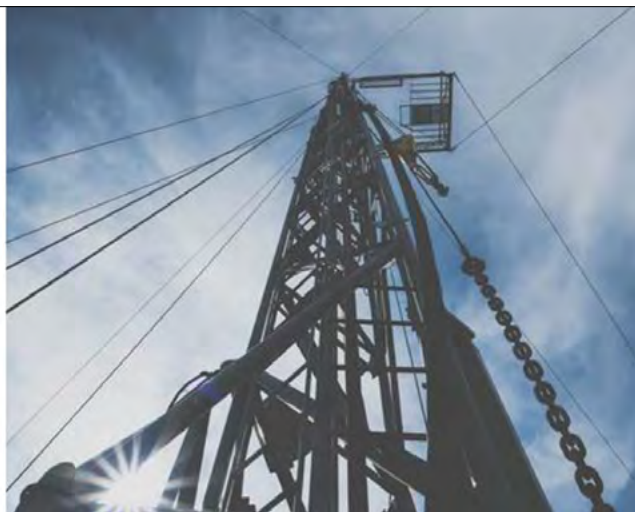
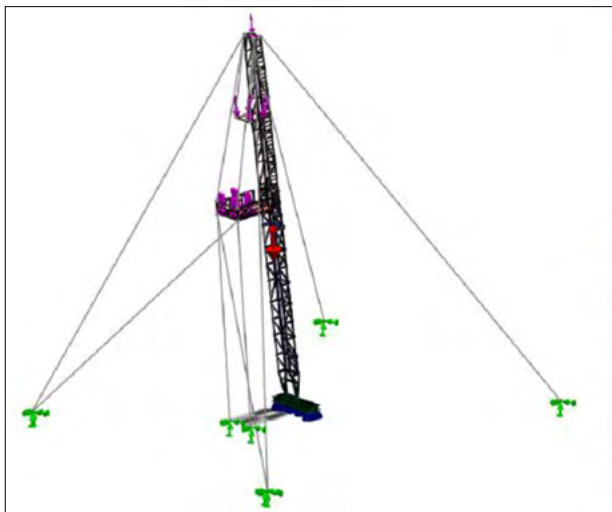
A szél nagyságát (erejét) a szélsebességgel, vagyis az áramló levegőnek az időegység alatt megtett útjával (m/mp vagy km/óra egységekben) mérik. A szélsebesség mellett a széltől az irányára merőlegesen elhelyezkedő lapra gyakorolt nyomást is mérik. Szélsebesség- vagy szélnyomásmérő eszköz hiányában becsülni szokták a szelet, erre 0–12 fokokat felölölő léptéket állapítottak meg: 0 a tökéletes szélcsendet jelenti 1 nagyon gyenge, alig észrevehető fuvallat, és a lépték növekedő számai fokozatosan erősebb szeleket jelentenek. Az 1. táblázat feltünteti a szélerő-fokoknak megfelelő szélsebességeket m/mp és km/óra egységekben, továbbá a széltől az irányára merőlegesen álló lap területességére (1 m^2) gyakorolt nyomást kilogrammsúlyban [6].

Önjáró fűró-, lyukbefejező- és kútjavító berendezések fűróárbocainak kihorgonyozása

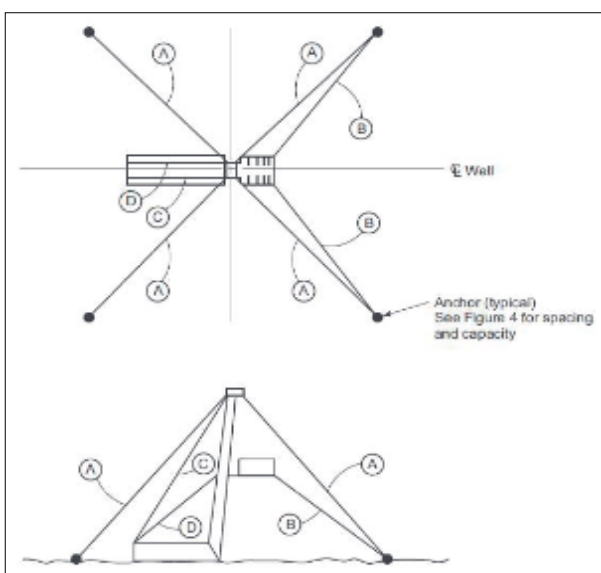
Minden olyan fűróárbocnál, amelyet arra terveztek, hogy a horgonykötelek az árbocok stabilitását biztosítsák, az összes alkalmazott horgonykötélnek a helyén kell lennie a munka megkezdése előtt (14. ábra).

A horgonykötelek számának, elhelyezésének és méretének meg kell felelnie a következő kritériumoknak:

- ❑ Elsősorban az árbocgyártó ajánlásait kell alkalmazni. (Új fűróárboc oldalán vagy alján a gyártójának van egy adattáblája, az ajánlott horgonytávolságokkal.)
- ❑ Amennyiben a gyártó a kihorgonyzás követelményeit nem jelöli meg az adattáblán, az árbocot a 15. ábrának megfelelően kell kihorgonyozni.
- ❑ Amennyiben a 15. ábra vagy az árbocgyártó kihorgonyzási ajánlásai nem használhatók fel a fűrás vagy a kút telephelyén fellépő akadályok miatt, akkor más kihorgonyzási minták is használhatók, feltéve, hogy azok egy erre a feladatra jogosultsággal rendelkező személy műszaki számításain alapulnak. Ezeknek a mintáknak tartalmazniuk kell a horgonykötél-terhelések meghatározását a kút helyspecifikus körülményei között, beleértve a horogterhelést, a szélterhelést és az alapozás megfelelőségét is. A kihorgonyzás-mintának elérhetőnek kell lennie a berendezésnél.



14. ábra. Fúróárbc kihorgonyzása



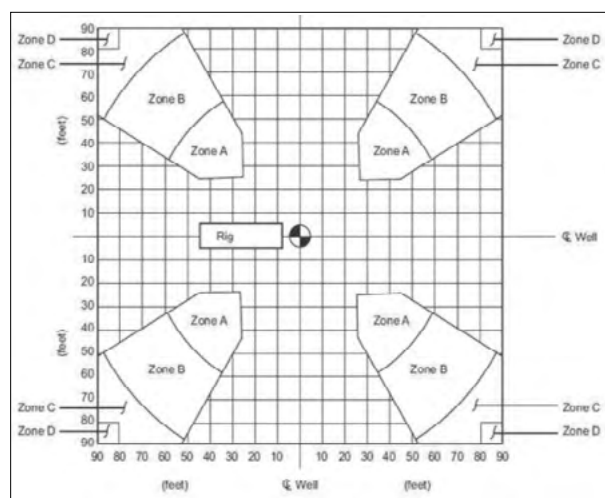
15. ábra. Ajánlott kihorgonyzási vázlat

A 16. ábrán és a 2. táblázatban bemutatott értékek az irányadóak.

2. táblázat. Horgonykapacitás

Zone	Anchor Capacity (tons)		
	Double Mast	Single Mast	Pole Mast
A	15.6	7.0	7.0
B	11.5	5.0	5.0
C	9.0	5.0	5.0
D	7.4	5.0	5.0

A horgonyköteleknek 6×19 vagy 6×37 szabványméretűnek, minimum javított húzottvas minőségűnek (Improved Plow Steel = IPS) és független drótkötélmagú (Independant Wire Rope Core = IWRC) drótkötélnek (lásd API RP 9B) kell lenni.



16. ábra. Horgonytávolság és kapacitási kritériumok

ük, továbbá korábban nem használhatták őket más alkalmazásokban.

A horgonykötélként használt drótkötelet el kell távolítani, ha az alábbi feltételek bármelyike fennáll:

- ❑ három törött kötélzálat találnak a kötélszszon belül;
- ❑ két törött kötélzálat található a végsatlakozásnál a kötéshoronyban.

A horgonykötél forgalomból való eltávolításának további feltételei a következők:

- ❑ korrózió jelentkezik a kötélzálakon;
- ❑ korrózió látható a végsatlakozásoknál;
- ❑ a végsatlakozások repedtek, meghajlottak, kopottak vagy nem megfelelően vannak kiképezve;
- ❑ törés, zúzódás, vágás, laposodás vagy gubancolódás figyelhető meg a kötélzálakon.

Minden horgonykötelet használat közben naponta legalább egyszer szemrevételezéssel meg kell vizs-

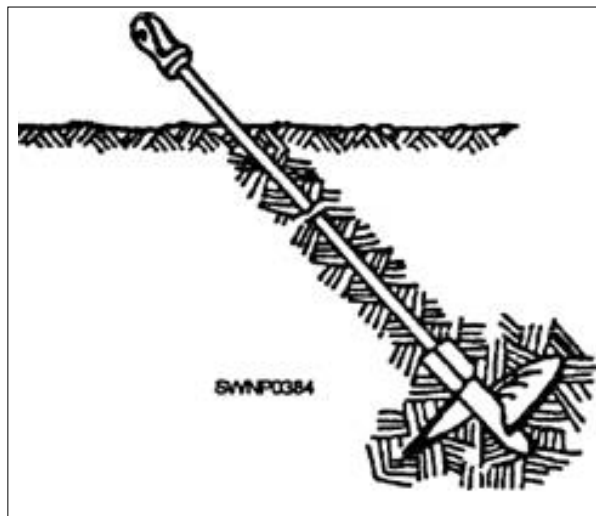
gálni. A horgonyköteleket havonta egyszer részletesen ellenőrizni kell, és a havi ellenőrzésről nyilvántartást kell készíteni, megjelölve az esetleges észlelt hibákat.

A horgonykötél végeket a jó üzemi gyakorlatnak és az API RP 9B ajánlásainak megfelelően kell rögzíteni. A horgonyköteleket soha nem szabad visszafordítani kis sugarú szemek körül, megfelelő méretű fordítókat kell használni a horgonykötelek visszafordítására. Drótkötélbilincsek használata esetén dupla nyereg típusú bilincsek használata javasolt, amelyeket a gyártó ajánlásainak megfelelően kell felszerelni, beleértve a megfelelő nyomaték alkalmazását az anyákra. Amennyiben a horgonykötél visszafordítására tárcsát használnak, plusz még egy bilincs használata szükséges. Ha az árbocgyártó által ajánlottaktól eltérő megoldásokat használnak, ellenőrizni kell a horgonykötelek árbochoz vagy kapcsolóálláshoz való rögzítéséhez használt konzolokat, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy elegendő kapacitással rendelkeznek-e a maximális várható terheléshez. A horgonykötelekhez kapcsolódó elemek (bilincs, visszafordító, feszítő, láncok stb.), amelyek a horgonykötél rendszerben maradnak, biztonságos munkaterhelési kapacitással kell rendelkezniük, amely eléri vagy meghaladja a horgony szakítási erejének 40%-át. A kapaszkodóhorgok vagy a nyitott horgok használata a horgonykötél végének rögzítésére nem ajánlott.

A megfelelően megtervezett berendezés alépítményeket és alaperendákat a gyártó tervezte és hagyta jóvá, és az árbocok horgonyzóhelyeként is használják. Ilyen esetekben a horgonykapacitást a berendezések és a gyártott alkatrészek határozzák meg. Az ilyen elemek kapacitása mérnöki számításokkal határozható meg. Az alépítmény horgonyhúzási vizsgálata nem szükséges, de a számításokat a horgony gyártójának vagy egy jogosultsággal rendelkező mérnöknek kell elvégeznie. A befűrható típusú horgonyok gyártói a horgonykapacitást a horgony felszereléséhez szükséges nyomatékkal korrelálták. Ez a nyomatékmódszer, ha a horgonygyártó utasításaival összhangban alkalmazzák, érvényes módszer a

horgonyteljesítmény meghatározására. A befűrható horgonyokat mechanikus módszerrel (kézi vagy gépi) fűrik be a talajba. A horgonyokat újra meg kell vizsgálni a horgony kapacitásának ellenőrzése érdekében, ha deformációval vagy sérüléssel járó változások történnek. A fűróárboc tervezési és telepítési tervek határozzák meg a kikötőkötél horgony típusát, helyét és a horgony szükséges furatmélységét. A horgonytengelyeknek vagy rudaknak eléggé ki kell nyúlniuk a talaj fölé ahhoz, hogy az összes horgonykötél rögzítése mentes legyen a növényzettől és az állóvíztől. A tengelyeket és az összekötő tartozékokat alaposan meg kell tisztítani, majd be kell vonni egy kőolajalapú tartósítószerrel az időjárás hatásának késleltetése érdekében. A 17. ábrán látható a befűrható horgony, amelyet úgy csavarnak be a földbe, hogy a horgonyrúd szöge megegyezik a horgonykötél szögével.

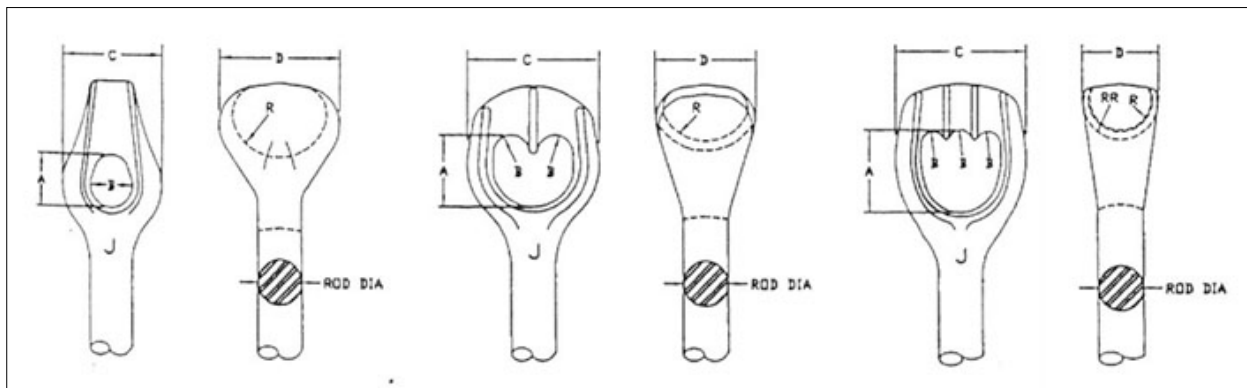
A befűrható horgony (18. ábra) méretei:



17. ábra. Befűrható horgony becsavarása



18. ábra. Befűrható horgony



19. ábra. Kötélszemtípusok

3. táblázat. Talajosztályozási adatok

SOIL CLASSIFICATION DATA				
Class	Common Soil-Type Description	Geological Soil Classification	Prove Values in.-lb. (NM)	Typical Blow Count "N" per ASTM-D1586
0	Sound hard rock, unweathered	Granite. Basalt, Massive Limestone	N/A	N/A
1	Very dense and/or cemented sands; coarse gravel and cobbles	Caliche, (Nitrate-bearing gravel/rock)	750–1600 (85–181)	60–100+
2	Dense fine sands; vary hard silts and clays (may be preloaded)	Basal till, boulder clay caliche; weathered laminated rock	600–750 (68–85)	46–60
3	Dense sands and gravel; hard silts and clays	Glacial till weathered shales, schist, gneiss and siltstone	500–600 (56–68)	35–50
4	Medium dense sand and gravel; very stiff to hard silts and clays	Glacial till, hardpan; marls	400–600 (45–56)	24–40
5	Medium dense coarse sands and sandy gravels; stiff to very stiff silts and clays	Saprolites. residual soils	300–400 (34–45)	14–25
6	Loose to medium dense fine to coarse sands to stiff clays and silts	Dense, hydraulic fill, compacted fill; residual soils	200–300 (23–34)	7–14
**7	loose fine sands alluvium, loess medium - still and varied days; fill	Flood plain soils; take clays; adobe; gumbo, fill	100–200 (11–23)	4–8
**8	Peet, organic sits, inundated site, fly ash very Inose sands, very sort to soft days	Miscellaneous fills, swamp marsh	less than 100 (0–11)	0–5
Class 1 soils are difficult to probe consistently and the ASTM blow count may be of questionable value				
**It is advisable to install anchors deep enough, by the use of extensions, to penetrate a Class 5 or 6, underlying the Class or 8 soils				

- ❑ Horgonyrúd átmérő: ¾" (19 mm) vagy 1" (25,4 mm);
- ❑ Hossz: 6 láb (1,8 m), 7 láb (2,1 m), 8 láb (2,4 m);
- ❑ Spirális fúró méret: 6" (152 mm), 8" (203 mm);
- ❑ Kötélszem: egyes, kettős, hármas.

A horgonyrúd végén található kötélszem (19. ábra) típusát úgy választják ki, ahány horgonykötél csatlakozik a kikötő-horgonyhoz.

A megfelelő horgonyméret meghatározásához talajvizsgálatra van szükség. A talajmintavételt mechanikus talajvizsgáló szonda szerszámmal végzik, amelyet a talajba fúrnak. A mintavétel által kinyert talajmag ellenálló nyomatékát (rögzítő nyomatékát) (in·lb vagy N·m) összehasonlítják a talajosztályozási adatokkal (3. táblázat) és az alapján határozzák meg a csavaros horgony méreteit.

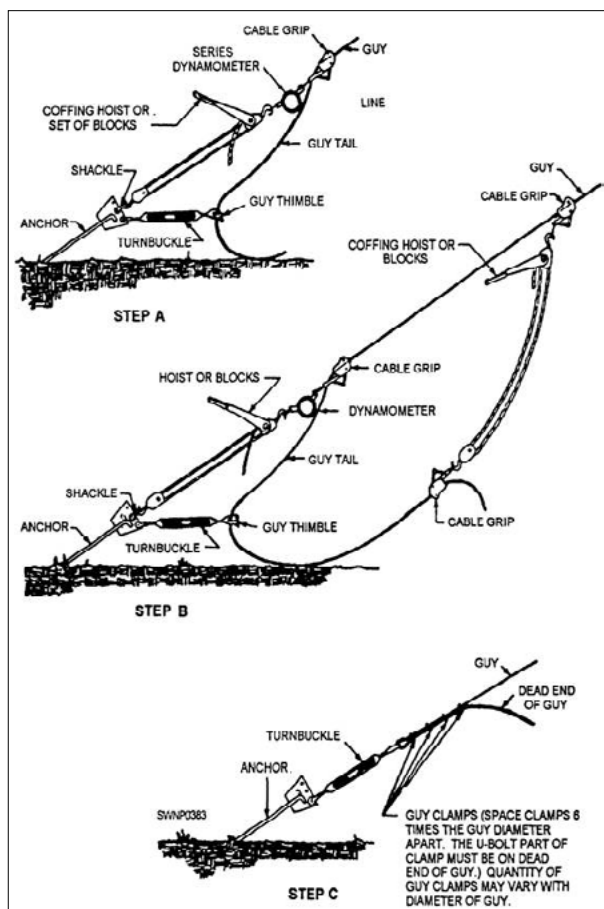
A szabványok szerint alkalmazhatók még a beton-horgonyok is (20. ábra). A földbe mélyített és helyben kiöntött betonhorgonyokat általában különösen nagy igénybevételek és rendkívül rossz talajviszonyok esetén használják, amikor is több horgonykötelet rögzítenek egyetlen beton rögzítési ponthoz.

A horgonykötelek előfeszítésének mértékét a be rendezés gyártójának előírásai szerint kell beállítani. A szükséges húzóerők dinamóméterrel (erőmérővel) történő beállításának két módszere van:

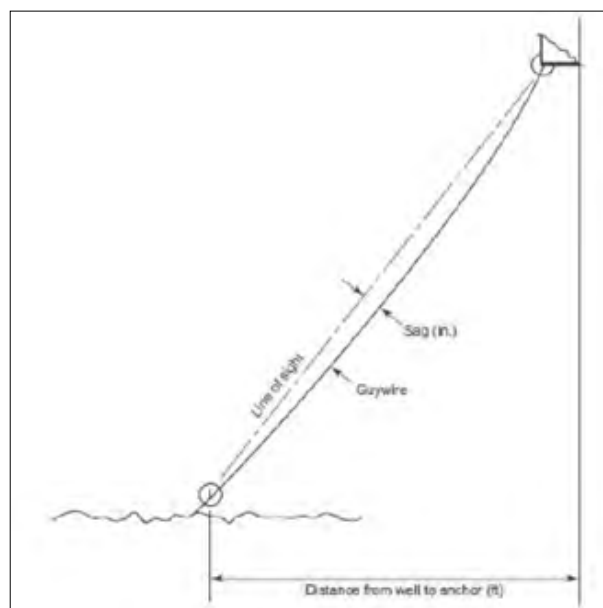
- ❑ Minden horgonykötél rendelkezik erőmérővel, amelyek végig beépítve maradnak;
- ❑ Egy erőmérővel végzik el az összes horgonykötél előfeszítését, amelyet a beállítás után eltávolítanak. Ezt a módszert mutatja be a 21. ábra.



20. ábra. Betonhorgony



21. ábra. Erőmérő alkalmazása és eltávolítása



22. ábra. Horgonykötél-behajlás

Az előfeszítés mértékének mérésére vagy rögzítésére használt eszközöket, illetve mindkettőt évente kell kalibrálni, vagy ha azokat egy minősített független szolgáltató javította. A kalibrálás aktuális nyilvántartását a berendezés üzemeltetőjének meg kell őriznie.

A horgonykötél behajlása felhasználható a megfelelő előfeszítés becslésére a 22. ábrán látható módon.

4. táblázat. Ajánlott előfeszítés

Guyline ^a	Recommended Size	Recommended Pretension	Sag ^b
External Guy A	5/8 in.	1000 lb (373 kg)	See Figure 3
External Guy B	9/16 in.	500 lb (187 kg)	See Figure 3
Internal Guy C (2)	7/8 in.	1500 lb (560 kg) each	3 in. (76 mm)
Intermediate Guy D (2) ^c	5/8 in.	1000 lb (373 kg) each	3 in. (76 mm)

^a All guywires should be 6×19 or 6×37 class, regular lay, IPS, IWRC
^b Guywire catenary or sag may be used to estimate pretension, see Table 4
^c Intermediate Guywires D are recommended at option of manufacturer only

5. táblázat. Horgonykötél-behajlásértékek

Distance to Well Anchor ft (m)	Guywire Sag in. (mm)					
	Pole Mast		Single Mast		Double Mast	
	Tubing Board Guy	Crown-ground Guy	Tubing Board Guy	Crown-ground Guy	Tubing Board Guy	Crown-ground Guy
40 (12)	—	4 (102)	4 (102)	4 (102)	6 (152)	5 (127)
60 (18)	—	6 (152)	8 (203)	6 (152)	12 (305)	8 (203)
80 (24)	—	10(254)	15(381)	10 (254)	17 (432)	11 (279)
100 (30)	—	16(406)	22 (559)	16 (406)	26 (660)	15 (381)
120 (37)	—	10(457)	32 (813)	18 (457)	32 (813)	21 (533)

A 4. és 5. táblázat pedig útmutatóként használható a megfelelő előfeszítési értékek és a horgonykötél-behajlás meghatározására [7].

Felelősség

A berendezések kihorgonyzásért az üzemeltető, az engedélyes vagy a független kapacitásellenőrző társaság (amennyiben megbízzák) a felelős.

Üzemeltető. Az üzemeltető felelős a következőkért:

- ❑ a berendezés gyártói dokumentációk, utasítások és ajánlások megléte és maradéktalan betartása;
- ❑ a berendezés üzemi utasításainak megléte és maradéktalan alkalmazása;
- ❑ az önjáró kihorgonyzott berendezés megfelelő beállása az aknára vagy a kútfejre;
- ❑ a horgonykapacitás ellenőrzése, a kapacitásellenőrzés legfrissebb nyilvántartásainak egy időjárásálló címkén kell lenniük, amely biztonságosan rögzítve van minden vizsgált horgonyhoz, a címkének fel kell tüntetnie az egyes horgonyok kapacitását és a kapacitás-ellenőrzés dátumát;
- ❑ a horgonytávolság és horgonykapacitás az előírásoknak és a várható terhelésekre megfelelő legyen;
- ❑ a befűrható horgony méretének kiválasztása;
- ❑ a talaj azon körülményeinek vizsgálata, amelyek a horgonykapacitás csökkenését okozhatják;
- ❑ a horgonyok és horgonykötelek teljes átvizsgálása felszerelés előtt;
- ❑ az összes kihorgonyzás napi ellenőrzése és szükséges javítása vagy cseréje;
- ❑ a telepített vagy vizsgált horgonyok állománylistájának vezetése, a dokumentációnak tartalmaznia kell a telepítés dátumát, az egyes kapacitás-ellenőrzéseket, valamint a behajlási tesztábrázolókat;
- ❑ látható jelölő elhelyezése minden horgonyon és horgonykötélen.

Engedélyes. Az engedélyes felelős a következőkért:

- ❑ az üzemeltető üzemi utasításainak és azok betartásának ellenőrzése;
- ❑ a kihorgonyzás műszaki ellenőrzése;
- ❑ az előírt nyilvántartások meglétének ellenőrzése;

- ❑ minden olyan dokumentum átvizsgálása, amely a kihorgonyzott önjáró berendezés biztonságos munkáját szolgálja.

Független kapacitás-ellenőrző társaság. A független kapacitás-ellenőrző társaság felelős a következőkért:

- ❑ a vizsgálóberendezések jó üzemi állapotban tartása;
- ❑ a szükséges nyilvántartások biztosítása az üzemeltető és az engedélyes számára;
- ❑ az időjárásálló címke felszerelése minden húzási vizsgálat után, a címkének fel kell tüntetnie az egyes horgony kapacitását, a kapacitásellenőrzés időpontját, a vizsgálatot végző társaság nevét és telefonszámát;
- ❑ a vizsgálóberendezést évente legalább egyszer vagy sérülés/javítás után kalibrálni kell.

Befejezés

Ez az összeállítás nem utasítás, nem javaslat és nem is kritikai elemzése a hazai gyakorlatnak, hanem csupán a meglévő és érvényben lévő szabványok, szabályozások és szakirodalmi adatok összegfoglalása. Remélhetőleg elősegíti az önjáró fúró- lyukbefejező- és kútjavító berendezések fúróárbocainak kihorgonyzására vonatkozó engedélyes-üzemeltető együttműködést, esetleg a mindennapi gyakorlat javítását.

Irodalom

- [1] Ötven éves a magyar kőolaj- és földgázbányászat. KfV 1937 – 1987. Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat, Nagykanizsa, 1987.
- [2] Az olaj tükrében. A nagyalföldi szénhidrogén-kutató- és feltárás összefoglalója. Kőolajkutató Vállalat, Szolnok, 1987.
- [3] API, AISC, MSZ EN ISO szabványok, 2025.
- [4] 16/2022. (I. 28.) SZTFH rendelet a Kőolaj- és Földgázbányászati Biztonsági Szabályzatról, 2025.
- [5] 5/2022. (I. 24.) SZTFH rendelet a Mélyfúrási Biztonsági Szabályzatról, 2025.
- [6] Aurelian Iamendei, Serban Nicolae Vasilescu, Ion Popa, Lavinia Silvia Stanciu, Razvan George Ripeanu: Analysis of the behaviour of a 480 kN maximum hook load workover rig mast in the case of wind stress. U.P.B. Sci. Bull., Series D, 83/4, 2021. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/fulle1a_115210.pdf
- [7] Drilling mast in the oil and gas rig. Drilling Manual. 2022-10-05.

LFP típusú Li-ion akkumulátorok eljárástechnikai alapvizsgálata a fenntartható reciklikálásuk érdekében* – 1. rész

Basic procedural technical examination of LFP type Li-ion batteries in order to ensure their sustainable recycling* – Part 1

SPEKKER DORINA
ENTHTI környezetmérnök, BSc
E-mail: dorina.spekker01@gmail.com

Az akkumulátorok kérdésköre globálisan aktuálisnak számít az akkumulátor egész életciklusára vetítve, ugyanis mindennapi életünk során már minden eszköz kezd az idő előrehaladtával vezeték nélkülivé válni, amely mobilitásnak az akkumulátor a kulcsa. Az akkumulátor azonban már a szükséges nyersanyagok szempontjából is kihívást jelent, ugyanis nagymértékben tartalmaz kritikus elemeket, amelyek közé sorolhatóak például a ritkaföldfémek is. A reciklás ezen problémát igyekszik megoldani már évtizedek óta, a másodlagos nyersanyagok előállításával. Ezen elektronikai hulladéktípus tehát nagyon is értékesnek mondható, és elterjedésének köszönhetően néhány éven belül a hulladékiparban is tömegesen meg fog jelenni, ezért a feldolgozásának kutatása, fejlesztése és elsajátítása elkerülhetetlen.

TDK-dolgozatom során az akkumulátorok számos típusa és fajtája közül a lítium-vasfoszfát akkumulátorra esett a választásom, a következő okok miatt. Az LFP típusú akkumulátorok jelentős mennyiségben kerülnek felhasználásra az elektromobilitásban, ami nagy mennyiségű gyártásközi és amortizációs hulladék megjelenésével is jár (Hu, Li és Peng, 2012). Azonban az ezen hulladékokból kinyerhető érték viszonylag kicsi, leginkább csak a Li visszanyerésére törekednek H_2O_2 , nátrium-hipoklorit és egyéb erőlyes vegyületek felhasználásával (Wang és Wu, 2017). Ezért érdemes lenne a klasszikus erős vegyszert vagy nagy energiabefektetést igénylő kohászati eljárások helyett olcsóbb és környezetbarátabb irányokba fejleszteni, megvalósítva a „zöld kémiát”.

A szelektív Li kioldását bakteriális oxidációval is meg lehetne oldani, bioszolubilizálás keretében (Chung-Yen és társai, 2021; Misra és társai, 2022). Az LFP típusra azért is esett a választásom, mert korábbi kutatómunkáim során az Intézet Biológiai Eljárástechnikai Laboratóriumában elérhető és kultiválható acidofil baktériumokkal dolgoztam, amelyek tápanyagának fő összetevője a vas(II)szulfát, így azt feltételeztem, hogy az LFP-akkumulátor aktív anyagának vastartalma kiegészítő tápanyag forrásként szolgálhat, így csökkentve az inhibitor hatását. Az említett baktériumok használata az iparban nem újkeletű, ugyanis a bányászat már alkalmazta őket, például réz (Gentina és Acevedo, 2013) vagy arany bányászatára (Gahan és társai, 2012). Ebből kiindulva a baktériumok alkalmazása a modern kor kihívásaira is megoldás lehet, legyen szó olyan bonyolult szerkezetű elektronikai hulladékról, mint az akkumulátorok, a nyomtatott áramkörti lapok vagy a katalizátorok. Ezen akkumulátor típusból mintához, a Kar által létrehozott új képzési forma, a kooperatív képzés keretében jutottam hozzá.

Kulcsszavak: Li-ion akkumulátor, fenntartható reciklikálás, eljárástechnikai alapvizsgálat

* A BKL szerkesztősége a szerkesztőbizottság javaslata alapján helyt ad olyan TDK-dolgozatoknak, amelyek eredményesen szerepeltek a fiatal kutatók versenyében. Az alábbiakban közreadott publikáció 2025-ben 2. helyezést ért el, szerzője előadói díjat nyert. – *A Szerk.*

The BKL editorial board, based on the proposal of the editorial board, grants TDK theses that have successfully participated in the young researchers' competition. The publication published below achieved 2nd place in 2025, and its author won a speaker award. – *The Editor.*

The issue of batteries is getting more and more a global issue, projected over the entire life cycle of the battery. In our daily lives, all devices are becoming wireless over time, and the battery is the key to this mobility. However, the battery also poses a challenge in terms of the necessary raw materials, as it contains a large amount of critical elements, including rare-earth elements. However, recycling has been trying to solve this problem for decades by producing secondary raw materials. This type of electronic waste is therefore said to be very valuable, and due to its spread, it will appear in large numbers in the waste-processing industry within a few years, so research, development and mastering its processing are inevitable. During my TDK theses, I chose the lithium iron phosphate battery among many types of batteries, for the following reasons. LFP batteries are used in significant quantities in electromobility, which also results in the appearance of a large amount of technological and depreciation waste (Hu, Li, Peng, 2012). However, the value that can be extracted from these wastes is relatively small, mostly only the recovery of Li is sought using H_2O_2 , sodium hypochlorite and other strong compounds (Wang and Wu, 2017). Therefore, it would be worthwhile to develop cheaper and more environmentally friendly methods instead of classical strong chemicals or metallurgical processes requiring high energy investment, implementing "green chemistry". Selective Li extraction could also be solved by bacterial oxidation, within the framework of biosolubilization (Chung-Yen et al., 2021; Misra et al., 2022). I also chose the LFP type because previously, in the Institute's Biological Process Technology Laboratory I worked with acidophilic bacterias, whose main nutrient component is iron(II) sulfate, so I assumed that the iron content of the active material of the LFP battery could serve as an additional nutrient source, thus reducing the inhibitor effect. The use of the mentioned bacteria in the industry is not new, as they have already been used for example, for mining copper (Gentina and Acevedo, 2013) or gold (Gahan et al., 2012). Based on this, the use of bacteria can also be a solution to the challenges of the modern age, whether it is about electronic waste with such a complex structure as batteries, printed circuit boards or catalysts. I obtained a sample of this battery type from an e-waste recycler company, within the framework of so called cooperative training, which is a new training form at the Faculty. Furthermore, the battery was manually disassembled and chemically analyzed at the company, and a consultation opportunity was also provided within the framework of the training.

Keywords: Li-ion battery, procedural technical basic examination, sustainable recycling

1. Akkumulátorok fejlődéstörténete

1.1. Méréföldkövek, trendek

Alessandro Volta, olasz fizikus és vegyész 1800-ban feltalálta az első elektromos elemet, amelyet a modern akkumulátor elődjeként tartanak számon. Az első ólom-sav alapú újratölthető akkumulátort (más néven „másodlagos cella” vagy „akkumulátor”) Franciaországban fejlesztették ki, a 19. század közepén. Ezen fejlesztés előtt minden akkumulátor elsődleges cella volt, vagyis nem lehetett újratölteni. 1899-ben a svéd Waldemar Jungner találta fel a nikkelt-kadmium (NiCd) akkumulátort, amelyhez pozitív elektródaként (katódként) kadmiumot, negatív elektródaként (anódként) pedig nikkelt használt. Az anyag magas költsége azonban az ólomhoz képest korlátozta a felhasználását. Mindazonáltal ez nem változtatott azon a tényen, hogy a NiCd volt az egyetlen újratölthető akkumulátor a hordozható alkalmazásokhoz. 1817-ben egy svéd kémikus, Johan August Arfwedson fedezte fel a lítiumot úgy, hogy sóként izolálta. 1912-ben a

lítiumelemek kutatása egy amerikai vegyész, Gilbert Newton Lewis kísérleteivel kezdődött meg. A lítiumion-akkumulátorok kutatása az 1970-es és 1980-as években mérőföldkőhöz ért: kifejlesztették az újratölthető lítium-akkumulátorokat lítium-kobalt-oxid ($LiCoO_2$) katód és grafit anód használatával. Az 1990-es években Európában a környezetvédők aggódni kezdtek a NiCd gondatlan ártalmatlanításából eredő károk miatt. A 2006/66/EK akkumulátor-irányelv jelenleg korlátozza a NiCd akkumulátorok értékesítését az Európai Unióban, kivéve a speciális ipari felhasználásokat, ahol nem helyettesíthetők. Alternatív megoldás a nikkelt-fémhidrid (NiMH) akkumulátor, amely környezetbarátabb és hasonló a NiCd-hoz, de ritkaföldfémeket tartalmaz. Napjainkban a legtöbb kutatási tevékenység a lítium alapú rendszerek fejlesztésére irányul, amelyet először a Sony vezetett be, mikor 1991-ben Asahi Kasei-jel közösen piacra dobták az első kereskedelmi forgalomban kapható lítiumion-akkumulátort. A lítiumion-akkumulátor technológia 1997-ben egy stabilabb polimer alapú

megoldással lett gazdagabb, a hőstabilitás biztosítása érdekében. 2002-ben a tudósok kifejlesztették az első laminált lítiumion-akkumulátorokat, amelyek alkalmasak voltak a hordozható eszközökhöz létrehozásához. A mobiltelefonok, laptopok, digitális fényképezőgépek, elektromos szerszámok és orvosi eszközök táplálásán kívül a lítiumion-akkumulátorokat elektromos járművekben és műholdakban is használják. Ennek az akkumulátor típusnak számos előnye van, különösen a nagy fajlagos energiasűrűsége, egyszerű töltése és alacsony karbantartási költsége. 2019-ben M. Stanley Whittingham, brit-amerikai vegyész; Akira Yoshino, japán vegyész és John B. Goodenough, amerikai anyagtudós és fizikus kémiai Nobel-díjat kaptak a lítiumion-akkumulátor fejlesztéséért. Munkájuk nagyban hozzájárult a vezeték nélküli elektronika korszakának meghirdetéséhez. (web: Blackridge, 2022; web: EnersysTM; 2021).

A jelenlegi piacon, az akkumulátor kémiai összetétele (aktív anyagok) alapján 3 csoportot különböztetünk meg:

- ❑ NiMH: nikkelfémhidrid tölthető akkumulátorok;
- ❑ LiPO: lítium-polimer tölthető akkumulátorok;
- ❑ LIB: lítiumion tölthető akkumulátorok ezen csoportja, amely a legelterjedtebbnek mondható, pedig további hat típusra bontható:
 - LCO: lítium-kobalt-oxid (LiCoO_2);
 - LMO: lítium-mangán-oxid (LiMn_2O_4);
 - NMC: lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid (LiNiCoO_2);
 - LFP: lítium-vas-foszfát (LiFePO_4);
 - NCA: lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid (LiNiCoAlO_2);
 - LTO: lítium-titanát (Li_2TiO_3).

1. táblázat. A jellemző katódokat tartalmazó Li-ion akkumulátorcellák anyagmérlegei (Gaines, Richa és Spangenberg, 2018). (Az aktív katódanyag elemi összetétele duplán bekeretezve szerepel.)

	NMC(111)	NMC(622)	NMC(811)	LCO	NCA	LMO	LFP
Active cathode material	34.1%	31.8%	31.1%	35.3%	30.4%	40.1%	32.2%
Elemental composition of active cathode material							
Li	7.86%	7.82%	7.79%	7.09%	7.22%	3.84%	4.40%
Co	20.21%	12.07%	6.02%	60.21%	9.20%	...	...
Ni	20.13%	36.07%	47.93%	...	48.87%	...	...
Mn	18.84%	11.26%	5.61%	...	...	60.77%	...
Al	...	...	...	...	1.40%	...	...
Fe	...	...	...	...	...	...	35.40%
P	...	...	...	...	...	...	19.63%
O	32.95%	32.78%	32.66%	32.69%	33.30%	35.39%	40.57%
Graphite	19.0%	20.7%	20.6%	18.5%	22.0%	13.8%	16.6%
Carbon black	2.3%	2.1%	1.7%	2.4%	2.1%	2.7%	2.2%
Binder: PVDF	2.9%	2.9%	3.6%	3.0%	2.9%	3.0%	2.7%
Copper	16.4%	16.8%	15.7%	16.1%	16.9%	15.7%	14.5%
Aluminum	8.2%	8.4%	8.0%	8.1%	8.4%	7.9%	7.5%
Electrolyte: LiPF ₆	2.2%	2.2%	2.6%	2.2%	2.3%	2.2%	3.3%
Electrolyte: EC	6.20%	6.30%	7.20%	6.00%	6.30%	6.10%	9.40%
Electrolyte: DMC	6.2%	6.3%	7.2%	6.0%	6.3%	6.1%	9.3%
Plastic: polypropylene	1.9%	1.9%	1.8%	1.8%	1.9%	1.8%	1.7%
Plastic: polyethylene	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%
Plastic: polyethylene terephthalate	0.3%	0.3%	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%	0.4%

NMC: lithium nickel manganese cobalt oxide; LCO: lithium cobalt oxide; NCA: lithium nickel cobalt aluminum oxide; LMO: lithium manganese oxide; LFP: lithium ferrous phosphate.

Az akkumulátor szerkezete alapján, pedig az alábbiak szerint csoportosíthatók az akkumulátorok:

- hengeres;
- prizmás;
- zsebes/tasakos.

Felhasználás szerint lehet:

- teljesítmény cella: rövid ideig, nagy áramterhelést biztosít;
- energiacella: hosszú ideig, kisebb, tartós áramot szolgáltat.

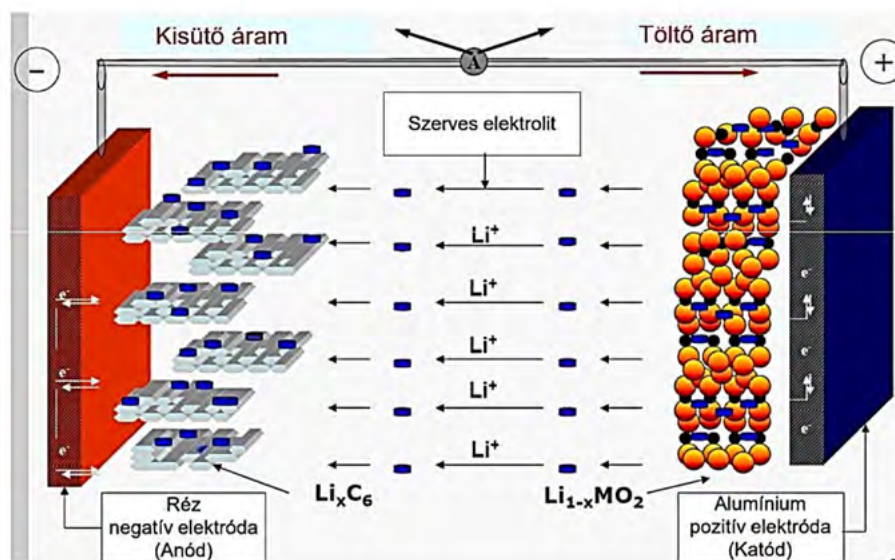
(web: Blackridge; 2022; web: TME; 2021)

1.2. Li-ion akkumulátorok, különös tekintettel a lítium-vas-foszfát típusú akkumulátorokra: működési elv, felépítés, kémiai összetétel

A Li-ion akkumulátorok elterjedésüket számos előnyüknek köszönhetik. Más típusú akkumulátorokkal szemben, például, nagyon magas a fajlagos energiájuk, energiasűrűségük, sőt az egyik legjobb energia-tömeg aránnyal rendelkeznek. Más típusú akkumulátorokkal szemben több töltés-lemerítés ciklust is kibírnak. Időszakos kisütésre nincs szükség esetükben, ugyanis nem mutatnak memória effektust, továbbá az önkisülési rátájuk is alacsony, kevesebb mint fele a NiCd és NiMH típusú akkumulátorokénak. Mindezeket túl karbantartási igényük is alacsonynak mondható, azaz kevésbé költséges és egyszerűbb, mint más akkumulátoroknál. Ez részben annak is köszönhető, hogy kis tömegű akkumulátorok. Az előnyöknek azonban ára van, ugyanis a Li-akkumulátorok a legdrágábbak a piacon, ennek ellenére egyre nagyobb a kereslet irántuk, hiszen sokféle felhasználási célnak megfelelnek. Hátrányuknak betudható, hogy a gyártásukhoz szükséges nyersanyagok beszerzése kockázatos, mind környezetvédelmi, mind ellátottsági szempontból, ugyan-

is jelenleg az akkumulátorok alkotóinak bányászata és a kinyerés mértéke nem tudja felvenni a versenyt az ellátás igényeivel, amely tényállás különösen igaz a lítiumra és színesfémekre, mint a kobalt vagy a nikkel, amelyek az 1. táblázatban is láthatóak. Az akkumulátorokról általánosságban elmondható, hogy amikor nincsenek használatban akkor is öregsznek, azonban a Li-ion akkumulátoroknál ez a teljesítménycsökkenés sokkal lassabban következik be. Magas fajlagos energiájuk miatt, valamint a feszültség és áram korlátozása végett szükséges egy védőáramkörrel együtt működtetni őket, továbbá védőburkolatot is igényelnek a biztonságos töltési határ fenntartásához. Az ilyen típusú akkumulátorokra szigorú szállítási előírások vonatkoznak, mert amellett, hogy veszélyes anyagok, hőmérsékletre érzékenyek, ami azt jelenti, hogy ha magas hőnek vannak kitéve hamar tönkremennek, emellett amennyiben sérül a szeparátor réteg, a gyúlékony, folyékony elektrolit miatt magas a robbanási és kigyulladás kockázatuk. Törékenyséjük és az átlukadás magas veszélye miatt nem megfelelő lerakás vagy újrahazsnosítás esetén potenciális környezetszennyezők (web: Blackridge, 2022; web: TME, 2021).

Az akkumulátor egy olyan eszköz, amely alapvető elektrokémiai egységet tartalmaz, amelyet villamos energiát szolgáltató cellának neveznek. Az akkumulátor fő összetevői a következők: pozitív elektróda (azaz katód, amikor lemerült, kisült); negatív elektróda (azaz anód, amikor lemerült vagy kisült); elválasztó/szigetelő réteg (szeparátor); két áramkollektor (pozitív és negatív) és elektrolit. Elektrolitnak nevezzük azokat a vegyületeket, amelyeknek vizes oldata vagy olvadáka, mozgékony töltéshordozó – anionok és kationok – révén elektromos áram vezetésére képesek. Az elektrolit oldatokat vagy olvadékokat ionvezetők-

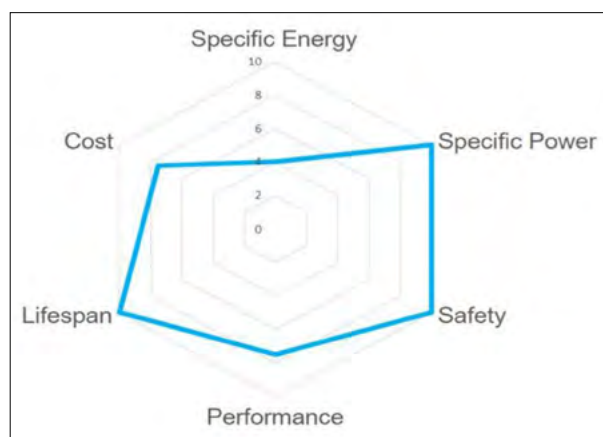


1. ábra. A Li-ion akkumulátor felépítése és működési elve (web: EnersysTM)

nek is nevezzük. Az elektrolit lehet vizes vagy szerves oldat, ez utóbbi esetben elkerülhetők az anód és az elektrolit közötti reakciók. Az anódon és a katódon található a lítium, amely az első akkumulátoroknál még elemi formában volt jelen, ma már Li-vegyületként, a többszöri használat és hatékonyság érdekében. A szigetelő az anód és a katód között helyezkedik el, amely megakadályozza a fizikai érintkezést és a rövidzárlatot, miközben az elektrolit lehetővé teszi az ionok átadását az elektródák között (Eronen, 2017; Minos, 2023; Szabó, 2018). Egy Li-akkumulátor általános felépítése a 1. ábrán látható.

Noha sok különféle típusú Li-ion akkumulátor létezik, közös jellemzőjük az elektródok közötti Li⁺-ion-transzport egy általában szerves alapú, folyékony vagy szilárd, illetve polimer géles elektroliton keresztül (Wang és Wu, 2017). Ez az iontranszport a kisülés esetében a katód (pozitív elektród), töltés esetén pedig megfordítva, az anód (negatív elektród) felé zajlik. Egy cellában elektrokémiai oxidációs-redukációs reakció közvetlenül átalakítja az aktív anyagok kémiai energiáját elektromos energiává. Az elektrokémiai reakció során a negatív elektród vagy anód oxidálódik, és a pozitív elektród vagy katód redukálódik. Az oxidáció az elektronok elektródról elektrolitba történő átvitelével történik, redukcióról pedig akkor beszélünk, amikor elektronok kerülnek át az elektrolitból az elektródra. Az elektrolit pozitív töltésű lítiumionokat szállít az anódról a katódra és fordítva a szeparátoron keresztül. Az akkumulátorokban töltés során a katód aktív anyagából kilépnek a lítiumionok, továbbá az átmeneti fémionok magasabb oxidációs állapotba kerülnek (oxidálódnak), és az így keletkezett elektron követi a lítiumiont. A lítiumionok mozgása szabad elektronokat hoz létre az anódban, ami töltést hoz létre a pozitív áramkollektoron. Az elektromos áram ezután az áramkollektorból egy táplált eszközön (mobiltelefonon, számítógépen stb.) keresztül a negatív áramkollektorba folyik. A szeparátor blokkolja az elektronok áramlását az akkumulátor belsejében. A Li-ion akkumulátor a lítium mellett más fémekkel együtt látja el feladatát, amely fémek az akkumulátor felépítését bemutató szolgáló 1. ábrán is láthatóak (Eronen, 2017; Minos, 2023; Szabó, 2018).

TDK-munkám során mintaként használt akkumulátortípus az LFP-akkumulátor volt, amely 1996 óta ismert, ugyanis a foszfát, mint katódanyag felfedezése ebben az évben vezetett az újratölthető lítium-akkumulátorok kifejlesztéséhez az egyik jól ismert akkumulátoranyaggal együtt alkalmazva. Jelenleg a kínai akkumulátoripar gyártja legnagyobb mértékben ezen típusú akkumulátort, amelynek mennyisége igen számottevő a piacon. A lítium-vasfoszfát LiFePO₄ (LFP) akkumulátor jó elektrokémiai teljesítményt nyújt bizonyos túltöltési és teljes töltési feltételek mellett.



2. ábra. LiFePO₄ akkumulátorok karakterisztikája (web: Blackridge, 2022)

Az akkumulátornak alacsonyabb a névleges feszültsége, mint a kobaltban dús lítiumion-akkumulátoré. Az LFP-akkumulátorokat főként energiatárolásra és egyéb olyan esetekben használják, amelyek magas szintű biztonságot, nagy teljesítményt és hosszú élettartamot követelnek meg. Az akkumulátorkémia fejlődése lehetővé tette a hagyományosan használt akkumulátorok cseréjét, így például az LFP-akkumulátor helyettesítheti az ólom-savas indítóakkumulátort, ugyanis négy sorba kötött LFP-akkumulátor cella ugyanakkora feszültséget képes előállítani, mint hat sorba kötött ólom-savas cella (web: Blackridge, 2022).

A 2. ábrán látható szempontok szerint következőképpen írhatóak le az LFP-akkumulátor tulajdonságai:

- ❑ **Költség [cost]:** A nyersanyagok költségét, valamint a ritkaságból és a technológiai összetettségből adódó költségeket tekintve viszonylag magas áron beszerezhető akkumulátor típus az LFP.
- ❑ **Élettartam [lifespan]:** Az élettartam azon ciklusok számát jelenti, amelyek a kapacitás kritikusán alacsony csökkenését eredményezik. Az LFP-akkumulátor legkiemelkedőbb tulajdonsága a magas élettartam.
- ❑ **Teljesítmény [performance]:** A teljesítmény a kapacitásra, feszültségre és ellenállásra vonatkozik, és azt jelzi, hogy az akkumulátor milyen jól teljesít széles hőmérséklet-tartományban. Az LFP-akkumulátor ebből a szempontból strapabírónak mondható.
- ❑ **Biztonság [safety]:** A kockázati tényezők, mint például a hőkezelés, hőmérsékleti küszöb, meghatározzák, hogy az akkumulátor alkalmazása mennyire biztonságos különböző körülmények között. Ezen túlmenően az akkumulátorhoz felhasznált anyagok hőstabilitása is szükséges a termikus átfutási kockázat csökkentéséhez. Az LFP-akkumulátor másik

kiemelkedő tulajdonsága ebben rejlik, ugyanis megfelelő alkalmazás mellett biztonságosnak tekinthető.

- ❑ *Fajlagos energia [specific energy]*: Általában wattóra per kilogrammban (Wh/kg) fejezik ki. A fajlagos energia (gravimetrikus energiasűrűség) azt jelenti, hogy egy rendszer mennyi energiával rendelkezik a tömegéhez képest. Ez az arány LFP-akkumulátorok esetén alacsony.
- ❑ *Fajlagos teljesítmény [specific power]* (nagy áram vagy terhelés leadásának képessége): Általában watt per kilogrammban (W/kg) fejezik ki. A fajlagos energia az adott tömegben lévő teljesítmény mennyiségére vonatkozik. Bár az LFP-akkumulátorok fajlagos energiája alacsony, fajlagos teljesítményük kiemelkedően magas.

Összességében tehát az LFP-akkumulátor úgy írható le, mint egy fokozott biztonságú, termikus stabilitással és nagy fajlagos teljesítménnyel rendelkező akkumulátor, amely hosszú ciklus élettartammal és alacsony fajlagos energiával bír (web: Blackridge, 2022).

A LiFePO_4 akkumulátorok nem tartalmaznak higanyt, kadmiumot, ólmot vagy más mérgező nehézfémeket, a többi elterjedt akkumulátor típusával szemben, ezért gyakran nevezik környezetbarát „zöld akkumulátoroknak”. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a LiFePO_4 akkumulátorok teljesen nem szennyező termékek, mivel fémeket, mérgező elektrolitokat, szerves vegyi anyagokat és műanyagokat tartalmaznak, amelyek szintén komoly biztonsági és környezetvédelmi problémákhoz vezethetnek, ha nem megfelelően ártalmatlanítják őket (Omar és Sohrab, 2015). Azonban a mi célunk Európában, az ártalmatlanításon túl, a reciklálás, vagyis az értékes anyagok kinyerése.

Az LFP típusú akkumulátor reciklálását illetően a (szakirodalmi) 2. táblázat mutatja az LFP-akkumulátor összetételét („black mass”) és az ahhoz tartozó technológiát.

1.3. Akkumulátor újra hasznosításánál alkalmazott eljárások

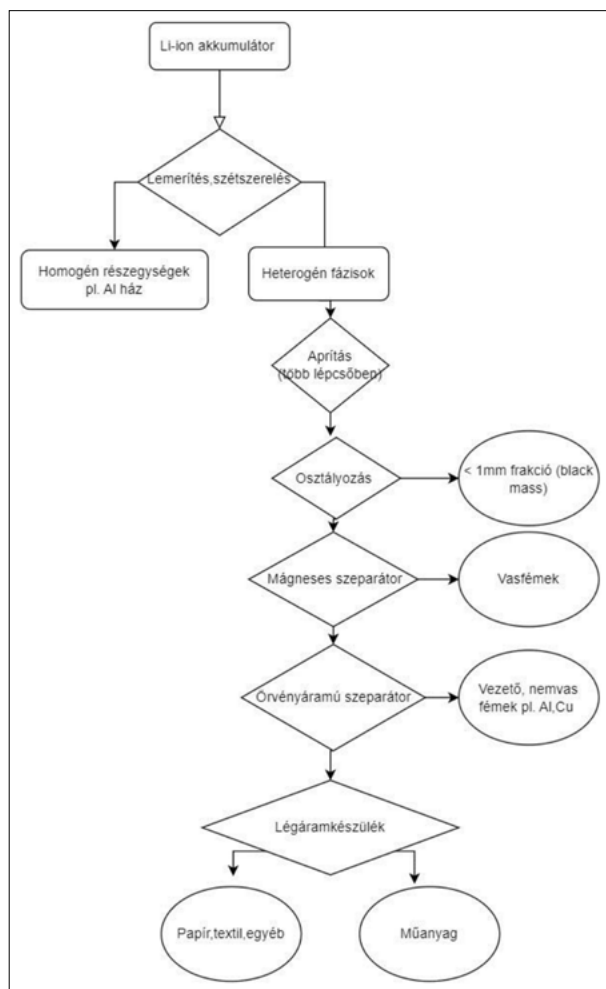
Jelenleg az elhasznált Li-ion akkumulátorok kezelésének fő lehetőségei az energia tárolására az újrafelhasználás vagy a piro- és hidrometallurgiai módszerekkel történő fémvisszanyerésre irányuló feldolgozás, amíg egyes országokban azonban csak a hulladéklerakás marad. A hulladéklerakás szennyezést okozhat, mivel a Co, Li, Fe, Mn és Cu lassan kimosódhatnak a talajba, a talajvízbe vagy a felszíni vizekbe, így ez nem maradhat a kezelési opciók között a jövőben. Azonban a kivont elektromos járművek akkumulátorainak újrafelhasználása perspektivikus opció, hiszen ezek az akkumulátorok továbbra is az eredeti kapacitásuk 70–80%-val rendelkeznek (Wang és Wu, 2017). Továbbá a Li-ion akkumulátorok növekvő piaci részesedése a másodlagos akkumulátorpiacon és elektromos járművekben történő alkalmazása miatt vált szükségessé az elhasznált akkumulátorok újra hasznosítása. Az elhasznált lítiumion-akkumulátorok száma naponta növekszik, ami egyedülálló üzleti lehetőséget kínál az értékes fémek kinyerésére és újra hasznosítására a kimerült lítiumion katódanyagokból. (Chung-Yen és társai, 2021; Mishra és társai, 2022)

1.3.1. Mechanikai eljárások

A hulladékká vált Li-ion akkumulátorok újrahasznosítási folyamatának első lépése általában az akkumulátorok típus szerinti válogatása, ezután kisütésen mennek keresztül, hogy gátolják a levegőnek kitett töltött elektródák heves reakcióit. A kisülés során a pozitív töltésű lítiumionok az anódról az elektroliton és a szeparátoron keresztül a katódra jutnak, így lítiummal dúsított katódanyag keletkezik, amelynek kinyerése elsődleges eljárástechnikai cél. A lemerített akkumulátorok ezután szétszerelésen és/vagy aprításon mennek keresztül (Chung-Yen és társai, 2021). A mechanikai előkészítésre azért van szükség, mert az akkumulátorból, mint összetett szerkezetből, homogén összetételű anyagi fázisokat (szemcséket) szükséges létrehozni, hogy kémiai,

2. táblázat. LFP-akkumulátor „black mass” összetételek és reciklálási technológiák (saját szerkesztés)

Cikk	(Yadava és társai, 2020)	(Li és társai, 2017)	(Huang és társai, 2016)
	Összetétel		
Li-tartalom	2%	3.85 %	$4.35 \pm 0.05\%$
Fe-tartalom	22%	30.80 %	$17.18 \pm 0.12\%$
P-tartalom	nincs adat	17.05 %	$9.36 \pm 0.07 \%$
Reciklálási technológia	mechanikai előkészítés → lúgzás → precipitálás	lúgzás → mosás → hő- kezelés → kénsavas kezelés	lúgzás → flotálás → precipitálás

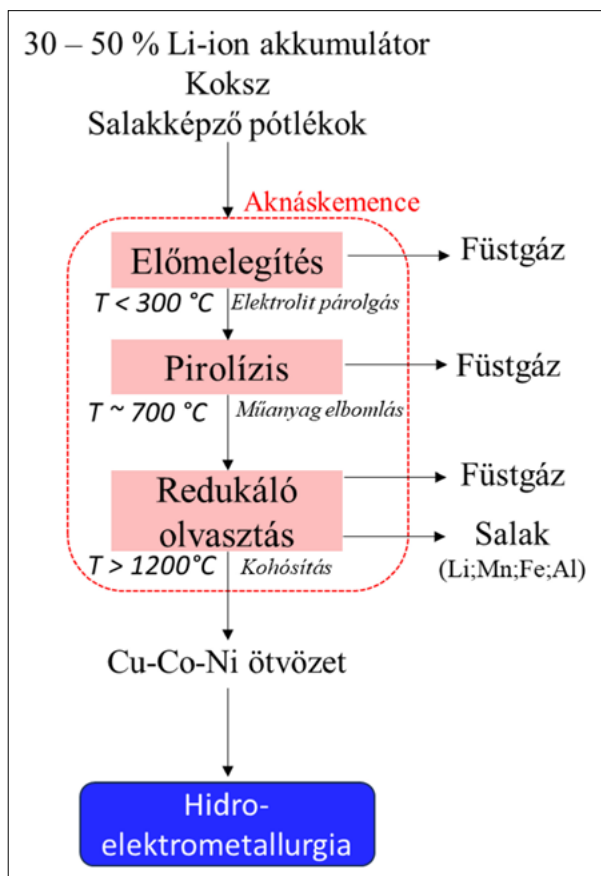


3. ábra. Mechanikai előkészítés általános folyamatábrája (Csöke és társai, 2013 alapján)

esetleg biológiai eljárások alkalmazásával az alkotó anyagok (elemek) közvetlenül vagy vegyület formájában visszanyerhetők legyenek (Nagy, 2022). Az aprítás történhet nedvesen vagy száraz módon is (pl. védőgáz közegben) a kigyulladás elkerülése érdekében. Továbbá a mechanikai előkészítés során a veszélyes anyagokat tartalmazó elektrolit eltávolítását is meg kell oldani. Az aprítás fő célja a „black mass” feltárása (egyfajta szelektív szemcseméret-csökkentés), annak érdekében, hogy a szemcseméret szerinti leválasztása megtörténhessen, ugyanis ez az anyag tartalmazza az akkumulátor legértékesebb elemeit (Nagy, 2022).

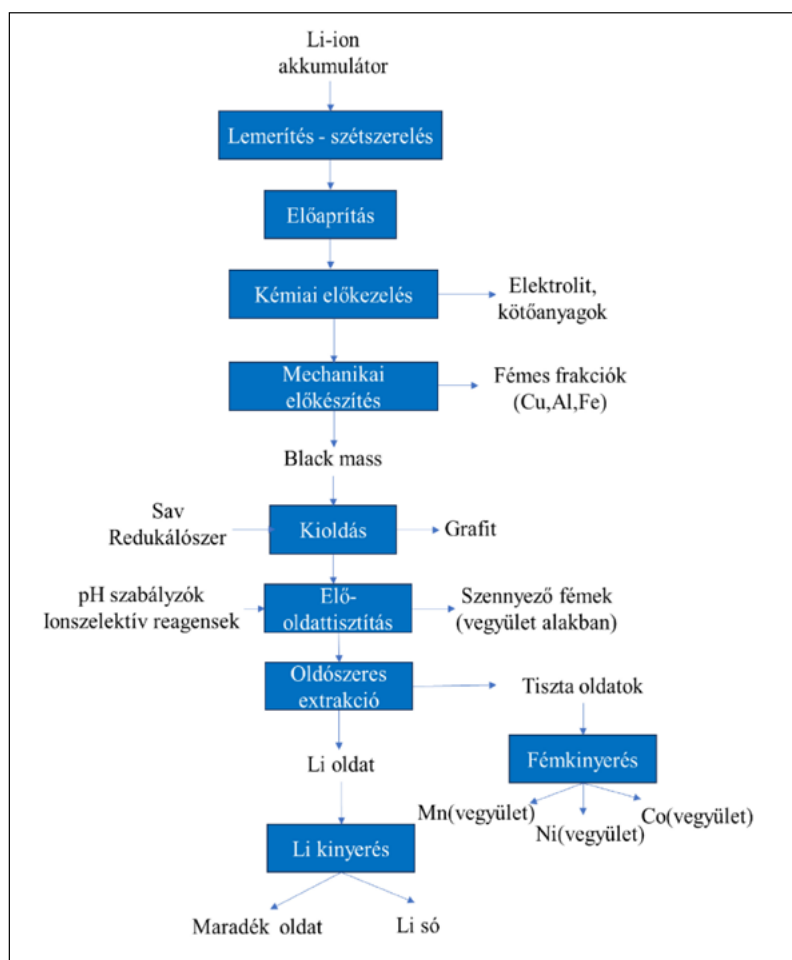
1.3.2. Termikus eljárások

A kisütött és mechanikai feldolgozáson már átesett akkumulátor anyagok termikus, vagy más terminológiában termokémiai feldolgozása általában az elektrolit és a szerves kötőanyagok eltávolításával kezdődik. Ez utóbbira azért van szükség, mert a katód alumíniumfóliára az aktív anyag olyan ragasztókkal van felvíve, mint például a PVDF [polivinilidén difluorid] és elektrolit keveréke (Tian és társai, 2016).



4. ábra. Termikus kezelés általános folyamatábrája (Dobó és társai, 2023 alapján)

A PVDF eltávolítása – ami lehetővé teszi az elektród aktív anyagoknak a kollektor fóliákról való hatékony mechanikai eltávolítását – 400–600 °C-on történő hőkezeléssel érhető el. Az elektrolit szerves oldószer fázisa vákuumdesztillációval eltávolítható, és az így kapott anyag a szerveskémiai iparban felhasználható. (Chung-Yen és társai, 2021). A szerves alkotók eltávolítása után – vagy azzal egybekötve – pirometallurgiai módszerekkel történhet az értékes fémek visszanyerése. A pirometallurgiai folyamatok előnyei a nagy termelékenység, a nyersanyaggal szemben való relatív igénytelenség. Ugyanis a pirometallurgiai feldolgozás során a Li-ion akkumulátor hulladék nem igényel előzetes lemerítést, sőt mechanikai feltárás nélkül, egész akkumulátorcellák is használhatók mint betétanyag. Hátránya azonban, hogy egy kohászati üzem felépítése nagy kezdeti beruházást igényel. Mivel a Li-ion akkumulátorok jelentős mennyiségben tartalmaznak szenet, alumíniumot és vasat, a karbon- és metallo-termikus redukációs eljárások kézenfekvő feldolgozó módszerek. Ezen eljárások esetén az akkumulátor C-, Al- és Fe-tartalma mint fűtő- és redukálószer hasznosul, míg a redukció terméke egy CuCo-Ni vagy Co-Ni ötvözet lesz. A Li jelentős része a szállópor fázisba, míg kisebb része a salakba kerül. Az olvasztás során keletkező füstgázok a klasszikus – már jól ismert és



5. ábra. Kémiai kezelés általános folyamatábrája (Dobó és társai, 2023 alapján)

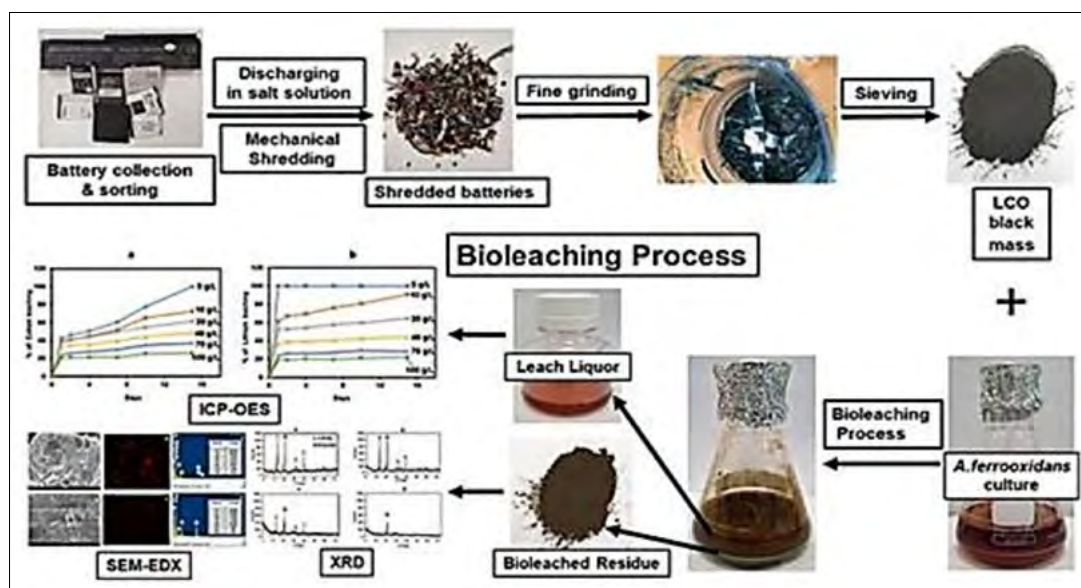
hatékonyan alkalmazott – füstgáztisztító eljárásokkal kezelhetők. Azonban az olvasztás fő terméke, a kevert ötvözet, csupán hidro-elektrometallurgiai módszerekkel dolgozható fel és alakítható át ismét tiszta fémekké

vagy fémvegyületekké (Dobó és társai, 2023; Guoxing és társai, 2016; Ren és társai, 2017; Xiao és társai, 2017). A legelterjedtebb pirometallurgiai feldolgozó módszer folyamatábráját mutatja a 4. ábra.

1.3.3. Kémiai eljárások

Az akkumulátorok mechanikai előkészítés után, termokémiai úton történő feldolgozás helyett, oldatkémiai – vagy hidrometallurgiai – úton is feldolgozhatók. A pirometallurgia helyett, vagy azzal kombinálva az akkumulátor hulladékok feldolgozásában fontos szerepet tölt be a hidrometallurgiai extrakciós eljárás (5. ábra). Kevésbé energiaigényes alternatívát jelent, és alacsonyabb tőkeköltséggel lehet számolni ezen eljárás esetében. A hidrometallurgiai módszerek alkalmasak az értékes fémek, köztük a lítium, hatékony kinyeréséhez az elektródahulladékból. A hidrometallurgiai eljárások során savas, lúgos vagy semleges vizes oldatok segítségével nyerik ki a fémeket. A hidrometallurgiai folyamatok első lépése a kioldás, amely művelet során a „black mass” értékes fémtartalmát vizes fázisba viszik.

Ezt követően történik a szennyező ionok (Fe, Cu) elválasztása az értékes – kinyerni kívánt – fémek mellől, amelyet rendszerint hidrolitikus kicsapással kombinált oldószeres extrakcióval va-



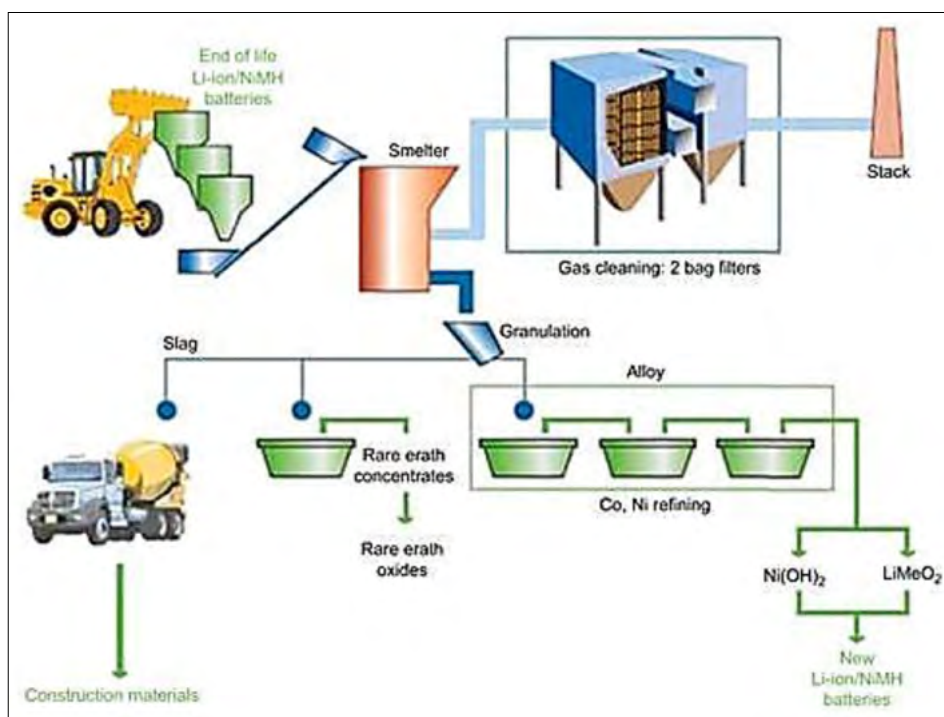
6. ábra. Biológiai eljárás akkumulátorokra (Roy és társai, 2021)

lósítanak meg. Ezt követi az értékes fémek (Co, Ni, Mn és Li) egymástól való elválasztása, szelektív ioncserélő reagensekkel. Ezek általában valamilyen szénhidrogén-származékban (pl. kerozin) oldott szerves kelátképző, kationcserélő reagensek. A szerves fázisban szelektíven megkötött fémionok egyszerű savas oldatokkal ismét a vizes fázisba vihetők, ahonnan kikristályosítással, precipitációval vagy elektrolitikus redukcióval kinyerhetők tiszta fémek vagy fémvegyületek formájában. Elhasznált Li-ion akkumulátorokra a gyakran alkalmazott reagens a néhány százalék H_2O_2 -dal adalékolt H_2SO_4 -oldat. A H_2O_2 szerepe a redukció, amely nélkül 50% feletti kioldási hatásfok általában nem érhető el. A folyamat időigénye néhány óra, és többnyire 100 °C alatti hőmérséklet elegendő a kioldáshoz (Jha és társai, 2013; Meshram és társai, 2015; Swain és társai, 2007; Zhu és társai, 2012). A klasszikus hidrometallurgiai Li-ion akkumulátor feldolgozó eljárások folyamatait illusztrálja az 5. ábra. A hidrometallurgia nemcsak pirometallurgiával, de biológiai módszerekkel is kombinálható, például a nagyon alacsony pH-jú környezetben élő *Acidithiobacillus ferrooxidans* alkalmazásával, amely lehetőséget a következő fejezetben tárgyalok (Chung-Yen és társai, 2021; Mishra és társai, 2022).

1.3.4. A további kutatásunk középpontjában álló biológiai eljárások

A biológus a bioeljárás-technika egyik folyamata, amely mikroorganizmusokat és metabolitjaikat használva értékes fémeket von ki többek között gyenge

minőségű ércekből, hulladék nyomtatott áramköri lapokból, kiégett katalizátorokból és elhasznált akkumulátorokból. Mikroorganizmusokat tekintve három csoport képes ezen folyamat elvégzésére: egyes gombák, például az *Aspergillus Niger*; a cianogén vagy kék baktériumok, mint a *Chromobacterium violaceum*, illetve az autotróf, acidofil baktériumok, mint például a saját kutatásomban is részt vevő *Acidithiobacillus ferrooxidans* és *Acidithiobacillus ferridurans*. Metabolizmusukban rejlő lehetőségek miatt ezeknek a baktériumoknak kiemelt szerep juthat az elektronikai hulladékok feldolgozása mellett, az energiahordozók – beleértve a biogázt – kényszerítésében is. A mikrobiális biológiai kioldásos eljárás egy ígéretes környezetbarát technológia. A módszer számos előnnyel rendelkezik más újra hasznosítási technológiákkal szemben, például kevesebb a káros gázkibocsátás, alacsonyabbak a működési költségek és az energiabevitel (mivel alacsony hőmérsékleten mennek végbe a reakciók). Fontos előny még a fenntartható fejlődés szempontjából, hogy a baktériumok megújuló, egyszerű kultiválhatóságuk miatt. A bioeljárás-technikai feldolgozás során alacsonyabb energiafelhasználással nagyobb fémvisszanyerés érhető el, ezek hátulütője, hogy a folyamat időigényes. A mikroorganizmusok által a fémkioldáshoz generált anyagcseretermékek kevésbé mérgezőek és könnyebben kezelhetők, ami mérsékli a környezetszennyezést és a feldolgozás során fellépő veszélyeket. Ugyanakkor, hasznosságuk mellett olyan környezeti károkért is felelősek, mint a bányavíz elsavasodása, cement- és betonkorrozó kialakulása (Mádainé Üve-



7. ábra. Kombinált újrahasznosítási folyamatára (Rombach és Friedrich, 2014)

3. táblázat. Fémkinyerés Li-ion akkumulátorból biológiai úton – összehasonlító táblázat (saját szerkesztés)

Szerzők	Cikk		Alkalmazott mikro- organizmus	Arány, koncent- ráció	Kihozatal	Analitikai módszer
	Cím	Dátum				
Xiaojuan L., Maoyou Y., Ji alin L., Shoupeng L., Zihang L., Yanghong D., Zhijie G., Qiaowei G., Xiaodi F., Shuiyu S.	Synergistic enhancement of metal extraction from spent Li-ion batteries by mixed culture bioleaching process mediated by ascorbic acid: Performance and mechanism	2022	<i>Acidithiobacillus caldus</i> , <i>Sulfobacillus thermo- sulfidooxidans</i> (keverten)	20 g/l	94% Co és 95% Li	XRD, Mass Spec- tometry
Nazanin Bahaloo-Horeh, Seyyed Mohammad Mousavi, Mahsa Baniasadi	Use of adapted metal tolerant Aspergillus niger to enhance bioleaching efficiency of valuable metals from spent lithium-ion mobile phone batteries	2018	<i>Aspergillus Niger</i>	1% (w/v)	100% Li, 94% Cu, 72% Mn, 62% Al, 45% Ni, 38% Co	SEM, FTIR, XRD, EDX és térképezési elemzések
Guisheng Zeng, Shenglian Luo, Xiaorong Deng, Lei Li, Chaktong Au	Influence of silver ions on bioleaching of cobalt from spent lithium batteries	2013	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	0,02 g/l Ag ⁺	43,1% Co → 98,4% Co (Ag ⁺)	SEM, XRD, EDX
Guisheng Zeng, Xiaorong Deng, Shenglian Luo, Xubiao Luo, Jianping Zou	A copper-catalyzed bioleaching process for enhancement of cobalt dissolution from spent lithium-ion batteries	2011	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	0,75 g/l Cu ₂ ⁺	43,1% Co → 99,9% Co (Cu ₂ ⁺)	SEM, XRD, EDX
Baoping Xin, Di Zhang, Xi an Zhang, Yunting Xia, F eng Wu, Shi Chen, Li Li	Bioleaching mechanism of Co and Li from spent lithium-ion battery by the mixed culture of acidophilic sulfur-oxidizing and iron-oxidizing bacteria	2009	kén- és vas-oxidáló baktériumok keveréke			
Debaraj Mishra, Dong-Jin Kim, D.E. Ralph, Jong-Gwan Ahn, Young Ha Rhee	Bioleaching of metals from spent lithium ion secondary batteries using <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	2007	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	5 g/l		EDXA
Tannaz Naseri, Nazanin Bahaloo-Horeh, Seyyed Mohammad Mousavi	Environmentally friendly recovery of valuable metals from spent coin cells through two-step bioleaching using <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	2019	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	30g/l	99% Li, 60% Co, 20% Mn	XRD, EDX, SEM, FTIR
Yayun Xin, Xingming Guo, Shi Chen, Jing Wang, Feng Wu, Baoping Xin	Bioleaching of valuable metals Li, Co, Ni and Mn from spent electric vehicle Li-ion batteries for the purpose of recovery	2016	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	1% zagysűrűség	átlagos extrakciós haté- konyság 95% Co 43,5% → 96% Ni 38,3% → 97%	

3. táblázat. (folyt.)

Cikk			Alkalmazott mikro- organizmus	Arány, koncent- ráció	Kihozatal	Analitikai módszer
Szerzők	Cím	Dátum				
Jia Wang, Yanchao Cui, Huichao Chu, Bingyang Tian, Huimin Li, Mingshun Zhang, Baoping Xin	Enhanced metal bioleaching mechanisms of extracellular polymeric substance for obsolete $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{O}_2$ at high pulp density	2022	Az <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> , <i>Leptospirillum ferriphilum</i> , <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> (keverten)	Ásványi só táptá- laj alkalmazása, kén ($\approx 75 \mu\text{m}$, 1,0 tömeg/térfogat%) és FeSO_4 (20 g/l)	A Li kvantitatív ext- rakciója 100% [csak biológiai kioldással] Ni +42%, Co +40%, Mn +44% [EPS hozzáadással]	Biokémiai, spekt- roszkópiai, felület- szerkezeti képal- kotási és biológiai kioldódási kinetikai módszerek
Nazanin Bahaloo-Horeh, Seyed Mohammad Mousavi	Enhanced recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries through optimization of organic acids produced by <i>Aspergillus niger</i>	2016	<i>Aspergillus niger</i>	2% (w/v) és 1% (w/v)	100% Cu, 100% Li, 77% Mn, 75% Al [2% w/v]; 64% Co, 54% Ni [1%w/v]	Design-Expert 7.0.0

ges és Bokányi, 2020; Chung-Yen és társai, 2021; Mishra és társai, 2022).

Az acidofil vasoxidáló és kénoxidáló baktériumokat, például az *Acidithiobacillus ferrooxidans*, az *Acidithiobacillus thiooxidans*, a *Leptospirillum ferrooxidans* és a *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* széles körben alkalmazzák a fémkinyerés biológiai kioldási folyamataiban. Ezek a baktériumok biokémiai reakciók sorozatán keresztül indítják be a fémoldódási folyamatot szervesen vegyületek (Fe_2^+ , FeS_2 és redukált S) elsődleges energiaforrásként való hasznosítása mellett (Roy és társai, 2021). Egy tipikus, biokioldási folyamat lépéseit a 6. ábra szemlélteti az akkumulátorok gyűjtésétől kezdve, a biológúzáson keresztül, egészen a kinyert anyagok analitikai vizsgálatáig.

A 3. táblázatból látható, hogy a tématerület kérdésköre aktuális, ugyanis a kutatások az utóbbi évtizedben indultak el nagy számban. A Li-ion akkumulátorok mellett vizsgálták, illetve vizsgálnak még egyéb típusú akkumulátorokat, például Ni-Cd akkumulátorokat (Bajestani és társai, 2014; Cerruti és társai, 1998; Kim és társai, 2016; Zhao és társai, 2008; Zhu és társai, 2003), továbbá nyomtatott áramköröket (Xia és társai, 2018) és katalizátorokat is (Gholami és társai, 2011; Shahrabi-Fahrani és társai, 2014), a legújabb vizsgálati alapanyag pedig a LED (Kh-ezerloo és társai, 2023). Az általam is vizsgált autotróf baktériumok gyakori alkalmazását szintén igazolja a (szakirodalmi) 3. táblázat.



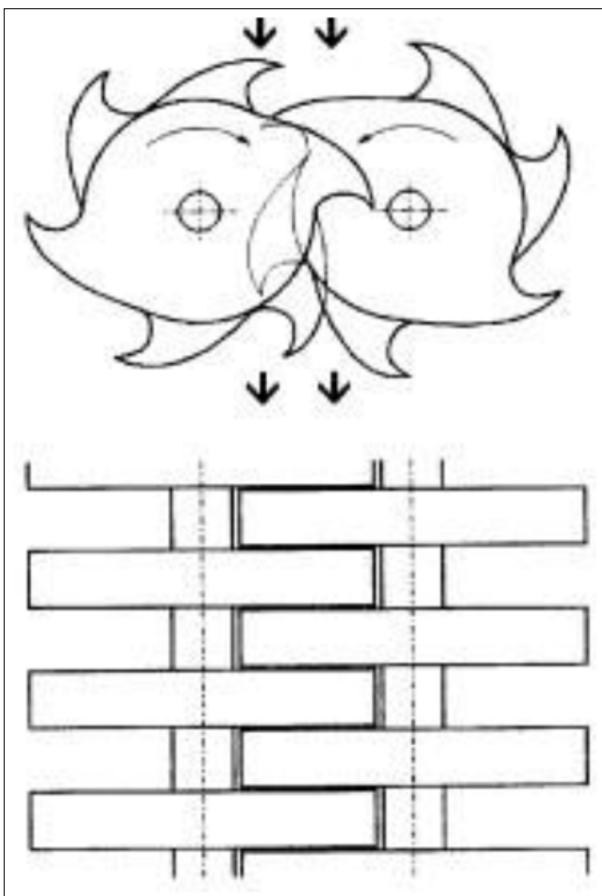
8. ábra. Forgótárcsás nyírómű a laboratóriumban (web: Nyersanyag-előkészítés és Környezettechnológia Intézet honlapja)

1.4. Li-ion akkumulátorok feldolgozása az ipari gyakorlatban

Jelenleg számos pirometallurgiai vagy olvasztó létesítmény létezik, amelyek kereskedelmi forgalomba hozzák a lítiumion-akkumulátorokból származó újrahasznosított termékeiket. Ebben



9. ábra. Forgótárcsás nyírómű felülnézete (Faitli és társai, 2017)



10. ábra. Forgótárcsás nyíró-apritógép működési elve (Jackel és Schubert, 1997)

az eljárásban a Li-akkumulátor előkezelési lépéseken megy keresztül, amely az aktív katódanyag visszanyerésére irányul, vagy közvetlenül az olvasztókemencébe is táplálható. 2011 nyarán egy belga újra hasznosítással foglalkozó cég, az Umicore megnyitott egy pirometallurgiai üzemet Hobokenben évi 7000 tonna lítiumion-akkumulátor és nikkelmetáldhidrid-akkumulátor feldolgozási kapacitással (Buchert és társai, 2012). A 7. ábrán látható egy használatban lévő példa a hidrometallurgiai folyamatra, az UCLA cégnél létesített technológia.

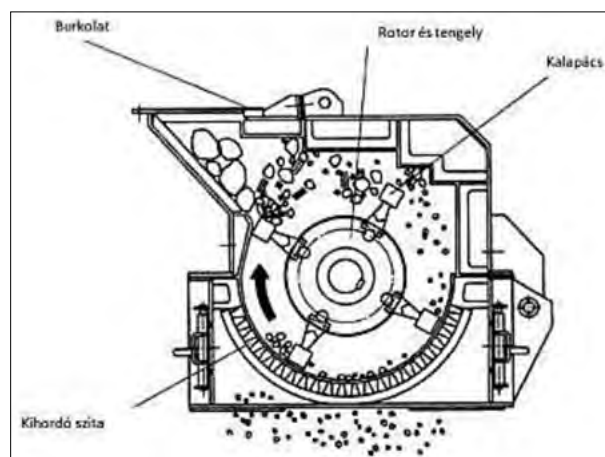
2. Laboratóriumi vizsgálatok és kísérletek

2.1. Alkalmazott berendezések

Forgótárcsás nyíró-apritógép ($P = 2 \times 11$ kW): a kutatás során az LFP-akkumulátor cella felnyitására használtam a 8. ábrán látható berendezést. A forgótárcsás nyíró-mű elő-, durva- és középaprítására is alkalmas, de legfőképpen előaprításhoz széles körben használt berendezés. A nyírással jó hatásfokon apríthatóak a lágy, képlékeny, szívós, viszkoelasztikus és szálal anyagok.

Fontos szerepet töltenek be a hulladékfeldolgozásban, a nagyméretű háztartási hulladékoktól kezdve (pl. bútor, matrac, kerékpár stb.) színesfémhulladékon, fahulladékon, autógumi abroncson át az iratokig, szinte bármilyen, nem rideg hulladékot képesek 10–25 mm nagyságú darabokká aprítani. A berendezésekben az aprítást az egymással szemben forgó tárcsák végzik, 0,2–0,6 m/s alatti kerületi sebességgel, nyíró, vágó, tépő igénybevételt létrehozva. A rotorok egymás mellett felváltva elhelyezett vágó- és távtartó tárcsákból állnak, amelyek egymásba nyúlnak, ez jól megfigyelhető a 9. és a 10. ábrán. Forgótárcsás nyíró-apritógép alkalmazásakor a kis kerületi sebesség miatt, általában kisebb energiabevitel mellett, csekély zajjal valósítható meg a nyírás-vágás, amikor tetszés szerinti darabokra vágja a feladott anyagot (Csőke, 2010; Faitli és társai, 2017).

Kalapácsos törő: A kalapácsos törők és malmok az anyagok szemcséinek kinetikus energiáját alakítják át aprítási munkára. A feladott anyag a forgó kalapácsoknak ütközik, amelyek nagy kerületi sebességgel (20–60 m/s) mozognak, majd a berendezés falához verődik, és ily módon aprítódik. A kalapácsos törők elvannak látva cserélhető alsó kihordó szitaráccsal, így a kalapácsok kívánt szemcseméretre aprítják az anyagot, vagyis addig, amíg a töret a résnyíláson keresztül el nem hagyja a törőteret. Durva, közép és finom aprítás-



11. ábra. Kalapácsos törő részei (Faitli, és társai, 2017)



12. ábra. Vágómalom az Intézetben (web: Nyersanyag-előkészítés és Környezettechnológia Intézet honlapja)

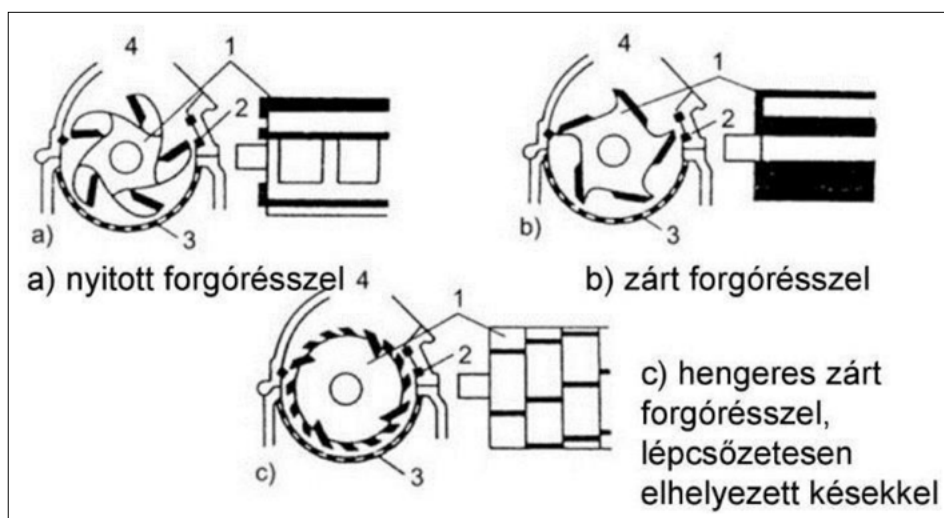
ra alkalmas konstrukciók is léteznek, amik szálas-rostos anyagok (pl. biomassza) vagy agyagos kőzetek aprítására is alkalmasak. Éppen ez teszi alkalmassá kompozit összetételű, elektronikai hulladék aprítására is. A komplex terhelés, különösen a hulladékfémeket felépítő komponensek nagyfokú feltárásának elérését eredményezi. Merev ütőtestekkel (ütőmalom) vagy lengő kalapácsokkal is készülhetnek a gépek, utóbbi kivitelben az ütőtestek csuklók segítségével vannak a rotorhoz rögzítve, így a megfelelő kerületi sebesség elérése után állnak üzemi pozícióba. E típusok esetében általában csak egy szitarácson keresztül hagyja el a töret az aprítóteret (Csöke, 2010; Faitli és társai, 2017).

Retsch-gyártmányú vágómalom: Az akkumulátor-minta esetén az aprítás harmadik és negyedik lépcsőben ezen berendezéssel történt.

A vágómalmok általában két különböző feladatot látnak el: egyrészt szabályos darabokra aprítják a folyamatosan bevezetett szilicium-hulladékokat és/vagy termékhalmozást állítanak elő a különböző egyedi darabokból (kábel, fémforgács). Ezek a berendezések fémhulladék-előkészítés, elsősorban a réz-, az alumínium-, a kábelhulladék és fémforgácsok aprításánál, valamint az ólomakkumulátor-hulladék és a gumi, valamint műanyag aprításánál használatosak, továbbá organikus hulladékok (például csont, ételmaradék pelleték stb.) is apríthatók ezen berendezéssel. A vágómalom főbb részei (amelyek a 13. ábrán láthatóak): a forgó rotor [1], a rotoron elhelyezkedő vágókések (rotorkések) és a házban található álló vágókés [2], az aprítási folyamat ezek között megy végbe. A berendezéshez tartozik még egy adagolótölcsér [4] is, amelyen



14. ábra. Pneumatikus készülék az Intézetben (web: Nyersanyag-előkészítés és Környezettechnológia Intézet honlapja)



13. ábra. Vágómalom részei és kialakításai (Barótfi, 2000)

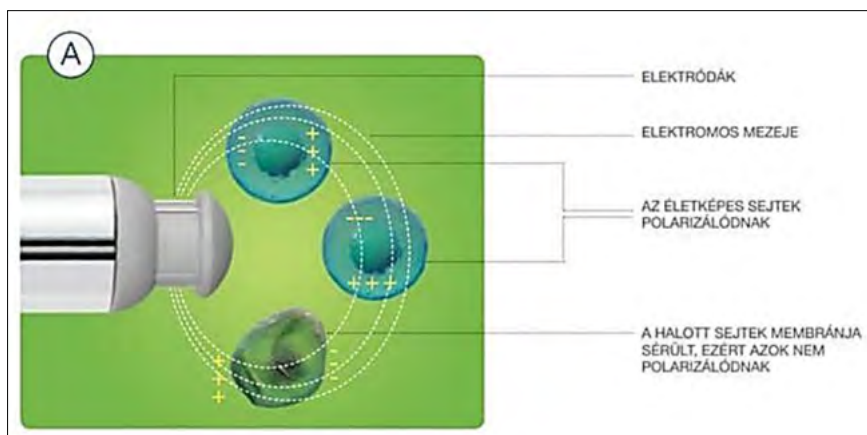
keresztül az anyagfeladás történik az aprítótérbe. A vágómalmok szerkezeti kialakítását elsősorban az aprítandó termék minősége és az adagolótölcsér szerkezeti kialakítása határozza meg. Terjedelmes anyagokhoz excentrikus adagolótölcsért, a kábelhulladékokhoz szűkebb, centrikus adagolótölcsért alkalmaznak. Fóliák, habanyagok stb. feldolgozására nyitott rotorok, kábelhulladékoknál félig nyitott, polimer nyersanyagoknál zárt rotorok alkalmasak. Tengelyük lehet vízszintes vagy függőleges is. Az aprítás szabályozásához olyan paramétereket kell figyelembe vennünk, mint a rotor fordulatszáma, amelynek kiválasztásakor fontos szempont a rotorkések kerületi sebessége (5–30 m/s) és a kések száma (2–6 db), továbbá az elérni kívánt szemcseméret, amelyhez az aprítótérrel alulról határoló szita [3] nyílás-méretét kell meghatároznunk, és ismerünk kell a feladott anyag jellemzőit. A rotor fordulatszáma, valamint a kések száma és alakja az Intézetben található alkalmazott berendezés esetén nem volt változtatható. Az aprítási folyamat energiaigényét a berendezés teljesítménye, a rotorsebesség és a hulladék nedvességtartalma határozza meg (Csőke, 2010; Fajtli és társai, 2017; Tihanyi 2016).

Áramkészülék: TDK-kutatásom során a pneumatikus készülékkel az akkumulátor minta szeparátorfólia és fémes szemcséinek szétválasztását végeztem. A légáramban történő szétválasztás elvi alapja, hogy minden szemcse rendelkezik süllyedési végsebességgel,

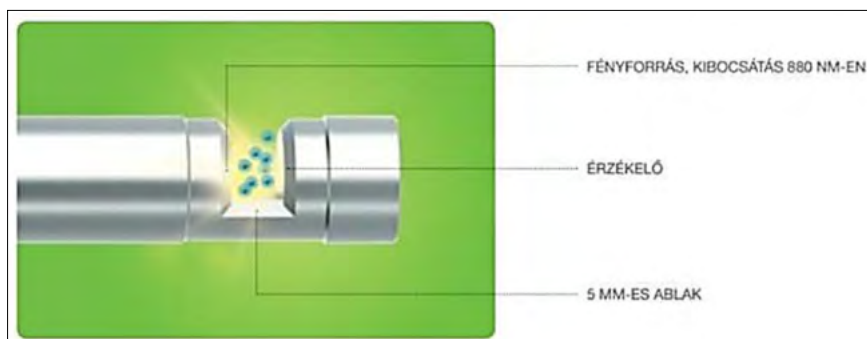
amely függ a szemcse méretétől, alakjától és sűrűségétől. Az anyagok alkotói eltérő süllyedési végsebességgel rendelkeznek, illetve közegben való mozgásuk is eltérő. Az elválasztás alapja, hogy a nagyobb sűrűségű (és nagyobb méretű) szemek nagyobb sebességgel mozognak a közegben, mint a kisebb sűrűségűek (és kisebb méretűek). Az áramkészülékek lehetnek ellenáramúak vagy keresztáramúak attól függően, hogy a szemcsék és a légáram milyen szöget zárnak be egymással. A süllyedési végsebesség alapján az áramkészülékekben a szétválasztás például oly módon valósul meg, hogy ha a szemcséket a mozgásukkal szemben áramló közegbe helyezzük, akkor azokat a szemcséket, amelyeknek nyugvó közegben kisebb volt a süllyedési sebessége, mint a közegáram sebessége, azokat a közeg magával ragadja; a közegáramnál nagyobb süllyedési sebességű szemek pedig a közeggel szemben haladva kiülednek (Csőke, 2010; Fajtli és társai, 2017).

Hamilton sejtsűrűségfigyelő monitoringrendszer:

A műszert eredetileg emlős- és rovarsejtek, valamint élesztőkultúrák megfigyelésére fejlesztették ki, így esetemben az autotróf bacilusokra való alkalmazása új kihívásokkal és lehetőségekkel jár. A rendszer négy mérőszennorral rendelkezik, amelyekből egy pH-t mér, egy oldott oxigént, a két fő szenzor pedig az úgynevezett Incyte és a Dencyte szenzorok (AG Hamilton, 2017). A monitoron látható eredmények,



15. ábra. Incyte-szenzor működési elve (AG Hamilton, 2017)



16. ábra. Dencyte-szenzor működési elve (AG Hamilton, 2017)



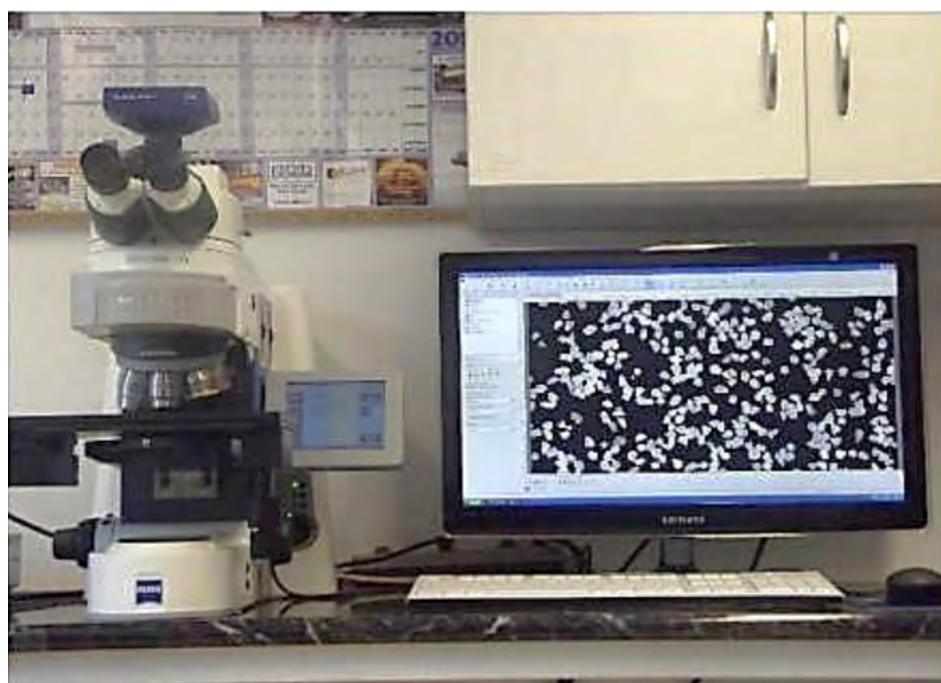
17. ábra. Hamilton sejtsűrűségmonitoring-rendszer a Bioeljárás-technikai Laboratóriumban (saját felvétel)



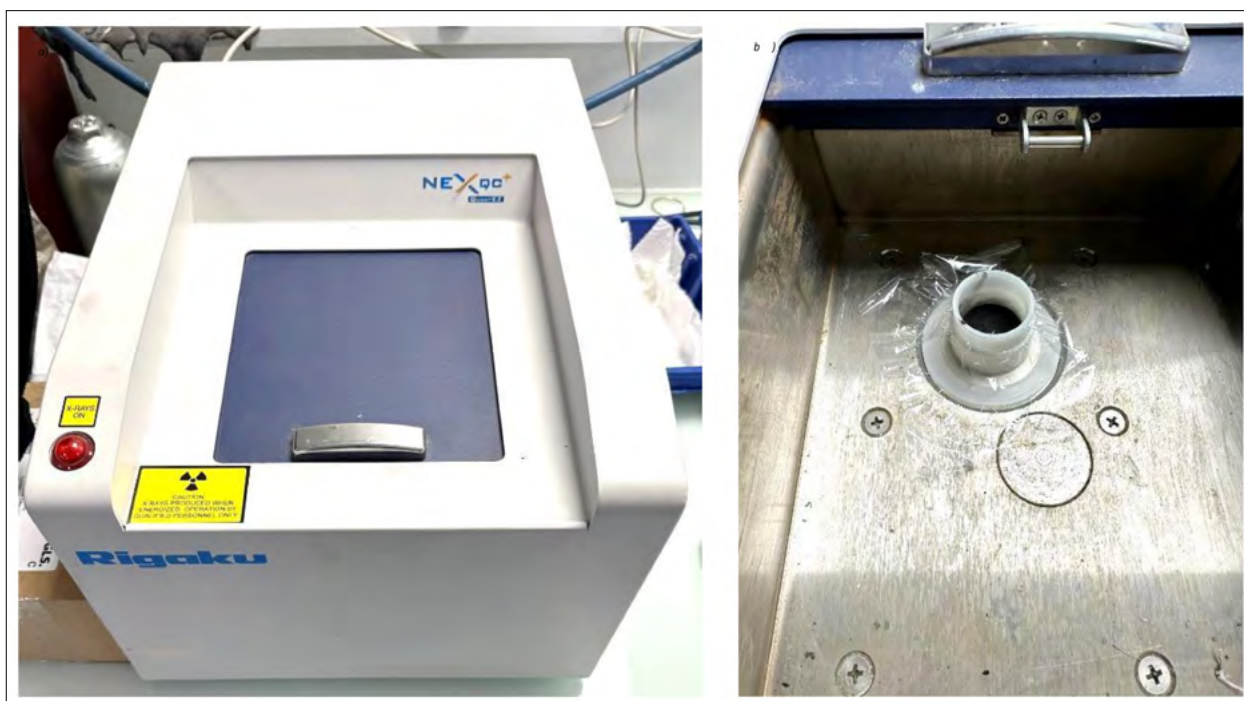
18. ábra. Filtersterilizálás a Laboratóriumban (saját felvétel)

a megrajzolt diagram, minden paramétert illetően 12 percenkénti mérésekből születtek. Az adatrögzítést a táplevesben mért értékek stabilizálódását követően indítjuk el, ezután történhet meg az inokulálás, amely során beadhatók a kísérletazonosító adatok. Az Incyte-érzékelő (15. ábra) a permitivitás valós idejű, online módon történő mérését teszi lehetővé, amely megfelel az életképes sejtek sűrűségének. A mérést a közeg változásai, illetve a mikrohordozók, halott sej-

tek vagy sejtörmelék jelenléte nem befolyásolja. Az Incyte-érzékelő kifejezetten az emlősök és rovarok sejt kultúrájának megfigyelésére szolgál. Használható továbbá élesztőkultúrák és nagy sűrűségű bakteriális fermentációk ellenőrzésére is. A permitivitás Incyte használatával történő online megfigyelése lehetővé teszi a folyamatok eltéréseinek mintavétel nélkül történő korai észlelését, és támogatja a folyamatok időben történő kiigazítását. Az élő sejtek felfoghatóak kis-



19. ábra. Optikai mikroszkóp a Nano-eljárás-technikai Laboratóriumban (web: Nyersanyag-előkészítés és Környezettechnológia Intézet honlapja)



20. ábra. Az XRF vizsgálatokhoz használt spektrométer (a) és a minta elhelyezkedése a detektorban (b) (saját felvétel)

méretű kondenzátoroknak, ezeknek a töltését méri az Incyte-érzékelő, az érték pedig permitivitásként, pF/cm egységben jelenik meg. Az életképes sejtek permitivitásának mérése a sejt típusra jellemző frekvencián történik: ez általában 1 MHz emlőssejtek és -baktériumok esetében, illetve 2 MHz élesztő esetében. Ez folyamatosan és automatikusan frissül a háttérben történő nagyfrekvenciás („high”) módon mért permitivitásértékével (AG Hamilton, 2017).

Az összes sejt sűrűségének figyelése – Dencyte használatával – különösen átváltást követően megfelelő. A zavarosság mérése az infravörös tartományban történik, ezért az nem érzékeny a közeg színének változásaira. A Dencyte-érzékelő (16. ábra) lehetővé teszi a sejtoldatok zavarosságának online módon történő mérését az optikai sűrűség alapján. Ez a mérés megfelel a folyamatban lévő összes sejt sűrűségének. Az érzékelő egy 5 mm-es ablakon keresztül fényt bocsát ki egy fényérzékelőre, az oldatban lévő érzékelők elnyelik és megszórják a fényt, így az érzékelő kevesebb fényt észlel. A mérés NIR- (infravörös közeli) hullámhosszon történik, ezért nem érzékeny a közeg színének változására. A rendszer valamennyi, 880 nm-en fényt szóró részecskét észleli, beleértve az élő és holt sejteket is (AG Hamilton, 2017).

Mi a gyári, baktériumokra ajánlott 1 MHz-en végeztük a mérést. Azonban egy kutatás (Kiss és Németh, 2016) már korábban vizsgálta az Incyte- szenzor alkalmazását és kimutatták, hogy különböző mikroorganizmusokra máshogy reagál a műszer, így a pontosabb mérési eredményekhez célszerű a szaporodás-vizsgálat során kimérni azt a specifikus frekvenciát,

amely optimális az adott mikroorganizmus sejtszám növekedésének jellemzésére. A cikkben azt is megállapították továbbá, hogy a műszer csak bizonyos sejtszám felett érzékeny, tehát alacsony sejtszám esetén a mérés nem ad megfelelő értékeket, azonban ez a hibafaktor, ahogy a későbbiekben látható lesz, a mi esetünkben is kezelendő volt.

ELGA Purelab Option R filtersterilizáló: A 0,2 mikrométeres, steril membránszűrővel rendelkező rendszer működése egyszerű, alapja, hogy vákuum segítségével a felső, 500 ml-es tartályból a szűrőn keresztül a szívás hatására átfolyik a folyadék a szintén 500 ml űrtartalmú alsó tartályba. A víz ezen szűrő segítségével mikron méretű élőlényektől és szennyeződésektől mentessé válik, így sterilnek tekinthető. Az eszközt az ioncserélt víz sterilizálására használtam, amely a baktériumok kultiválásához szükséges tápoldatba került.

Zeiss AXIO Imager.M2m optikai mikroszkóp: A vizsgálati eszköz rendelkezik 5, 10, 20, 50 és 100-szoros nagyítású objektívekkel, valamint hozzá tartozik egy PC, amely digitális képrögzítésre képes szemcseméret elemző szoftverrel rendelkezik. Kutatásom során ezen eszközzel történt a különböző aprítási lépcsőkből származó „black mass” termékek vizsgálata.

Rigaku NEC QX energiadiszperzív röntgenfluoreszcens spektrométer (továbbiakban XRF): Mind a „black mass”, mind a határkoncentráció vizsgálatot

követően nyert oldatok multieleemes analízisére ez a berendezés került alkalmazásra.

2.2. LFP-akkumulátor eljárás technikai alapvizsgálata

A szilárd hulladékok, így az elektronikai hulladékok esetében a majdani feldolgozási technológia meg-
alapozása érdekében vizsgálatokat végzünk. Ezek az
eljárás technikai alapvizsgálatok a következőkre írá-
nyulnak:

- ❑ kémiai összetétel;
- ❑ fázisösszetétel;
- ❑ szemcseméret-eloszlás és komponensek meg-
oszlása;
- ❑ összenövési viszonyok;
- ❑ fizikai szétválaszthatóság (sűrűség, mágneses
tulajdonságok, vezetőképesség és egyéb fizikai
tulajdonságok alapján);
- ❑ komponensek oldhatósági vizsgálata.

Irodalom

- Acevedo F., Gentina J. C. (2013): Application of bioleaching to copper mining in Chile. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16/3. <https://doi.org/10.2225/vol16-issue3-fulltext-12>
- Bajestani M., Mousavi S., Shojaosadat, S. (2014): Bioleaching of heavy metals from spent household batteries using *Acidithiobacillus ferrooxidans*: Statistical evaluation and optimization. *Separation and Purification Technology*, 132, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.05.023>
- Buchert M., Manhart A., Bleher D., Pingel D. (2012): Recycling critical raw materials from waste electronic equipments. In: LANUV e-waste ressourcen. <https://www.oeko.de/oekodoc/1375/2012-010-en.pdf>
- Cerruti C., Curutchet G., Donati E. (1998): Bio-dissolution of spent nickel-cadmium batteries using *Thiobacillus ferrooxidans*. *Journal of Biotechnology* 62/3. 209–219. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(98\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(98)00065-0)
- Chung-Yen J., Pang-Chieh J., JiuJun Zhang S. (2021): A review of recycling spent lithium-ion battery cathode materials using hydrometallurgical treatments. *Journal of Energy Storage*, Vol. 35. 102217. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102217>
- Csőke B., Fajtli J., Nagy S., Magyar T., , Mádainé Üveges V. (2013): Kritikus elemek a másodnyersanyag-forrásokban, elektronikai hulladékokban Critical elements in secondary raw material resources, in electronic wastes. *Bányászati és Kohászati Lapok - Bányászat*, 146/5-6, 48–57. https://epa.oszk.hu/04600/04602/00064/pdf/EPA04602_banyaszat_2013_05-06.pdf
- Csőke Barnabás (2010): Hulladékok ártalmatlanítása, kezelése és hasznosítása. Támop tananyag 6. fejezet, Hulladékonline, pp. 40–159.
- Dobó Z., Dinh T., Kulcsár T. (2023): A review on recycling of spent lithium-ion batteries. *Energy Reports* 9, 6362–6395. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.264>
- Eronen J. (2017): Recovery of lithium from lithium ion battery waste. Master Thesis for the degree of Master of Science in Technology, Espoo.
- Fajtli J., Gombkötő I., Mucsi G., Nagy S., Antal G. (2017): Mechanikai eljárás technikai praktikum. Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó.
- Gahan C. S., Srichandan H., Kim D.-J., Akcil A. (2012): Biohydrometallurgy and biomineral processing technology: A review on its past, present and future. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(10), 85–99. <https://www.isca.me/rjrs/archive/v1/i10/15.ISCA-RJRS-2012-329.pdf>
- Gaines L., Richa K., Spangenberg J. (2018): Key issues for Li-ion battery recycling. *MRS Energy Sustain.*, 5. Art. No. 12. <https://doi.org/10.1557/mre.2018.13>
- Gholam R., Borghe S., Mousavi S. (2011): Bacterial leaching of a spent Mo-Co-Ni refinery catalyst using *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Hydrometallurgy*, 106/1–2, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.11.011>
- Guoxing R., Songwen X., Meiqiu X., Bing P., Fenggan W., Youqi F., Xing X. (2016): Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by smelting reduction process based on MnO-SiO₂-Al₂O₃ slag system. In: *Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48769-4_22
- Hegedüs N., Furkó M., Balázs K., Balácsi Cs. (2021): Környezetbarát energiatermelés, energiahatékonyság és közlekedés szempontjából kritikus üvegek, kerámiák és fémek. *Anyagok Világa*, XVI(1), 62–80. https://real.mtak.hu/126836/1/2021_1_Hegedus.pdf
- Hu X., Li S., Peng H. (2012): A comparative study of equivalent circuit models for Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 198, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.10.013>
- Huang Y., Ha G., Liu J., Chai W., Wang W., Yang S., S S. (2016): A stepwise recovery of metals from hybrid cathodes of spent Li-ion batteries with leaching/flotation-precipitation process. *Journal of Power Sources*, 325, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.06.072>
- Jäckel H.-G., Schubert G., Kirchner J. (1997): Die Zerkleinerung der Abfälle mittels Rotorscheren, Rotorreißern und Schraubenreißern. *Freiberger Forschungshefte*, 82–98. <https://katalog.ub.tu-freiberg.de/Record/0-1567982700/Permalink?sid=53565799>
- Mádainé Üveges Valéria, Bokányi Ljudmilla, (2020): Fémek kinyerése elektronikai hulladékból bioszolubilizációval. *Bányászati és Kohászati Lapok, OMBKE*, 153, 2020/4, 35–41. https://epa.oszk.hu/04500/04515/00006/pdf/EPA04515_kohaszat_2020_04_35-41.pdf

Tisztelt Olvasó!

A BKL Szerkesztőbizottsága legutóbbi ülésén (2025. március 27-én) javasolta, hogy kerüljenek bele a kiadványunkba olyan cikkek, publikációk, amelyek az OMBKE szakmáihoz tartozó, a tudományos világ iránt érdeklődőknek lehetőséget adnak bizonyos témakörökben vitára, gondolataik kifejtésére. Működjék fórumszerűen a lap! Időnként pedig adjon helyet tudománytörténeti munkáknak is. Az alábbi cikk – köszönet érte felkutatójának, Livo László bányamérnök, geotermikus szakmérnök, címzetes egyetemi docensnek – meglátásunk szerint mindkét kíváncsiságnak megfelel. Vitára ösztönöz, és bemutatja az ásványi nyersanyag-kutatáson keresztül egy kor tudományos helyzetét, amely sok kérdésben hasonlít a mairra. Így kerül az 1979-ben készült publikáció a tisztelt Olvasó elé. – A Szerk.

Az ásványi nyersanyagkutatás mint tudomány és mint értéktermelő gazdasági tevékenység*

Mineral exploration as a science and as a value-generating economic activity

DR. BENKŐ FERENC

Az ásványi nyersanyagkutatás a földtannak önálló tárggyal, jól elhatárolható munkaterülettel, jól definiálható feladatokkal és saját módszerekkel rendelkező tudományága. Tudomány voltát mind a fejlett tőkés országok, mind a szocialista államok elismerik. Hazánkban ez történeti okok, valamint vitatható szakmai gyakorlat miatt kevésbé érvényesül. Az ásványi nyersanyagkutatás a felfedezett és megkutatott ásványi nyersanyagkészlet formájában közvetlenül új értéket állít elő. Közvetve új értéket állít elő a nyersanyagok komplex hasznosítását lehetővé tevő, valamint a megkutatott földtani objektumok rendeltetésszerű használatának biztonságát növelő kutatás. Ennek az utóbbinak az értéke a kockázat csökkenésének a földtani kutatás eredményeként létrejött nagyságával fejezhető ki. A közeli jövő aktuális feladataiként a prognózisok tárgyi megalapozottságának növelése, a nagyüzemi bányászat földtani kutatással való megalapozása, – ezen belül a termelési kutatás szerepének növelése –, valamint a „forradalmian új” nyersanyag-termelési módszerek földtani kutatási követelményrendszerének kialakítása jelölhető ki.

1. Az ásványi nyersanyagkutatás, mint tudomány

1.1. Az ásványi nyersanyagkutatás tudomány voltának vizsgálatakor mindenekelőtt azt szükséges tisztázni, hogy valójában mi a tárgya és a feladata. Az ásványi nyersanyagkutatás célja, ill. fő feladatai az ásványi nyersanyag-előfordulások – ipari típusainak és az ott elhelyezkedő ásványi nyersanyagkészletek meghatározása;

- ❑ földtani települési viszonyainak, mint a termelést meghatározó földtani feltételeknek a tisztázása;
- ❑ előzőekben említett sajátosságainak megismeréséhez a legmegfelelőbb, leghatékonyabb kutatási módszerek megválasztása;
- ❑ földtani és gazdasági értékelése a kutatási adatok alapján. A földtani és gazdasági értékelés azonban nemcsak célja és tárgya a nyersanyagkutatásnak, hanem egyben a legfontosabb módszere is. Ennek lényege az állandó összehasonlítás.

*A Magyarhoni Földtani Társulat Észak-magyarországi Szakosztályának és a Magyar Geofizikusok Egyesülete Alföldi Szakosztályának a borsodi műszaki hetek keretében Az ásványi nyersanyagkutatás módszertana és hatékonysága témakörben 1979. május 23-án rendezett ankétnek – a szakosztály vezetőségének felkérésére – tartott bevezető előadása.

- A kutatás során ti. állandóan összehasonlítjuk
- az új kutatási eredményeket a megelőzőkével,
 - a telep és az előfordulás földtani sajátosságait az ipari követelményekkel, s ezekből vonjuk le a további kutatásokra vonatkozó földtani és gazdasági következtetéseinket.

1.2. Az ásványi nyersanyagkutatás említett fő oldalai világosan jelzik, hogy a kutatást tudatosan és megfelelő színvonalon végző kutatónak egész sor – és nemcsak földtani – tudomány ismeretével kell rendelkeznie. Az előfordulások ipari típusainak meghatározásához egyaránt tisztában kell lennie a teleptannal és a nyersanyagok gazdasági jelentőségét meghatározó tényezőkkel. Ehhez a földtudományok köréből ismernie kell a magmatizmust, szedimentológiát, litológiát, sőt a geomorfológiát, a települési viszonyok meghatározásához a tektonikát stb. A legmegfelelőbb kutatási módszerek meghatározásához a kutatási technikával, a kutatási metodikával, sőt a közgazdaságtudomány alapjaival, a készletszámításhoz pedig a matematikai statisztika elemeivel is tisztában kell lennie. Amikor a földtani és gazdasági értékelést végzi, rendelkeznie kell az ásványi nyersanyagok alapvető bányászati, dúsítási és feldolgozási, valamint közgazdasági kérdéseinek általános ismeretével. Természetesen nem teljes ismeretével, de az alapjaival, és főleg azokkal a vonatkozásaival, amelyeket közvetlenül és alapvetően a nyersanyagoknak, ill. nyersanyag-előfordulásoknak a kutatás során és révén megismert természetes tulajdonságai befolyásolnak.

1.3. Ha a kutatónak ennyi és ilyen sokféle szakmai ismeretre van szüksége, jogosan felvethető az a kérdés: egyáltalán kell-e azt bizonyítani, tudomány-e az ásványi nyersanyagkutatás. Ez ti. magától értetődő, és aligha vitatható. Hogy mégis újra és újra bizonygatni kell, azt jelenti, hogy hazánkban még nincs minden rendben körülötte. Országunkon kívül ti. ez valóban nem probléma. A fejlett tőkés országokban nem tudomány voltát, hanem legfeljebb önállóságát vitatják. Az ottani gyakorlat ti. – alkalmazott teleptanként – csupán a teleptan részének hajlandó tekinteni. Ilyen minőségben tehát ott tudomány, de nem önálló. A Szovjetunióban s a szovjet kutatási gyakorlatot alkalmazó népi demokratikus országokban az ásványi nyersanyagkutatást egyértelműen a földtani tudományok önálló, igen fontos részének tekintik, melynek önálló kutatási területe és saját módszerei vannak. Nem véletlen egyébként, hogy a földtannak ez a tudományága az egész világon itt a legfejlettebb: a Szovjetunióban és a szocialista országokban teremtdtek meg azok a feltételek és népgazdasági igények, melyek e tudományág kialakulását és magas színvonalú fejlődését nemcsak lehetővé, hanem objektíve szük-

ségessé is tették. Az egységes, tervszerű és céltudatos irányítás, a kutatási tapasztalatok általánosításának és ezek minél nagyobb mértékű elterjedésének igénye – az ásványi nyersanyag-előfordulások rendkívüli változatosságával párosulva – egyaránt abba az irányba hatnak, hogy a kutatások tudományos megalapozottsága, s vele az ásványi nyersanyagkutatás elméletének és gyakorlatának tudománya minél nagyobb mértékben fejlődjék. Az általánosításnak ezt a fokát és a fejlődésnek ezt a színvonalát a tőkés országokban a különböző vállalatok közti konkurenciaharc, a vállalati tapasztalatok ipari titokként kezelésének gátló hatása objektíve nem is teszi lehetővé.

1.4. Annak, hogy hazánkban mégis ilyen felemás helyzet alakult ki az ásványi nyersanyagkutatás tudomány voltának elismerése körül, nagyon komoly történeti és gyakorlati okai vannak.

1.4.1. A történeti okok elemzésekor mindenekelőtt tényként állapíthatjuk meg, hogy a földtan tudománya alapvetően a német nyelvterületről került hazánkba. Módszereit, rendeltetésének megítélését és eredményeinek értékelését – főleg az idősebb generáció – a német (osztrák-német) tudományból ismerte meg. Érthető, hogy a földtan, ill. különböző ágai tudomány voltának megítélésében sokkal inkább a német elviség érvényesült, mintsem az a jó értelemben vett angolszász pragmatizmus (gyakorlatiasság), amely sok vonatkozásban kezdettől fogva mind a mai napig felismerhető az angol és amerikai tudományban. Ebből az „elviség”-ből logikusan következik az a tipikus doktriner szemlélet, amely szerint csak a tiszta elméleti munka tekinthető tudománynak, méghozzá annál magasabb rendűnek, minél távolabb van a gyakorlattól. Ha valaminek gyakorlati jelentősége van, az már nem tudomány, legfeljebb valamiféle mesterség, amit a tudomány – a „tiszta tudomány” – szempontjából legalábbis gyanakvással kell fogadni. Jelzi ezt az a sajnós, a gyakorlatban nagyon is érvényesülő szemlélet, mely egy kagyló, csiga vagy tüskönc bütykeinek a megszámlálását magasrendű tudományos tevékenységnek minősíti, egy hasznosítható nyersanyagtest változékonysági törvényszerűségeinek a vizsgálatát viszont ipari rutinmunkának, magyarán favágásnak tekinti. Kétségtelen, hogy Vadász professzor is a tiszta tudomány hirdetője volt. Csakhogy ő a gyakorlati földtan olyan széles skálájú iskoláját bejárta, ami egyikünknek sem jutott osztályrészül. Két és fél évtizedes ipari munkájának magas tudományos színvonalára is inkább cáfolta, mintsem hitelesítette azt, amit mondott. Korántsem fogadhatjuk azonban el ugyanilyen meggyőző erejűnek azok hasonló, sőt azt szinte abszolutizáló véleményét, akik a gyakorlattal soha semmiféle kapcsolatban nem voltak – különösen,

amikor látjuk a nyersanyagkutatás általános fejlődését és hazai jelentőségének is rohamos növekedését. Hogy ez a felfogás még ma is mennyire érvényesül a gyakorlatban, elegendő csak két példát említeni. Az egyik, hogy a budapesti egyetem geológusképzésének legutóbbi, 1978. augusztusi–szeptemberi változatában az őslénytani és biológiai tárgyak összoraszáma nagyobb volt, mint az általános és szerkezeti földtan, földtani térképezés, történeti és regionális földtan együttvéve, és csaknem tízszerese volt az ásványi nyersanyagkutatás, készletszámítás és bányaföldtan óraszámának. A miskolci képzésben épp az anket résztvevőinek többsége számára is közismertek azok az anomáliák, amelyek nem is olyan régen az egyetemen voltak tapasztalhatók; negatív hatásukat csak ezután lehet majd igazán felmérni. Egy másik példa: Hámor G.-nak a közelmúltban készült összeállítása szerint 1952, azaz a tudományos minősítés bevezetése óta 118-an kaptak földtudományi minősítést a földtan területéről. Ebből

- 43 ásványtan, közettan, geokémia,
- 55 őslénytani, rétegtan, földtan,
- 2 tektonika tárgykörű.

Ez összesen kerek 100. Marad a

- szénhidrogénföldtanra 7,
- alkalmazott és gazdaságföldtanra 5,
- mérnökgeológiára és hidrogeológiára 6 fő.

Azt hiszem, ehhez nem szükséges kommentár. Mivel pedig ennél az iparban, gyakorlati területen dolgozók közül is többnek van minősítése, ez azt jelenti, hogy jó részük célravezetőbbnek látta, ha nem gyakorlati, hanem valamilyen rétegtani, őslénytani, közettani vagy egyéb általános témát választ.

(Az összeállításban nem szerepel az a mintegy tucatnyi szakember, akiknek munkáját a műszaki tudományok illetékességi körébe utalták, és ott szereztek minősítést – földtani tárgykörből.)

1.4.2. Önkritikusan el kell vizsgálni ismernünk azt is, hogy a földtan szakmai gyakorlata is sok tekintetben ellentétesen hat az ásványi nyersanyagkutatás tudomány voltának elismerésével. Tudományos és operatív irányító szerveink mind a mai napig nem tulajdonítottak különösebb jelentőséget annak, hogy a földtant „zárt szakmává” tegyék, amint messzemenően törekednek erre pl. az ügyvédek, mérnökök, s szinte kizárólagossággal az orvosok, pontos követelmények alapján elválasztva a szakma gyakorlásától a zugügyvédet, a kontárt vagy a kuruzslót. Amilyen helyes ez a nyíltság az elméleti tudományos munkában – végső soron ez a tudomány művelésének demokratizmusát fejezi ki –, olyan nehézségeket és veszélyeket rejt magában a gyakorlati földtani feladatok

végzésében. A „tisztá” tudományban ti. az állandó nyílt és elvi viták révén van mód a vélemények összevetésére, a tételek valóságának szinte társadalmi jellegű ellenőrzésére (más kérdés, hogy ez a valóságban milyen mértékben valósul meg). A gyakorlati munka tudományos megalapozásában azonban – melynek az előzőhöz képest rendszerint jóval nagyobb anyagi és műszaki vonzata van – könnyen előfordulhat, hogy a cél-eszköz viszony visszajára fordul, s azok vindikálják maguknak a döntés jogát, akik az eszközökkel rendelkeznek, de sem a cél meg határozásához, sem elbírálásához nincs megfelelő szakmai felkészültségük, – s a szakma különböző okok miatt hajlandó is ezt az illetékességet elfogadni, sőt ha az adminisztratív hatalommal párosul, szinte orákulumként kezelni.

Az 1.2. pontban vázoltuk, milyen sokféle tudomány, ill. tudományág ismeretanyagával kell rendelkeznie az ásványi nyersanyagkutatás művelőjének, hogy a prognózis előkészítésétől kezdve a nyersanyag termelésének befejezéséig ura legyen a folyamat földtani irányításának. Enélkül lehet dönteni, véleményt mondani, sőt azt a hályogkovácsok magabiztosságával – de nem azok eredményességével – másokra oktrojálni. A helyzetet az súlyosbítja, hogy ebben az esetben hiányzik a tárgyszerű tudományos megalapozottság egyébként magától értetődő igénye és a társadalmi kontroll, a nyílt és tárgyszerű tudományos vita: a kinyilatkoztatást csak követni lehet, vitatni nem. Így azonban újdonságként lehet felfedezni negyedszázados gyakorlatot (csak másként kell nevezni), s bölcsességgként lehet hirdetni szakmai és logikai szempontból tarthatatlan tételeket is.

2. Az ásványi nyersanyagkutatás mint értéktermelő gazdasági tevékenység

Az iparban dolgozó, a gyakorlati munkát végzők számára aligha szükséges külön bizonygatni, hogy az ásványi nyersanyagkutatás legfontosabb feladata az ország ásványi nyersanyagkészletének növelése, ásványi nyersanyag-potenciáljának minél magasabb szintre emelése.

2.1. Ennek megfelelően a földtani kutatás kimutatott és megkutatott nyersanyagkészlet formájában közvetlenül új értéket állít elő. Ez a készlet a kutatás „készterméke”; minden más ennek csak előkészítője, félkészterméke, részterméke lehet. Az ásványi nyersanyagkészlet az a termék, amellyel az ásványi nyersanyagkutatás hozzájárul a népgazdaság vagyonának növeléséhez.

Nem mindegy azonban, hogyan állapítjuk meg ennek a vagyonnak az értékét. Kérdés, hogy ez ma reális alapon történik-e. Az ti. mindenesetre elgondolkoztató, hogy az ország 1978. I. 1-i összes megkutatott ásványi nyersanyagkészletének (az építőipari és ásvány-

bányászati nyers anyagok kivételével) értéke 584 Mrd Ft, mind össze 110 Mrd Ft-tal haladja meg az éves nemzeti jövedelmet (474 Mrd Ft). Mert ha az ország – nem kitermelt, hanem ismert – nyersanyagkészletének értékét megközelítőleg egy évi nemzeti jövedelemmel elő lehet állítani (sőt a néhány évvel megelőző számítások szerint negyed évivel) valóban kérdéses, érdemes-e erőlködni az ásványi nyersanyagkutatás dolgában. Szerencsére ez csak szóbeli kérdésként vetődhet fel, de azért jelzi a gyakorlatban alkalmazott megítélés fonákságát, s egyben alighanem a tarthatatlanságát is. Az ásványi nyersanyagkutatás által ásványi nyersanyagkészlet formájában a népgazdaság számára előállított új érték természetesen nem olyan értelemben új, hogy magát az ásványi nyersanyagot, ill. nyersanyagkészletet a földtani kutatás teremti meg. Ez a készlet megvolt azelőtt is, s megvan az is, amelyet csak ezután fogunk felfedezni, mert az, hogy hol és mennyi ásványi nyersanyag keletkezett, az évmilliókkal ezelőtt eldőlt. De az *ásványi nyersanyagkutatás az a termelőtevékenység, amely ezt az addig magában való dolgot kézzelfoghatóvá, nekünk valóvá változtatja*, ismeretlenből ismertté teszi, mégpedig a tudományos és műszaki haladásnak, a kutatás fejlődésének megfelelően mind nagyobb és nagyobb mértékben.

2.2. Az ásványi nyersanyagkutatásnak azonban lehetősége van arra is, hogy *indirekt úton növelje az ásványi nyersanyagkészleteket*. Egyrészt azzal, hogy kutatásokat végez és ajánlásokat ad az ásványi nyersanyag és a benne lévő összes alkotók teljes felhasználására, sőt a melléktermékek és meddőnek tekintett anyagok valóban komplex hasznosítására, másrészt azzal, hogy a földtani és a technológiai kutatások együttesével új, addig meddőnek tekintett anyagokat minősít ásványi nyersanyagokká, lehetőséget adva a távlati iparfejlesztési célkitűzések irányainak kialakítására és a távlati népgazdaságfejlesztési koncepciók kidolgozására.

A komplex hasznosítás lehetőségeinek tisztázása magától értetődően komplex vizsgálatot igényel. Ezért a komplex vizsgálat sohasem öncél, mint ahogyan ezt a tiszta tudomány képviselői oly gyakran hajlandók értelmezni, hanem nagyon is céltudatos, gyakorlati célok determinálta igény: a komplex hasznosítás lehetőségét tisztázó megismerést jelenti.

A készletnövelés további eszköze a minél teljesebb kitermelés és kihozatal elérése. Erre a kérdésre – különleges jelentősége miatt – az aktuális feladatok közt még visszatérünk.

2.3. *Közvetett* formában állít elő *anyag* értéket a földtani kutatás akkor, amikor a természeti környezeti viszonyok, ill. természeti környezeti potenciál földtani elemeinek feltárása és megfelelő megbízhatóságú

megismerése révén a már megengedhető, vagy a még elviselhető mértékűre csökkenti a legkülönbözőbb gazdasági tevékenységekkel vagy létesítmények megvalósításával járó kockázatot. Az indirekt értéktermelés teljesen tisztán jelenik meg a többi gyakorlati célú, a földkéreg nem ásványi nyersanyagtermelés céljára való igénybevételéhez szükséges feltételek tisztázására irányuló földtani kutatás során.

Az ásványi nyersanyagkutatásnak is megvan ez a közvetett értéktermelő funkciója, bár ezt az ásványi nyersanyagkutatás során nem szokás tudatosan elkülöníteni az ásványi nyersanyag- készlet képviselte értéktől. Ez a földtani kutatásnak az a sajátossága, hogy a szükséges földtani ismeretek megszerzése révén csökkenti a kutatási eredményeket hasznosító ágak, ill. ágazatok gazdasági tevékenységének kockázatát, resp. növeli az ipari létesítmények megvalósításának (megvalósulásának), ill. rendeltetésszerű üzemeltetésének biztonsági fokát.

A kutatásnak ez a sajátossága minden kutatási fázisban érvényesül. A felderítő és előzetes kutatás során azonban egyértelműen mérhető közvetlen értéktermelés jelentkezik az új ásványi nyersanyagkészlet formájában. Elvileg is világosan elkülönülten jelenik meg az indirekt értéktermelés azokban a kutatási fázisokban, amelyek gyakorlatilag már nem, ill. nem lényegesen módosítják az ásványi nyersanyagkészlet mennyiségét, azaz a részletes és a termelési kutatás során. Ezek a fázisok a földtani kutatás közvetett értéktermelési funkcióját a létesítést (bányatelepítést) és a termelést befolyásoló természeti (földtani) tényezők tisztázása, az előfordulás földtani, bányaföldtani-bányaműszaki viszonyainak meghatározása révén teljesítik.

Világosan, tisztán elkülöníthetően jelentkezik az indirekt értéktermelés azokban a gyakorlati feladatokban, amelyeket a földtani kutatás

- ❑ a lakásépítés, ipari és kommunális építkezések,
- ❑ az út-, vasút-, híd-, víz-, távvezeték- stb. építések megfelelő előkészítése,
- ❑ a mezőgazdaság legfontosabb természeti erőforrásainak, valamint
- ❑ a környezetvédelem földtani feltételeinek és hatásának tisztázása érdekében végez. Ezeket a feladatokat a földtan elősorban a megfelelő mérnökgeológiai (építésföldtani), vízföldtani (hidrogeológiai), agrogeológiai stb. munkák elvégzésével teljesíti.

A mélyépítési, út-, vasút-, alapozás-, vízépítési stb. – egyébként a bányatérsegek létesítése sem más, mint mélyépítés – feladatokkal kapcsolatban végzett földtani kutatásnak, mint értéktermelő tevékenységnek a gazdasági, ill. népgazdasági jelentőségét egyelőre – meglehetősen vitatható módon – csupán a ráfordítá-

son keresztül szokás mérni, s ebben a formában kerül be a beruházási, ill. megvalósítási költségekbe is. Ez a megoldás elvileg nem a legszerencsésebb, mivel a ráfordítás végső soron bármilyen mértékben növelhető; egyáltalán nem biztos, azonban, hogy ezzel az előállított érték is arányosan növekszik, sőt bizonyos határráfördítés után az elérhető eredménytöbblet esetleg már a ráfordítást sem fogja elérni.

A földtani kutatás ilyen jellegű eredményeként előállított új érték nagyságát sokkal egyértelműbben és főleg valósabban tükrözné az, ha azt sikerülne a kockázat nagysága alapján (értsd: csökkenésének függvényeként) meghatározni. Kétségtelen, hogy egyelőre nincsenek megfelelő gazdasági értékelési módszerek arra, hogy az így indirekt úton kitermelt értéket a biztonság növekedésének formájában is kifejezzük, pl. olyan alapon, hogy milyen mértékben csökken a kutatás előrehaladásával és eredményeként a kockázattal összesség nagysága. Az erre irányuló módszerek kidolgozása még a jövő feladata. Mivel azonban ebben a földtan is elsőrendűen érdekelt, kíváncsok, hogy maga is kezdeményezzen és végezzen ilyen irányú gazdaságossági vizsgálatokat és kutatásokat, s tevékenyen közreműködjen a más szervek végezte ilyen irányú munkában.

2.4. Kétségtelen viszont, hogy nem, ill. csak meglehetősen erőszakoltan fejezhető ki anyagi érték formájában annak a földtani kutatásnak az eredménye, amely

- ❑ az ország földtani felépítésének általános tisztázására,
- ❑ általános elméleti és módszertani kérdések megoldására, általában a földtani tudomány fejlesztésére,
- ❑ a társadalom természettudományi (resp.: földtani) ismereteinek növelésére,
- ❑ a közművelődés földtani színvonalának emelésére stb. irányul, beleértve ebbe a földtani oktatás legkülönbözőbb formáit is.

Az ilyen jellegű földtani kutatásokat úgy tekinthetjük, hogy valójában a társadalom által felhasznált (felhasználható) eszmei értéket állítanak elő.

2.5. Az ásványi nyersanyag-, ill. tágabb értelemben vett földtani kutatás értéktermelő jellege kezdettől fogva megvolt; a földtan a bányászatból fejlődött ki önálló tudományágként, sőt a kezdeti időkben a földtani kutatás és a bányászati termelés egységes és elválaszthatatlan folyamat volt. A kutatásnak ez az értéktermelő jellege megmaradt mind a mai napig, s meg is lesz mindaddig, amíg ásványi nyersanyagkutatásra szükség lesz.

Ha pedig a *tudományos és technikai forradalom* egyik legfontosabb vonásaként azt szokás kiemelni, hogy a tudomány behatol a közvetlen termelés területére,

és mint Marx megjósolta, aktív termelőerővé válik – amint egyre inkább ez lesz az általánosan jellemző –, akkor nyugodtan mondhatjuk, hogy a földtani kutatási ágak közül az ásványi nyersanyagkutatásra első pillanattól kezdve érvényes ez a megállapítás. Köztudomású az is, hogy napjainkban éppen az ásványi nyersanyagok jelentik a tudományos és technikai forradalom legfontosabb feltételeit. Az már a kérdés másik oldala, hogy ez nyilvánvalóan visszahat magának az ásványi nyersanyagkutatásnak a fejlődésére is.

3. Az ásványi nyersanyagkutatás néhány időszakos kutatásmódszertani feladata

Az ásványi nyersanyagkutatás előtt álló legfontosabb kérdések rövid áttekintésekor, vagy inkább felvázolásakor a kérdésnek éppen az értéktermelési oldalával nem szükséges foglalkozni, mivel ezeket a VI. ötéves terv legfontosabb kutatási feladataiként néhány hete a társulat 1979. évi közgyűlésén erre legilletékesebbként a Központi Földtani Hivatal elnöke ismertette. (Lásd: *Földtani Közöny*, 1979. évi 3–4. szám, 319–326. o.) Inkább a megvalósítás „hogyan”-jából kívánok egy-két gondolatot felvetni, hogy a kitűzött célokat hazánkban – a nemzetközi tapasztalatok felhasználásával – hogyan lehetne a kutatási metodika és a nyersanyagkutatási módszerek fejlesztésével hatékonyabban megközelíteni. Ebben az értelemben az „egyrészt” és „másrészt” aspektusából fogalmazva mindenekelőtt abból kell kiindulnunk, hogy

- ❑ egyrészt: annak megfelelően, ahogyan nemcsak hazánkban, hanem világszerte növekednek az ásványi nyersanyagszükségletek, egyre rohamosabb mértékben növekednek a földtani (é.: ásványi nyersanyag-) kutatással szemben támasztott igények is;
- ❑ másrészt: ezt a növekvő nyersanyagszükségletet egyre nehezebb kutatási feltételek közt kell kielégítenünk: egyre kedvezőtlenebbé válnak azok a földtani feltételek, amelyek közt az új nyersanyag-előfordulásokat fel lehet fedezni. Ez olyan tény, ill. tendencia, amely elől nem lehet kitérni. Helyileg vagy bizonyos ideig lassulhat, esetleg meg is fordulhat, de hosszú távon feltétlenül érvényesül. A nyersanyagok kutatása és termelése a felszíni, majd a felszínhez közeli előfordulásokéval kezdődött, s amint ezek a lehetőségek fokozatosan csökkennek, kényszerültek egyre nagyobb mélységbe. Földtani-kutatási nyelvre lefordítva ezt úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a nyílt előfordulások után került sor a félig nyílt, vagy ami ugyanaz, a félig zárt előfordulások kutatására, napjainkban pedig elérkeztünk ahhoz az időszakhoz, amikor a kutatások súlypontja egyre inkább

a fedett (betemetett) és a rejtett, sőt rejtett és fedett előfordulások irányába tolódott el.

Ez azt jelenti, hogy

- ❑ nő a kutatási mélység,
- ❑ nő az előfordulások fedettsége és rejtettsége, azaz
- ❑ egyre nehezebb feladatot jelent az új előfordulások kimutatása és meghatározása.

Ha pedig a találati valószínűség a fedettség miatt csökken, a kutatási mélység pedig egyre nő, ez azt jelenti, hogy a kutatási hatékonyságnak tendenciájában szükségszerűen csökkennie kell.

Valójában azonban az ásványi nyersanyagkutatás hatékonysága sem hazánkban, sem világviszonylatban nem csökken, olyan arányban semmi esetre sem, ahogyan ezt a kutatási feltételek kedvezőtlenebbé válása indokolná, és remélhetően ez a közeli és a távolabbi jövőben sem lesz másként. Mindebben nagy szerepe volt és még inkább lesz az ásványi nyersanyagkutatás elméletében és gyakorlatában tapasztalható állandó fejlődésnek.

Amikor azonban a kutatási feltételekről be szélünk, tulajdonképpen hozzá kell tennünk, hogy gyakorlatilag ugyanezek vonatkoznak a bányászat jövőendő természeti feltételeire is. Azok a természeti (földtani) feltételek, melyek a kutatás számára kedvezőtlenek, kedvezőtlenek a bányászat számára is: a mélység, a fedettség, a tektonikai igénybevétel, az izapot rontó víz vagy gáz hozzá áramlás – s sorolhatnánk tovább – nemcsak a kutatás számára jelent nehézséget, hanem nehezíteni fogja a jövőendő bányászatot is. Azokat a természeti körülményeket, amelyek között a kutatás folyik, s amelyeket a kutatás során észlelünk, a bányászatnak is jó előre figyelembe kell vennie. Ez egyben azt is jelenti, hogy a földtan már a kutatás megtervezése, majd végzése során szinte automatikusan mintegy előzetes prognózist tud adni azokra a körülményekre is, amelyekre a bányászat során fel kell készülni.

Mindezek előre bocsátásával a soron lévő feladatok megoldásához szükséges teendők közül – korántsem a teljesség igényével – mindössze három kérdést kívánok kiragadni olyanokként, amelyeket elsőrendű fontosságúnak tartok, annak érdekében, hogy a kutatások hatékonysága ne csökkenjen, hanem növekedjék, de legalábbis szinten maradjon. Ezek – ha nem is feltétlenül fontossági, de mindenesetre időrendi és logikai sorrendben – a következők:

- ❑ a prognózis, az előkutatás és a felderítő kutatás néhány kérdése,
- ❑ a nagyüzemi bányászattal kapcsolatos néhány földtani-kutatási kérdés,
- ❑ a bányageológiai munkával kapcsolatos néhány kérdés.

3.1. A prognózis és a felderítő kutatás feladatainak kijelölésekor mindenekelőtt figyelembe kell venni, hogy a jövőendő (reménybeli) ásványi nyersanyag-előfordulások között is egyre nagyobb mértékben számíthatunk olyanokra, amelyek felfedezése meglehetősen nehezen megoldható feladatot jelent a kutatás számára. Olyan előfordulások lesznek ezek, amelyek prognózisa egyre inkább csak közvetett úton kapott adatok alapján végezhető el. Ehhez a prognózis metodikáját kell alapvetően új irányokba fejleszteni, nemcsak hazánkban, hanem más országokban is.

Ez azt jelenti, hogy rendkívül nagy mértékben nő a geofizika, s még inkább a geokémia aránya és jelentősége a prognózisban.

A jelenleg rendelkezésre álló prognózisok tanulása alapján azt szűrhetjük le, hogy hazai vonatkozásban nagyon sok tennivalónk van geokémiai, metallogéniai, tektonikai, nemkülönben a mélykutatások módszertanának ismerete, az utóbbiból főleg az ezen a téren teljesen elhanyagolt vágatkutatások alkalmazása vonatkozásában. Közülük külön kell szólni a geokémiáról, ahol egészen felemás helyzet alakult ki. A geokémia tudományos elméletében ti. nemzetközi mércével mérve is kimagasló eredményeink vannak. Arra az egészen hétköznapi terepi („gyalog”) geokémiára utalok azonban, amelyre az új előfordulások felderítése érdekében szükség van, s amelyet – tisztelet egy-két kivételnek – szinte egyáltalában nem is alkalmazunk, ha igen, szinte elrejtve, a többi módszer között. Pedig a geokémiának a geofizikával legalább egyenrangú szerepe és jelentősége kellene, hogy legyen a hazai előkutatásban, a légi módszereket is beleértve.

A tudományosan megalapozott prognózis megkívánja magának a prognózis módszertanának a fejlesztését is, ha ez egyes esetekben egyelőre csak a kialakítását jelenti is. Ezen belül különleges jelentőségű, s nyilvánvalóan csak a nemzetközi eredmények állandó figyelemmel kísérésével és a tapasztalatok hasznosításával megoldható feladat a tudományos alapok kidolgozása a fedett és főleg a zárt előfordulások prognózisához, valamint a földtani térképezés és a prognózis szoros összekapcsolása.

Mindez azt jelenti, hogy hazai prognózisaink készítéséhez megfelelő követelményrendszert kell kialakítani. Ez már csak azért is szükséges, mert a kutatásokban nő a felderítő kutatás aránya. Ez világszerte általános tendencia; a Szovjetunióban a legtöbb fontos nyersanyag esetében ez máris elérte az 50%-ot, sőt sok nyersanyagé meg is haladta. Hazai szénhidrogén kutatásunkban is 60% a felderítő kutatások aránya.

A találati valószínűség növelése érdekében – ennek a növekvő mélység miatt hatványozott jelentősége van – rendkívül fontos feladat a prognózisok tudományos megalapozottságának növelése. Ez sem

jelenti természetesen azt, hogy bármikor is olyan követelménnyel léphetünk fel a prognózissal szemben, hogy az teljes biztonságu képet adjon. A prognózis sohasem lesz teljesen megbízható; azért prognózis. Csak azt tűzheti ki célul, hogy a lehetőségeket jelezze előre, megfelelő megbízhatósággal. Megbízhatóságától és valószínűségétől aligha várhatunk többet, mint amit annak idején Eötvös Loránd mondott az Eötvös-ingáról, hogy ti. azt ugyan meg tudja mondani, hol van a földben elásva a kincsesláda – ezt várjuk a prognózistól is –, azt azonban nem, hogy van-e benne kincs, vagy sem. Valóban, egyelőre csak a láda helyét tudjuk kijelölni, s célunk csak az lehet, hogy ezt minél nagyobb valószínűséggel tudjuk megadni. Hogy megvan-e, tele van-e, az csak ezután következik, de ez már nem a prognózis, hanem a felderítő kutatás feladata. Scseglov akadémikus is, aki a közelmúltban átfogó módon foglalkozott ezzel a kérdéssel, (L.: Scseglov, A. D.: „Osznovü metallogeniceszkovo analiza”, 1976. (2. kiadás: 1980.) *Földtani Kutatás* XXV. évf. (1982. év), 2. sz.) azt állapítja meg, hogy sajnos az, hogy egy indikáció – vagy akár indikációhalmaz! – ipari előfordulásnak bizonyul-e a felderítő kutatás során, vagy pedig továbbra is indikáció marad, nincs szoros kapcsolatban az indikációk meggyőző erejével. Egy nagyon meggyőző és nagyon megalapozott indikációkon alapuló prognózis zárulhat negatív eredménnyel, viszont szerényebb indikációkból nagyon komoly eredmények lehetnek, pedig a Szovjetunióban igazán bőven van tapasztalat mennyiségi és minőségi vonatkozásban egyaránt.

A fő hazai feladat a prognózis szakmai-tudományos megalapozásának növelése, sőt sokszor csak megalapozásának igénye. Ehhez nagyon sok tennivaló van a prognózishoz felhasználható ismérvek kiválasztása, azok meggyőző erejének tisztázása és egymással való összefüggéseinek meghatározása terén egyaránt.

3.2. A másik kérdéscsoport, amelyet röviden érinteni kívánok, a nagyüzemi bányászattal kapcsolatos. Világszerte tendencia, hogy a bányászat az utóbbi évtizedekben a kisüzemi jellegű termelésről egyre inkább a nagyüzemi, tömegtermeléses módszerekre tér át. Hazánk esetében sem kell messze mennünk például: az évi 7 millió tonnás visontai lignitkölfejtés, az évi 8 millió tonna barnaközenet ígérő eocén-program, a recski tervek, ahol az évi 2 és 10 millió tonna rézérctermelés közt a legkülönbözőbb számok forognak középsően (és papíron), mind jól jelzik ezt. Már egy kétmillió tonnás kapacitás is tekintélyes mennyiséget jelent, öt vagy nyolc pedig még szebbet, mindenesetre eddig szinte elképzelhetetlen mennyiségeket. Az ilyen kapacitások már nemzetközi viszonylatban is figyelemre méltók, bár ott elég gyakran találkozunk 10–15 m tonnásokkal is, sőt a Szovjetunióból 45 mt kapacitásról is vannak adataink.

A bányászat tehát valóban világszerte a nagyüzemi termelés felé orientálódik. A bányászat – érezve a kutatással kapcsolatban említett egyre kedvezőtlenebbé váló földtani, bányaföldtani és bányaműszaki feltételeket – ilyen módon tudja valamelyest kompenzálni a természeti (é.: földtani) feltételek kedvezőtlenebbre fordulását.

3.2.1. A nagyüzemi termelés azt jelenti, hogy a termelés néhány munkahelyen koncentrálódik. Az óriás tömegű nyersanyagmennyiséget 2-3, legfeljebb 4-5 helyről adja ki a bánya. Ennek viszont nagyon komoly konzekvenciái vannak, s ezek a földtani kutatással szemben is minőségileg új követelményeket támasztanak. Ilyen koncentrált termelés esetén egy-egy munkahely kiesése katasztrofális következményekkel jár az egész terv teljesítésére, s a bánya léteire vonatkozóan hosszú időre szóló problémákat vet fel.

Ha azonban a termelés kevés munkahelyen koncentrálódik, s ezek kiesése ilyen komoly következményekkel jár, akkor ezeknek a munkahelyeknek a földtani viszonyait nagyon pontosan ismerni kell, mégpedig nemcsak a készlet mennyiségét és minőségét, hanem szükség van mindazoknak a tényezőknek a részletes ismeretére, amelyek a nagyüzemi termelés megbízható megtervezését biztosítják. A kőzetfizikai, hidrogeológiai, por- és gázveszélyre vonatkozóan sokkal megbízhatóbb ismeretekre van szükségünk, mint az eddigiek során megszoktuk.

Ezt az igényt csak fokozza az, hogy a nagyüzemi termeléssel nő a gépesítés aránya: egyre több és egyre nagyobb értékű az a gépállomány, amely a föld alatt, ill. a bányatérsekben dolgozik. Ezek folyamatos üzemeltetése eleve a kőzetfizikai viszonyok sokkal részletesebb tisztázását igényli, hacsak nem akarjuk a sokmillió értékű esetleges elvesztését kockáztatni.

Mivel a hazai ásványi nyersanyagkutatás egyelőre nem tesz, ill. nem tett különbséget a nagyüzemi bányászathoz szükséges és a régi módhoz végzett kutatás közt, önmagában az is nagy feladatot jelent, hogy ezeket a kutatási követelményeket kidolgozzuk. Mert megvalósítani és megkövetelni csak azután és annak alapján lehet őket. Természetesen mindenekelőtt a bányászatnak kell konkrétan megfogalmaznia, milyen tényezők tekintetében és milyen ismeretességi igényeket támaszt. Ezt kell majd a földtani kutatás nyelvére lefordítva kutatási követelményként meghatározni.

3.2.2. A kevés helyen koncentrálódó termelés másik következménye az, hogy *megszűnik a nyersanyag természetes keveredésének a lehetősége*. Amikor az üzem termelése 50–100 helyről tevődött össze, s ha – akkori méreteiben – nagy is volt a kapacitás, az a napi néhány ezer csille termelés 5–10 csillenként jött össze a fejtésekből, s mivel a munkahelyek térbeli eloszlása

az előfordulásnak szinte az egész területét képviselte, a napi termelés is gyakorlatilag jó közelítéssel az előfordulás tényleges (természetes) átlagminőségének felelhetett meg.

Ha azonban az előfordulás termelése csak 1-2, de akár 4-5 helyről származik, nem is várható, hogy ez az átlagminőség automatikusan kialakul – holott a tömeges felhasználást igénylő nagyüzemi feldolgozási technológiák megkövetelik az egyenletes minőséget. Ezt rendszerint csak a felszínen, utólagos dúsítással, vagy készlethányók keverésével lehet biztosítani. Ez azt jelenti, hogy sokkal inkább meg nőnek a nyersanyag minősége megismerésének pontosságával, részletességével és megbízhatóságával szembeni igények – ezt követeli meg egyébként a dúsítás, ill. felszíni keverés ésszerű megszervezése is –, de jelenti azt is, hogy a geológus munkája nem zárul le többé a bányában, hanem kiterjed a dúsítás területére is.

3.3. A nagyüzemi termeléssel kapcsolatos földtani-kutatási követelmények, ill. igények kérdése valójában automatikusan átvezet a termelési geológiai szolgálatok munkájával kapcsolatos újszerű kérdésekhez, ill. feladatokhoz.

3.3.1. A nagyüzemi termelés igénye és a kutatási körülmények megváltoztatása egészen új követelményeket jelent a bányageológus számára. A bányageológiának azzal a kellemetlen és ellentmondásos helyzettel kell szembenéznie, hogy

- a nagyüzemi termelés feltételeinek biztosítása miatt megnövekedtek az előfordulás földtani viszonyainak, a nyersanyag mennyiségének, sőt minőségének, vastagságának, települési viszonyainak stb. megismerésével szemben támasztott részletességi és megbízhatósági igények, s különös fontosságúvá vált a kőzetek fizikai állapotának tisztázása, s mindezeknek a tényezőknek az alakulását ma már nem elég csupán minőségileg tisztázni; egyre inkább szükséges a viszonyok mennyiségi alakulásának meg határozása is;
- ezzel szemben többek között épp a mélység eltolódása miatt valójában egyre kevésbé lesz mód arra, hogy az előfordulást olyan részletesen megismerjük és megkutassuk, mint megelőzően, még kevésbé arra, hogy olyan részletességgel, amelyet a nagyüzemi bányászat biztonságos üzemmenete folyamatosan megkövetelne. (Ez egyébként sem a telepítés előtti részletes kutatás feladata.) Márpedig az előfordulás minden olyan földtani jellegét és ismervét, amely a termelés folyamatosságát befolyásolja, ill. befolyásolhatja, olyan mértékben kell ismerni, hogy azok kedvezőtlenebbre fordulását előre

lehesse jelezni a termelés során, megelőzve, hogy munkahelyi katasztrófát okozzon, ill. katasztrofális következményekkel járjon. Ez önmagában is rendkívül megnöveli a *termelési kutatással* szemben támasztott követelményeket, s ezt csak fokozza a bányatelepítést megelőző kutatások említett sajátossága. Ezeknek az új követelményeknek a kialakításához, megköveteléséhez és teljesítéséhez ugyancsak az szükséges, hogy tudományosan megalapozva és a gyakorlati tapasztalatokat figyelembe véve meghatározzák őket, teljesítésüket meg is követeljék, a megköveteléshez viszont biztosítsák is az objektív feltételeket (létszám, eszköz stb.).

3.3.2. Különleges jelentőségű és felelősségű a termelési geológiának az ásványi nyersanyagok legteljesebb kitermelésében játszott szerepe. Ez magával hozza a *termelési veszteség* meghatározását, a csökkentéséért folyó szüntelen harcot, a meghatározáshoz viszont a rendszeres termelési kutatást. Enélkül a termelési veszteséget és a hígulást valójában nem is lehet meghatározni.

Ha valahol, az ásványi nyersanyagokkal való takarékoskosságot már a föld alatt meg kell kezdeni.

3.3.3. Egészen külön kérdés azoknak a „forradalmian új” bányászati, vagy inkább termelési *módszereknek* a kérdése, amelyekről mostanában annyi hallhatunk, ill. olvashatunk, de amelyek bevezetésének reális feltételei tisztázása érdekében már jóval kevesebbet teszünk.

Az ásványi nyersanyagkutatás elméletének napjainkban egyik fontos kérdése lenne az, hogy egyáltalában megvizsgálja, majd tisztázza azokat a földtani feltételeket, amelyek egy-egy ilyen „forradalmian új” bányászati módszer kialakításához, ill. gyakorlati alkalmazásához szükségesek.

Röviden érintve a három leggyakrabban emlegetett:

1. A hazai viszonyokat figyelembe véve földtani oldalról a legnagyobb fantáziát az *automatikus távirányítású*, ember nélküli földalatti termelésben látom, de ez is minőségileg új kutatási követelményeket jelent.
2. A *köszén földalatti elgázosításának* megvalósulásában egyelőre nem sok realitást látok. Nem is annyira azért, mert egyelőre a természetes földgáz árának 10, sőt 100–150-szereséért sikerült 700–1300 kalóriás gázt előállítani – elvégre a kísérleti stádiumtól nem is várható, hogy azonnal gazdaságos is legyen –, hanem azért, mert ez az eljárás olyan arányú készlet visszahagyással jár, hogy az rablóbb a legrablóbb rablóbányá-

szatnál, nem beszélve arról, hogy a keletkezett gáznak jelentős része elszökik a rétegekbe. A hazai tektonizáltság mellett ennek még fokozottabb a lehetősége, sőt veszélye.

3. Az *in situ* perkolációs módszerről annyit: nem tartom valószínűnek, hogy a hazai beépítettség sűrűség mellett egyáltalán létrehozható robbantással az az üreg, ill. fellazítás, ami ehhez eleve szükséges. Még inkább kérdéses, hogy a hazai tektonikai és hidrogeológiai viszonyok közt megvalósítható-e az a zárt hidraulikai rendszer, amely elengedhetetlen hatékony működéséhez. Ellenkező esetben ti. a hazai mélységi vízkészlet szennyeződhet olyan mértékben, hogy az a további felhasználást lehetetlenné teszi.

Ezek természetesen nem részletes elemzéssel megalapozott megállapítások, csupán szubjektív, egyéni aggályok. Az azonban már nem szubjektív vélemény, hogy meg kellene vizsgálni azokat a feltételeket, amelyek közt ezek az eljárások alkalmazhatók, és ki kellene dolgozni azokat az – egyelőre elméleti – modelleket, amelyek a hazai földtani viszonyok közt egyáltalában számításba jöhetnek. A külföldi példák és a külföldi tapasztalatok nagyon komoly előnyt jelentenek az ilyen vizsgálatokban.

4. Záró megjegyzések

Kétségtelen, hogy a vázolt feladatok megoldásához a kutatások hatékonyságát kell jelentősen növelni, ehhez viszont nélkülözhetetlen a tudomány, az új tudományos módszerek és eljárások tudatos és összehangolt alkalmazása.

Ennek során a fő feladatok

- a földtani viszonyoknak legjobban megfelelő kutatási módszerek kialakítása,
- a kutatási módszerek állandó tökéletesítése,
- a kutatás hatékonyságának és gazdaságosságának állandó vizsgálata, elemzése és növelése.

Az ti., hogy a kutatás hatékonysága a természeti feltételek kedvezőtlenebbé válása ellenére nem csökken, sőt határozottan növekszik, annak köszönhető, hogy

- nő az a tapasztalati anyag és ténybeli adatmennyiség, amelyet általánosítva a kutatás során felhasználhatunk,
- fejlődnek a kutatási módszerek,
- fejlődnek a kutatási eszközök, műszerek is, ezért egyre sokoldalúbban és egyre pontosabban tudjuk megismerni velük a kutatott nyersanyag és a kutatott terület földtani sajátosságait,
- a társadalmi tudás általánosan növekvő színvonalával párhuzamosan nő az egyéni tudás is, hiszen az egyénre nézve is érvényes, hogy ma általánosan magasabb színvonalon végezhetjük a kutatásokat, mint tíz, húsz, harminc vagy éppen száz évvel ezelőtt. A kutatási elmélet és módszertan fejlődésének általános vonásairól szinte deklarációszerűen beszélve azonban nem szabad elfelejteni, hogy ezek a tendenciák nem automatikusan érvényesülnek. Annak érdekében, hogy valóban érvényesüljenek, tudatosan kell fejleszteni a kutatást, kell foglalkozni a kutatás elméletével, a kutatási tapasztalatok általánosításával, a kutatáshoz szükséges „kiművelt emberfők” számának és színvonalának növelésével, tudásának gazdagításával, – hogy a továbbképzés mind máig megoldatlan problémáját ne is említsem.

Ha ezek a tényezők mind együtt vannak, és hatékonyan, egymást erősítve együtt hatnak, akkor reméljük, elmondhatjuk, hogy az ásványi nyersanyag-kutatás tudományában és gyakorlatában – a kutatási módszertan tudományos és elméleti megalapozásában és fejlesztésével – az itt szerzett ismeretek elterjesztésével, gyakorlati megvalósításával, alkotó és tudatos alkalmazásával sikerült a hazai kutatásokat hatékonyabbá és eredményesebbé tenni.

Poszterek a BKL-ben – Az MFK Kar és a TEKH Szakkollégium 2024-es terméséből

Posters in BKL – From the 2024 crop of the MFK Faculty and the TEKH College

A poszter tiszavirág életű életű műfaj, egy-egy konferencián, vándorgyűlésen jelenik meg, és 1-2 napos élet után a mindennapokba „süllyedve” a legtöbbször elfelejtődik, viszonylag kevés érik közülük tovább folyóiratcikké, könyvfejezetté. Viszont pillanatképet ad a műhelymunka mindennapjairól.

A BKL és a TEKH Szakkollégium közösen ad nagyobb nyilvánosságot a műszaki föld- és környezettudományt különböző szinten (BSc, MSc, PhD) tanuló hazai és külföldi diákok korábban konferenciákon, vándorgyűléseken szereplő olyan posztereinek, amelyek témája az olvasókat fokozottan érdekelheti.

Az ismertető után következik a poszter (a nyomtatott BKL-ben kicsinyítve, a hivatkozás révén elérhető elektronikus verzióban teljes méretben), amelyet az olvasó letölthet, böngészhet, s megfelelően hivatkozva idézhet is.

The poster is a short-lived publication. It appears at conferences and symposiums, and after a brief lifespan of one or two days, it often fades into everyday obscurity and is largely forgotten. Only a few of them become later as journal article or book chapter. However, they provide a snapshot of the daily work within research groups.

The Bányászati és Kohászati Lapok (BKL, Mining and Metallurgical Journal) and the TEKH Student College jointly provide greater visibility to posters presented by both Hungarian and international students studying technical earth and environmental sciences at various levels (BSc, MSc, PhD). These posters cover topics that may be of particular interest to many readers.

The introduction is followed by the poster (reduced in size in the printed BKL, full size in the electronic version available via the link), which the reader can download, browse, and cite with appropriate reference.

ÉK-magyarországi feketepalák kritikus ásvány- és elemtartalmának összehasonlítása

Comparison of critical mineral and element content of black shales in NE-Hungary

LESKÓNÉ MAJOROS LÍVIA, SZAKÁLL SÁNDOR, KRISTÁLY FERENC

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,
Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet, Miskolc

*A poszter a PDAC-SEG Student Minerals Colloquium, online (Toronto, Kanada) versenyén
(2022. június 28–29.) PhD-kategória megosztott 2. helyezést nyert*

A kutatócsoport közel 10 éve foglalkozik a magyarországi grafit előfordulásokkal. A PDAC-SEG konferencián bemutatott poszter az Európai Unió kritikus nyersanyagának számító grafittal, és a grafitosodáshoz geokémiaileg kötődő kritikus elemekkel (titán, nióbium, vanádium, stroncium és RFF) foglalkozik két hazai lelőhely összehasonlításával.

Az első vizsgált lelőhely Dédestapolcsány (Úpponyi-hegység, Tapolcsányi Formáció), a terepbejárás során gyűjtött kőzetminták erősen deformált, lemezes-leveles elválású, fekete kovapalák. A másik lelőhely Szendrőlád (Szendrői-hegység, Szendrőládi Mészke Formáció), ahol a vizsgált, erősen deformált, lemezes-leveles elválású feketepalák egyrészt a Szendrőlád-6 földtani alapfúrás 278–295 m mélységéből származnak, másrészt a Helle-patak menti felszíni feltárásokból.

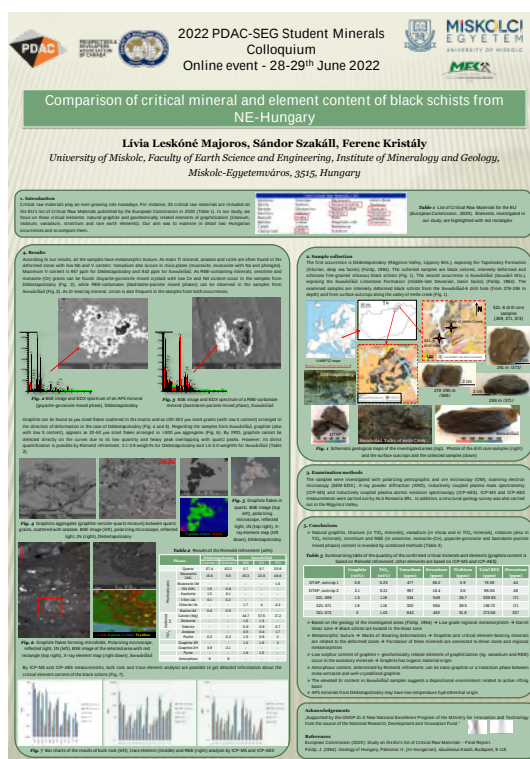
A vizsgálatok során polarizációs mikroszkópia, pásztázó elektronmikroszkópia (SEM-EDX), röntgen-pordiffrakció (XRD), induktív csatolású plazmatömegspektrometria (ICP-MS) és induktív csatolású plazma-atommisziós spektroszkópiát (ICP-AES) került alkalmaztunk.

Az eredmények alapján a minták metamorf szövetűek. Fő Ti-tartalmú ásványként a mintákban anataz és rutil található, alacsony Nb- és V-tartalommal. Vanádium szintén előfordul a csillámokban (muszkovitban, Na-os muszkovitban és fengitben). A dédestapolcsányi minták maximális V-tartalma 957 ppm, a szendrőládi mintáké 843 ppm. RFF-tartalmú ásvány-

ként xenotim- és monacit- (Ce) szemcsék találhatók. A dédestapolcsányi mintákban goyazit-gorceixit elegysor figyelhető meg (alacsony Ce- és Nd-tartalommal), míg a szendrőládi mintákban RFF-karbonátok (bastnäsit-parisit elegysor) észlelhetők. Mint Zr-tartalmú ásvány, cirkon mindkét lelőhely esetében gyakran megfigyelhető a mintákban.

A grafit a dédestapolcsányi minták esetében jelent egyrészt μm -es nagyságú pikkelyekként elszórva az alpanyagban, másrészt 100–300 μm -es nagyságú szemcsékként (alacsony kéntartalommal a SEM-EDX mérések alapján) a deformáció irányát követve. A szendrőládi mintáknál pedig 20–50 μm -es nagyságú grafitpikkelyek figyelhetők meg (szintén alacsony kéntartalommal a SEM-EDX mérések alapján), amelyek $>300 \mu\text{m}$ -es nagyságú aggregátumokba rendeződnek. Az XRD diffraktogramokon nem lehet egyértelműen beazonosítani a grafitot a kis mennyiség és az átlapoló kvarccsúcsok miatt. Azonban Rietveld-illesztéssel lehetséges a mintákban lévő grafit mennyiségi meghatározása.

A különböző vizsgálati módszerek eredményei, valamint a vizsgált területek földtani háttere alapján megállapítható, hogy a grafit és a kritikus elemeket hordozó ásványok képződése regionális metamorfózishoz, különösen nyírózónákhoz kapcsolódik. A grafit alacsony kéntartalma, valamint a grafitosodáshoz geokémiaileg kötődő elemek jelenléte (például V és RFF) a grafit szerves anyag eredetére utal.



Szerzői életrajzok

BENKŐ FERENC, geológus (1926–2003) a Pázmány Péter Tudományegyetem Ásvány-kőzettani Intézete demonstrátora, gyakornoka (1946–1949). A Bányászati Kutató és Mélyfúró Nemzeti Vállalat geológus előadója (1949–1950), a Magyar Állami Földtani Intézet Köszénkutató Osztályának kutatógeológusa (1950 és 1954), a Magyar–Szovjet Bauxit Alumínium Rt. Kutató Expedíció II. Kutató Kirendeltség, majd uo. a 2. sz. Kutatófúró-csoport, ill. az ún. Kamerális Csoport vezetője (Gánton, majd Balatonalmádiban, 1950–1953). Az Országos Földtani Főigazgatóság Készletszámítási Osztályának vezetője (1953 és 1955–1957), főgeológusa és a főigazgató első helyettese (1957–1958), főigazgatója (1958. szept. 14.–1964. jún. 30.); közben a Nehézipari Minisztérium (NIM) Földtani Igazgatóságának osztályvezetője is (1953–1954). A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem (NME) Földtani–teleptani Tanszék féléllású (1962–1964), majd főállású egy. docense (1964. júl. 1.–1975.) és a Tanszék vezetője (1962–1968). Az ELTE TTK Földtani Tanszék tud. főmunkatársa (1976–1982), tud. tanácsadója (1988–1996) és c. egy. tanára (1978–1996). Ásványi nyersanyag-gazdálkodással, gazdasági földtannal foglalkozott. Kidolgozta és bevezette az ásványi nyersanyagok készletszámításának általános elveit, a földtani kutatások feldolgozási és jelentérendszerét, az ásványi nyersanyagok évi mérlegeinek rendszerét. Irányításával került sor Magyarországon a modern kutatási módszerek bevezetésére, az ország ásványi nyersanyagainak egységes szempontok szerinti számbavételére és értékelésére, valamint a kutatási és bányaföldtani szolgálatok megszervezésére.

ID. ŐSZ ÁRPÁD aranyokleveles olajmérnök, menedzser szakmérnök. 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). Az OMBKE tiszteleti tagja és a MMK aranygyűrűs mérnöke.

SPEKKER DORINA a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karán végzett környezetmérnök-ként. A Nyersanyag-előkészítés és Környezettudományi Intézetnél már első tanulmányi évében elkezdett laboratóriumi kutatásokkal foglalkozni a biolejárás-technika tudományterületén, és konzulensei segítségével hamar és sikeresen bekapcsolódott az ehhez kötődő tudományos diákkételbe. Így részt vett már korábban is az OTDK-n a kari TDK-n való szereplése eredményeképpen, illetve jelen dolgozattal is képviseltette magát a 2025. évi országos konferencián, ahol 2. helyezést ért el. Környezetmérnöki tanulmányai végén pedig a jelen cikk folytatásának tekinthető szakdolgozatban foglalta össze az Intézetnél végzett több éves kutatómunkája eredményeit. Jelenleg az elektronikai hulladékfeldolgozó iparban, emellett levelező mesterszakon tanul.

További szerzők:

Mádai Ferenc,
Földessy János,
Hankovszky Ingrid,
LukácsGábor,

TEKH Szakkollégium, Miskolci Egyetem

Rónaföldi Arnold,
Veres Zsolt,
Svéda Mária,
Roósz András,

Miskolci Egyetem. Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológia Intézet,
HUN-REN – Miskolci Egyetem. Anyagtudományi Kutatócsoport

Leskóné Majoros Szilvia,
Szakáll Sándor,
Kristály Ferenc,

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,
Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet

Az OMBKE hivatalos Facebook- és LinkedIn-oldala

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület
a legnagyobb közösségi platformokon is elérhető!

**Az új oldalak célja, hogy tagjaink és az érdeklődők naprakész
információkat kapjanak az egyesület tevékenységeiről, eseményeiről,
és szakmai hírekről.**

Kövessen minket a Facebookon és a LinkedIn-en, hogy elsőként értesüljön
az iparág friss híreiről, eseményeinkről és a bányászati-kohászati közösség
életéről.

Csatlakozzon hozzánk online, és segítsen terjeszteni a hírt, hogy minél
többen megismerhessék Egyesületünk munkáját és hagyományainkat!

Facebook: <https://www.facebook.com/ombke1892/>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/ombke>

Kövesse és ajánlja ismerőseinek az oldalakat!

Jó szerencsét!

FÉMALK



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

CSATLAKOZZ
CSAPATUNKHOZ!

WWW.FEMALK.HU/KARRIER

Comparison of critical mineral and element content of black schists from NE-Hungary

Lívia Leskóné Majoros, Sándor Szakáll, Ferenc Kristály

University of Miskolc, Faculty of Earth Science and Engineering, Institute of Mineralogy and Geology,
Miskolc-Egyetemváros, 3515, Hungary

1. Introduction

Critical raw materials play an ever-growing role nowadays. For instance, 30 critical raw materials are included on the EU's list of Critical Raw Materials published by the European Commission in 2020 (Table 1). In our study, we focus on these critical elements: natural graphite and geochemically related elements of graphitization (titanium, niobium, vanadium, strontium and rare earth elements). Our aim was to examine in detail two Hungarian occurrences and to compare them.

2020 Critical Raw Materials (30)		
Antimony	Fluorspar	Magnesium
Baryte	Gallium	Natural Graphite
Bauxite	Germanium	Natural Rubber
Beryllium	Haftium	Niobium
Bismuth	HRREs	PGMs
Borates	Indium	Phosphate rock
Cobalt	Lithium	Phosphorus
Coking Coal	LRREs	Scandium
		Silicon Metal
		Tantalum
		Titanium
		Vanadium
		Tungsten
		Strontium

Table 1 List of Critical Raw Materials for the EU (European Commission, 2020). Elements, investigated in our study, are highlighted with red rectangles

4. Results

According to our results, all the samples have metamorphic texture. As main Ti mineral, anatase and rutile are often found in the deformed zones with low Nb and V content. Vanadium also occurs in mica plates (muscovite, muscovite with Na and phengite). Maximum V content is 957 ppm for Dédestapolcsány and 843 ppm for Szendrő. As REE-containing minerals, xenotime and monazite-(Ce) grains can be found. Goyazite-gorceixite mixed crystals with low Ce and Nd content occur in the samples from Dédestapolcsány (Fig. 2), while REE-carbonates (bastnaesite-parisite mixed phases) can be observed in the samples from Szendrő (Fig. 3). As Zr-bearing mineral, zircon is also frequent in the samples from both occurrences.

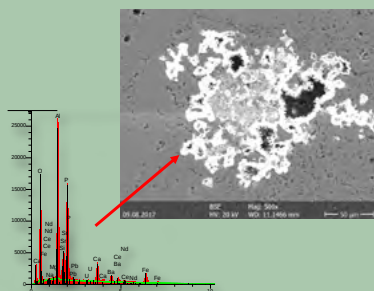


Fig. 2 BSE image and EDX spectrum of an APS mineral (goyazite-gorceixite mixed phase), Dédestapolcsány

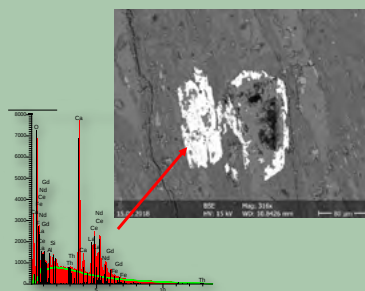


Fig. 3 BSE image and EDX spectrum of a REE-carbonate mineral (bastnaesite-parisite mixed phase), Szendrő

Graphite can be found as μm sized flakes scattered in the matrix and as 100-300 μm sized grains (with low S content) arranged in the direction of deformation in the case of Dédestapolcsány (Fig. 4 and 5). Regarding the samples from Szendrő, graphite (also with low S content), appears as 20-50 μm sized flakes arranged in >300 μm aggregates (Fig. 6). By XRD, graphite cannot be detected directly on the curves due to its low quantity and heavy peak overlapping with quartz peaks. However, its direct quantification is possible by Rietveld refinement: 2.1-3.9 weight% for Dédestapolcsány and 1.5-3.0 weight% for Szendrő (Table 2).

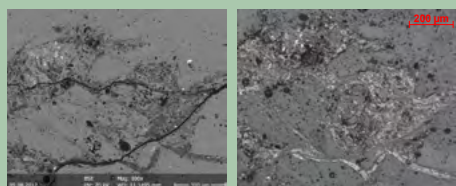


Fig. 4 Graphitic aggregates (graphite-sericite-quartz mixture) between quartz grains, scattered with anatase. BSE image (left), polarizing microscope, reflected light, 1N (right), Dédestapolcsány

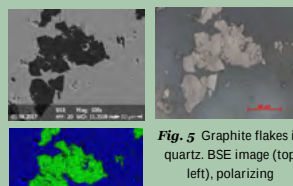


Fig. 5 Graphite flakes in quartz. BSE image (top left), polarizing microscope, reflected light, 1N (top right), X-ray element map (left down), Dédestapolcsány

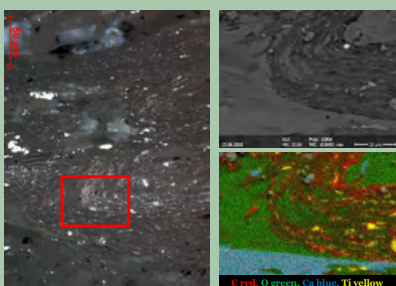


Fig. 6 Graphite flakes forming microfolds. Polarizing microscope, reflected light, 1N (left), BSE image of the selected area with red rectangle (top right), X-ray element map (right down), Szendrő

By ICP-MS and ICP-AES measurements, bulk rock and trace element analysis are possible to get detailed information about the critical element content of the black schists (Fig. 7).

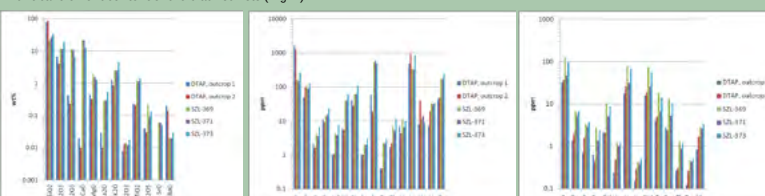


Fig. 7 Bar charts of the results of bulk rock (left), trace element (middle) and REE (right) analysis by ICP-MS and ICP-AES

2. Sample collection

The first occurrence is Dédestapolcsány (Rágyincs Valley, Uppony Mts.), exposing the Tapolcsány Formation (Silurian, deep sea facies) (Fülöp, 1994). The collected samples are black colored, intensely deformed and schistose fine-grained siliceous black schists (Fig. 1). The second occurrence is Szendrő (Szendrő Mts.), exposing the Szendrő Limestone Formation (middle-late Devonian, basin facies) (Fülöp, 1994). The examined samples are intensely deformed black schists from the Szendrő-6 drill hole (from 278-295 m depth) and from surface outcrops along the valley of Helle creek (Fig. 1).

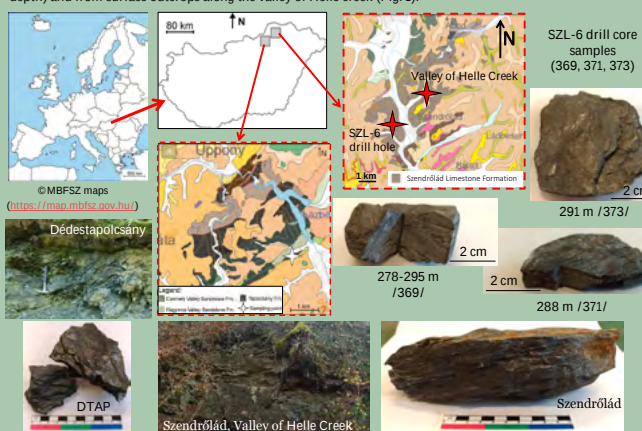


Fig. 1 Schematic geological maps of the investigated areas (top). Photos of the drill core samples (right) and the surface outcrops and the collected samples (down)

3. Examination methods

The samples were investigated with polarizing petrographic and ore microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM-EDX), X-ray powder diffraction (XRD), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). ICP-MS and ICP-AES measurements were carried out by ALS Romania SRL. In addition, a structural geology survey was also carried out in the Rágyincs Valley.

5. Conclusions

Natural graphite, titanium (in TiO_2 minerals), vanadium (in micas and in TiO_2 minerals), niobium (also in TiO_2 minerals), strontium and REE (in xenotime, monazite-(Ce), goyazite-gorceixite and bastnaesite-parisite mixed phases) content is revealed by combined methods (Table 3)

Table 3 Summarizing table of the quantity of the confirmed critical minerals and elements (graphite content is based on Rietveld refinement, other elements are based on ICP-MS and ICP-AES)

	Graphite (wt%)	TiO_2 (wt%)	Vanadium (ppm)	Strontium (ppm)	Niobium (ppm)	Total REE (ppm)	Zirconium (ppm)
DTAP, outcrop 1	3.9	0.23	477	59.2	5.9	79.39	44
DTAP, outcrop 2	2.1	0.21	957	18.4	5.5	98.08	48
SZL-369	1.5	1.19	334	549	38.7	339.93	171
SZL-371	1.9	1.16	320	584	38.5	136.72	171
SZL-373	3	1.43	843	482	61.9	273.58	257

- Based on the geology of the investigated areas (Fülöp, 1994) → Low grade regional metamorphism → Darnó shear zone → Black schists are located in the shear zone
- Metamorphic texture → Marks of shearing deformations → Graphite and critical element-bearing minerals are related to the deformed zones → Formation of these minerals are connected to shear zones and regional metamorphism
- Low sulphur content of graphite + geochemically related elements of graphitization (eg. vanadium and REE) occur in the accessory minerals → Graphite has organic material origin
- Amorphous content, determined by Rietveld refinement, can be nano-graphite or a transition phase between meta-antracite and well-crystallized graphite
- The elevated Sr content in Szendrő samples suggests a depositional environment related to active rifting basin
- APS minerals from Dédestapolcsány may have low temperature hydrothermal origin

Acknowledgements

„Supported by the UNKP-21-3 New National Excellence Program of the Ministry for Innovation and Technology from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.”



References

- European Commission (2020): Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report.
Fülöp, J. (1994): Geology of Hungary, Paleozoic II. (In Hungarian). Akadémiai Kiadó, Budapest, 9-118.