

mé 8,1%. Azon téves állítást, miszerint a gallium és az alumínium kémiaiilag hasonlóak – többek között – a következő példák cáfolják (7. ábra):

- Míg a galliumot sóinak vizes oldatából elektrolízissel le lehet választani, addig az alumíniumot nem.
- Az oltókristályos precipitáció során a gallium az alumínium-hidroxiddal nem képez csapadékot.
- Míg a gallium-hidroxid ammónium-hidroxidban oldható, addig az alumínium-hidroxid nem.
- Az alumínium olyan fém, mely képes könnyen leadni legkülső elektronhéján lévő három vegyértékelektronját, miáltal nemesgázszerkezet alakul ki, viszont a gallium erre nem képes, mivel ha a három külső elektronjától megszabadul, akkor egy 18 elektronból álló héjat formál, mely nem felel meg a nemesgázszerkezetnek.

Összefoglalás

A galliumot először a cinkelőállítás desztillációs maradékából és a litopon színező pigmentgyártás kapcsán állították elő. A cinkkohászatnak a fokozatos átállásával a kalcinálás–kioldás–elektrolízis útvonal szerinti kinyerési technológiára, a gallium-

kinyerés súlypontja is áttevődött a vas-oxidos ércfeldolgozás lúgzási maradékából történő előállításra. Ezzel egyidőben fejlesztették ki a bauxitból történő galliumkinyerés technológiáját. A gallium-arsenid előállítás, illetve felhasználás növekedésével szükségessé vált a nagy tisztaságú gallium gyártásának, valamint a gallium-feldolgozás ipari hulladékai újrahasznosításának is a hasonló mértékű fejlődése.

Irodalom

1. Weeks, M. E.: Discovery of the Elements, Journal of Chemical Education, pp. 643-649, Easton, PA 1968
2. Schreiter, W.: Seltene Metalle, volume 1, pp. 221-264, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963
3. Thompson, A. P. – Harner, H. R.: A Byproduct Metal. J. Metals 91-94 (1951) February
4. Krammer, D. A.: Gallium and Gallium Arsenide: Supply, Technology, and Uses. US Bureau of Mines, Information Circular 9208 (1989)
5. Arima, H. – Kudo, Y.: Autoclave Application for Zinc Leach Residue Treatment by Akita Zinc Co. Ltd., pp. 949-963. In: Collins, M. J. – V. G. Papange-

- lakis (eds.): Pressure Hydrometallurgy 2004, Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum, Montreal 2004
6. Bielfeldt K. – Laspeyres, M.: Die Gewinnung des Galliums als Nebenprodukt der Aluminiumoxyderzeugung. Erzmetall 12 (4), 173-178 (1959)
 7. Habashi, F.: The Recovery Empire Built on Fool's Gold, Eng. & Ming. J. 170 (12), 59-64 (1969)
 8. Habashi, F.: Aluminium and Its Position in the Periodic Table. Education Chemistry (Bombay) 11 (2), 18-24 (1994)

További forrásművek:

- Einecke, E.: Das Gallium, Leipzig 1937
- Greber, J. F.: Gallium. In: Habashi F. (ed.): Handbook of Extractive Metallurgy, vol. 3, Wiley-VCH, Heidelberg, Germany 1997, pp. 1523-1530.
- Sheka, I. A. – Clans, I.S. – Mityureva, T.T.: The Chemistry of Gallium, Elsevier, Amsterdam 1966
- Zelikman, A.N. – Krein, O.E. – Samsonov, G.V.: Metallurgy of Rare Metals, pp. 336-349, translated from Russian by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1966. Available from US Department of Commerce, Springfield, Virginia

SZARKA JÁNOS

A magyar magnéziumkohászat múltja és jövője

Áttekintjük a hazai magnéziumkohászat eddigi történetét, közöljük a cikkíró által tudott úttörők nevét, az elért eredményeket, és a 2. rész végén javaslatot teszünk a Tamás István kohómérnök által feltalált HUNMAG eljárás alapján alapuló magyar magnéziumkohászat megvalósítására.

Szarka János okl. technológus kohómérnök középiskolai tanulmányait a diósgyőri Kohászati Technikum öntőtagozatán fejezte be. 1959-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen szerezte meg oklevelét. Ezután az Aluterv technológus tervezőjeként a Kőbányai Könnyűfémű fóliaüzemének, majd 1962-től a Székesfehérvári Könnyűfémű szélesszalag hengerművének tervezésében vett részt. Az Alutervtől történt nyugdíjazásáig a magyar alumíniumipar szinte valamennyi félgyártmány üzemének tervezésében részt vett. Ezen kívül aktívan közreműködött a hazai magnéziumkohászat újraindítását célzó tervek készítésében is. Számos szakvélemény és tervtanulmány készítésében működött közre. A jelen cikkben újra szót emel a magyar magnéziumkohászat megindítása érdekében.

A kézirat 2007 júniusában érkezett szerkesztőségünkhöz.

1. A magnézium előfordulása és előállítása

A magnézium a földkéregben található elemek közül ld. [2] 38% részesedéssel a 8. helyen áll, de színállapotban azért nem fordul elő, mert vegyületei igen stabilak. A természetben előforduló vegyületei a szilikátok (olivin, serpentin, zsírko, foszterit, azbeszt, tajték, talkum), karbonátok (dolomit, magnezit), szulfátok (kieserit, kainit, langbeinit, schönit, sztrakanit, eponit) és kloridok (bischofit, karnallit, brucit, tengervízben oldott kloridok).

A magnéziumot 1775-ben Joseph Black fedezte fel. Vegyületeiből először 1808-ban Humphrey Davy különítette el, de tömör formában csak 1831-ben Antoine Alexandre Brutus Bussy tudta

előállítani olvadt magnézium-klorid elektrolízisével. Máig ez képezi az elektrolitikus magnéziumgyártás alapját. Az eljárás hátránya, hogy veszélyes klórgáz és súlyosan mérgező dioxin keletkezik.

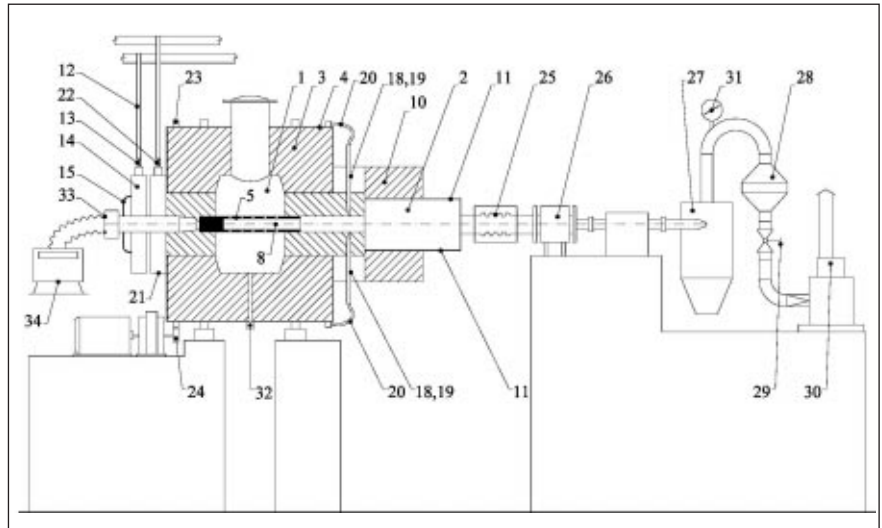
Egyszerűbbek a termikus (pirometalurgiai) eljárások, amelyek magnézium-oxidból redukálóanyaggal magas hőmérsékleten vákuumban nyerik ki a magnéziumot. A magnézium csak olyan elemekkel sziníthető, melyek oxidjai magas hőmérsékleten és vákuumban stabilabbak a magnézium-oxidnál. Ilyen anyagok a C, Si, Al, Ca, karbidjaik (SiC, Al₄C₃, CaC) és ötvözeteik (SiAl, SiCa, SiAlCa, FeSi). A termikus eljárásokat a redukáló anyagról neveztek el karbo-, karbido- és szilikotermikus eljárásnak.

A karbotermikus eljárásban az égetett dolomit és karbon keverékét őrlés és brikettelés után 1800–2000 °C hőmérsékleten szinítik, és az igen gyors hűtés miatt keletkező magnéziumpor rendkívül piroforos, ezért veszélyes.

A 75–80% Si-tartalmú ferroszilíciumot alkalmazó szilikotermikus eljárás alapul az I. G. Farbenindustrie által 1935-ben kifejlesztett (a [25] forrásból kimaradt) szakaszos üzemű, belső villamos ellenállás fűtésű, forgódobos vákuumkemencében és a Lloyd Montgomery PIDGEON által 1942-ben kipróbált külső fűtésű vákuumretortában történő magnézium szinítés. Ezeknél 1 t Mg előállításához 9,3 t alapanyag szükséges (ebből 8,2 t dolomit és 1,1 t FeSi).

A II. világháború után valósították meg a MAGNETHERM folyamatos magnéziumgyártási eljárást, amelynél 1 t magnézium előállításához lényegesen több, 16,7 t alapanyag (ebből 14,0 t dolomit, 1,5 t bauxit és 1,2 t FeSi) és magasabb, 1600 °C hőmérséklet szükséges.

Létezik még a [25] forrásban szintén nem említett, hajdan volt Vasipari Kutató Intézetben (Vaskut) Tamás István, magyar kohómérnök által feltalált és HUNMAG eljárásnak nevezett merőben új, salakmentes magnézium- (és kalcium-) gyártási eljárás is ([22],[23],[24]), amely alapját képezhetné a hazai magnéziumiparnak. Eszerint 1 t magnéziumtömb előállításához csak 10,1 t alapanyag (ebből 9,0 t nyers dolomit és 1,1 t FeAlCa(Fe) redukáló anyag) és alacsonyabb, max. 1500 °C hőmérséklet szükséges. A szinítés végterméke a hasznos Mg (vagy Ca) és portlandcement klinker. Környezetszennyező csak a dolomitégetéskor felszabaduló CO₂ és az



■ 1. ábra. Az első hazai kísérleti berendezés általános vázlata

egyéb, rendkívül kis mennyiségű illóanyagok.

A [25] forrás szerint ~22 évvel ezelőtt az egyes eljárások részesedése: olvadékelektrolízis 70%, MAGNETHERM-eljárás 20%, egyéb eljárások 10%. Ha ezek az arányok 2003-ban is fennálltak, akkor a három eljárással termelt magnézium mennyisége kerekén 350, 100 és 50, összesen 500 kt volt.

2. A hazai magnéziumgyártás vázlatos története

A magyar kormány rendeletére 1937-ben a M. Kir. József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékén végzett vizsgálatok bizonyították, hogy Magyarország világviszonylatban is jelentős mennyiségű és magnéziumgyártáshoz kiváló minőségű dolomit-vagyonnal rendelkezik.

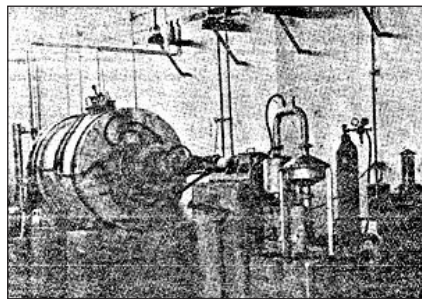
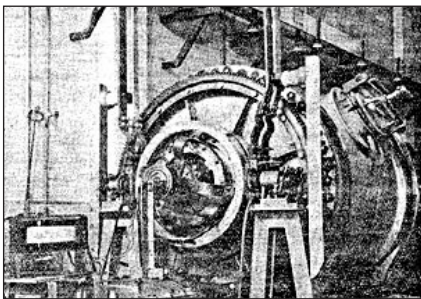
A magyar kormány először 1941-ben *Jakóby László* olaszországi (bolzanói) tanulmányútja után határozta el acélretortás, szilikotermikus eljárás alapuló magnéziumkohászat megteremtését ajkai telephellyel. Ezt a tervet elvetették, és 1944-ben Diósgyőrről állítottak fel 5 db I. G. Farbenindustrie-féle belső villamos ellenállás fűtésű, forgódobos vákuumkemencét. Ez az üzem a [26] forrás szerint a háborúban megsemmisült, a [21] forrás szerint viszont a háború után leszerelték, és jóvátételi szerződés értelmében a Szovjetunióba szállították.

A háború után az 1949-ben alapított Fémipari Kutató Intézetben (Fémkut) nagylaboratóriumi, belső villamos ellen-

állás fűtésű, forgódobos vákuumkemencében kezdték el a magnéziumgyártási kísérleteket.

E kísérletek eredményei is hozzájárultak ahhoz, hogy – 10 évvel a diósgyőri beruházást követően – 1954-ben a KGM (Kohó- és Gépipari Minisztérium) javaslatára elhatározták az I. G. Farbenindustrie-féle belső villamos ellenállás fűtésű, forgódobos és a Pidgeon-rendszerű kanadai retortás magnézium szinítő kemencén alapuló üzem létesítését, hogy közülük az üzemi kísérletek során esetleg szükségessé váló módosítások végrehajtása után az egyik a nagykapacitású magnéziumkohó termelőegysége lehessen.

A kiviteli terveket az 1955. január 1. hatállyal alapított Aluterv (Alumíniumipari Tervező Intézet) készítette. Az intézet a Maszobal Rt., a DTI (Dunavölgyi Tervező Iroda), a Délkelet-európai Iparfejlesztő Rt., a Köfém (Könnyűfémipari Beruházó Iroda), a Köterv (Könnyűfémipari Tervező Iroda) és az Iparterv 9. sz. Iroda összevonásával jött létre (kezdő létszám 87 fő, ebből műszaki 76 fő). A terveket készítették: *Láng Jenő* létesítményi főmérnök, *Baumann* (későbbi neve: *Bánáti*) *Sándor* és *Laboda Sándor* technológustervező, *Szulyovszky Andor* és *Jakóby László* szakértő, *Blahó István*, *Fekete István*, *Rumpler Nándor*, *Tárnok Sándor* és *Vajay László* gépésztervező, *Obrecán László* építésztervező, *Tóth László* villamostervező, *Varga László* statikustervező és *Fülöp Elemér*, a kísérleti üzem vezetője (az alapítólevél értelmében az ALUTERV jogosult volt alumíniumötvöző anyagokat előállító üzemek tervezésére is).



■ 2. és 3. ábra. A berendezés árambevezető és kondenzátor felőli képe

A kivitelezést mintegy 50 hazai vállalat igen feszített ütemben végezte. Az üzembe helyezés 1958-ban történt, és 1959-ben már 100 t magnéziumot állítottak elő. Sajnos az igen feszes termelési terv miatt az eredetileg előirányzott kísérletsorozat nyugodt végrehajtására soha sem kerülhetett sor. A [19], [20], [21] és [26] irodalomból is kiderül, hogy a problémákat az akkori résztvevők nem egyformán ítélték meg. Az apci üzemmel a 4. fejezetben foglalkozunk részletesebben.

Ezt a kísérleti üzemet felsőbb szervek utasítására 1964 áprilisában leállították, még az évben felszámolták, és helyén alumínium kokilla öntödét létesítettek.

Ezután, a már megszerzett ismeretek birtokában (a Vaskutban) folytatták a szilikotermikus eljárás továbbfejlesztésére irányuló kísérleteket. A kísérletek eredményeképpen Tamás István kohómérnök, az apci kísérleti üzem volt dolgozója feltalálta és HUNMAG eljárásnak nevezte el a merőben új és egyedülálló salakmentes, magnézium és cementklinker, illetve kalcium és cementklinker gyártási eljárást [22].

A HUNMAG eljárás még gazdaságosabbá tétele céljából folytatott kutatások eredményeképpen 1982-ben megszületett a – legnagyobb költségtényezőt képező – Si-alapú komplex ötvözetek előállítására alkalmas eljárás is, amellyel a HUNMAG eljáráshoz szükséges ideális SiAlCa(Fe) komplex ötvözet a hazai alacsony fűtőértékű szenek részbeni hasznosításával gazdaságosan állítható elő.

Fontos tudni, és emlékezetbe vésni, hogy minden szilikotermikus magnéziumgyártási eljárásban a nyers dolomit égetésekor felszabaduló üvegházhatást fokozó CO₂ tömege közel egyenlő a magnézium színítése után a kemence redukciós munkaterében visszamaradó anyag tömegével. Minthogy a HUNMAG eljárás szerint a kemencében maradó anyag hasznos cementklinker, a többi eljárásban pedig

haszontalan salak, ezért a környezetkárosító anyagok mennyisége minden más fémtermikus magnéziumgyártási eljárásban kereken kétszer annyi, mint a HUNMAG eljárásban. Ezért jogos megállapítás, hogy a HUNMAG eljárás világszenzáció, ezért, vagy ennek ellenére ez sem kerülhetett el balsorsát!

A HUNMAG eljárás legolcsóbban a meglévő cementgyárakban valósítható meg úgy, hogy valamely égetőkemencét nyers dolomit égetésére állítják át. Az égetett dolomit ~24%-a a kinyerhető magnézium, amely jól és sokféle terméké dolgozható fel ([1], [7], [8], [10], [11], [13], [25] stb.).

A magyar magnéziumkohászat feltámasztására 1987. február 2-án csillant fel a remény, amikor a Metalloglobus Fémipari és Termelőeszköz Kereskedelmi Vállalat (Budapest, XIII. Jász u. 5.) a Palotai Építőipari Szövetkezet (Budapest, VII. Csányi u. 4.) keretében működő, Bánáti Sándor gépészmérnök vezette KOMPLEX Szakcsoporttól ajánlatot kért a Cement és Mészmű Vállalat Tatabányai Gyára telephelyén létesítendő 21 kt kapacitású magnéziumkohó döntéselőkészítő tanulmányának készítésére. A tanulmányt 3 hónap alatt Tamás István feltaláló, Bánáti Sándor irodavezető, Nagy József létesítményi főmérnök, Szulyovszky Andor szakértő, Szarka János technológustervező, Balog Ferenc gépésztervező, Tóth László villamos-tervező, Vedres László építésztervező és Porkoláb Zsuzsanna közgazdász készítette.

A terv 21 kt magnéziumtömb hazai alapanyagból magyar szabadalommal védett eljárással, de külföldi részvétellel vámszabadterületen létesítendő gyárban történő előállítására vonatkozott. A fejlesztési költség 3,5 (mai áron 9-10) Mrd Ft, az értékesítési nyereség 1 Mrd Ft, a devizahozam 20,5 M USD, a megtérülési idő 3,5 év lett volna, ha a gyár a volt Tatabányai Cementgyár telephelyén 3,75 év alatt

1 ütemben valósult volna meg (zöldmészön a fejlesztési költség 0,9-1,1 – mai áron 2-3 – Mrd Ft-tal több lett volna). Tekintve, hogy az importgép költség elérte a 10%-ot, a belföldi magnéziumtömb-felhasználás pedig nem haladta meg a 10%-ot, ezért mind a finanszírozásban, mind az értékesítésben külföldi partner részvételére lett volna szükség [23].

A 21 kt kapacitású Tatabányai Magnéziumkohó 21 db 1000 t/év kapacitású forgódobos kemencéből állt volna. Ez indokolta, hogy az 1. ütemben csak 3 kemencéből álló üzem épüljön, és ha ez beválik, csak utána épüljön ki egy vagy két ütemben a teljes kapacitás.

Minthogy Magyarországon 1964-ben megszüntették a magnéziumgyártást, a HUNMAG eljárást csak laboratóriumi méretekben lehetett kipróbálni. Ezért szükség volt egy, a korábbiak minden hibájától mentes, új kísérleti kemencére, amelyet Tiszavárkonyban, a Szintetikus Magnetit Kísérleti Félüzem területén terveztek felállítani, mert ott dolomitégetésre is alkalmas (magnezitégető) kemence volt.

A cégalapítások burjánzásakor gyorsan változott a HUNMAG-eljárás megvalósításában közreműködők neve is. Az 1987-ben alakult MESTER-GLOBUS Termelészervező és Kereskedelmi Leányvállalat (Budapest, XII. Szilágyi Erzsébet fasor 24.) és az ÖSSZHANG Általános Tervező és Kivitelező Kisszövetkezet (Budapest, VII. Csányi u. 4.) között 1987. szeptember 3-án létrejött szerződés értelmében év végére (4 hónap alatt) készült el az új színítő kemence előterve, és zsúrízése után a kivitelitervdokumentációja. A tervet Tamás István feltaláló, Szarka János technológus-tervező, Herényi Károly, Hazlach Lajos, Jakkal János, Kacz István, Makádi István és Schrammel Jánosné gépésztervező, Fehér Lajos, Hegedűs György és Pete András villamostervező, Temesszentandrás András falazattervező, Kardos László és Kardos Lászlóné építésztervező készítette.

A színítő kemence gépészeti terveinek egyeztetése a kivitelező Mátraaljai Szénbányák Petőfibányai Gépüzemében 1988. január 22-én volt, de a kivitelezésre már nem került sor.

3. Az első hazai magnéziumkohó

A háború után az 1949-ben alapított Fémipari Kutató Intézetben (Fémkut) hazai dolomitból szilikotermikus eljárással az 1.

ábrán vázolt és a 2. és 3. ábrán látható forgódobos, belső villamos fűtésű vákuumkemencével végezték a magnéziumgyártási kísérleteket.

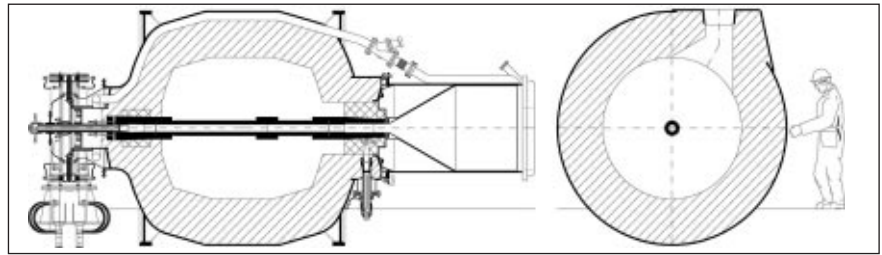
A berendezést Szulyovszky Andor – Czákó Károly: „A forgódobos, kísérleti magnéziumszinítő kemence” c. leírás alapján vázlatosan ismertetjük.

A kemence munkatere (1) redukciós és (2) kondenzációs térből állt. A redukciós tér mérete 500×200 mm, amit (3) magnetit, samott, termalit bélés és (4) acélköpeny burkolt. A kemence fűtése az (5) műszén (grafit) elektródával történt, amelyet csúszós illesztéssel fogtak be a (6) és (7) elektródafejbe. A fűtőelektróda (8) csőszerű részén sugárirányú furatok voltak, melyeken át a redukciós térben fel szabaduló magnéziumgőz a kondenzációs térbe áramlott. A kemencetestre, oldhatóan szerelt (9) kondenzátor egyszerű acélhenger, melynek a redukciós tér felé eső (10) része hőszigetelt, ellenkező vége szabadon hűlt. A (9) kondenzátorba a (11) acélhenger illeszkedett, amely a benne lecsapódott magnéziumkristályokkal együtt eltávolítható volt.

Szabályozható transzformátor hiányában a 15 és 30 kW teljesítményű, párhuzamosan kapcsolt motordinamó szolgáltatva fűtőáramot a (12) sínekről rúgóval rászorított (13) szénbronz kefék vezették a kemencetesttől elszigetelt (14) áramvezető gyűrűre, erről pedig a (15) flexibilisekkel a (16) vízűtésű áramvezető csőre, amely a (17) hőálló acélkúppal csatlakozott az (6, 7) elektródafejbe. Az (5) elektródán áthaladó áramot az (7) elektródafejéből a (18) hőálló acélkúp, a (19) vízűtésű rézcső és a (20) rézkábel vezette a kemencetestre, erről a hozzá csatlakozó (21) áramvezető gyűrűre. Az áramkör a (22) szénbronz keféken keresztül záródott.

A kemence irányváltó forgatását motorhajtóművel, a (23) és (24) fogaskerékpárral oldották meg. A két futógyűrűvel négy szabadonfutó görgőre támaszkodó kemence 3,5 percenként fordult egyet.

A (25) vákuumvezeték a kondenzátor végébe csatlakozott. A forgó kemence és az álló vákuumszivattyú között az összeköttetést az (26) olajzáros tömszelencére valósították meg. Hasonló volt a hűtővíz be- és elvezetés megoldása is. Az adagolás után „vákuumbiztosan” lezárt kemencéből evakuáláskor elragadott durvább részecskéket a (27) ciklon, a finomabbakat a (28) fémgyűrűs porszűrő választotta le.



■ 4. ábra. Az apci forgódobos kemence metszete (vákuumrendszer, adagolótartály, záródugó és hajtási rendszer stb. nélkül)

A kemencét az (29) olajzáros csappal zárták el a 175 m³/h teljesítményű, 2,66 Pa végnyomású (30) vákuumszivattyútól.

A vákuumot a (31) nyújtott skálás higanyos manométer mérte. A skálaosztás 1-20 torr (133-2666 Pa) között 0,1 torr (13,3 Pa) volt.

A mért hőmérsékletet a (32) Pt-PtRh hőelem két sarkáról a (33) rézgyűrűbe, innen pedig a (34) műszerbe vezették.

A kísérleti kemence üzemmenete a következő volt:

A szokásos összetételű 600 °C-ra melegített briketteket az 1100-1200 °C-ra hevített redukciós munkatérbe adagolták (a színítés hőmérsékletét az határozza meg, hogy 1 bar nyomáson a magnézium forráspontja 1107 °C, a kristályosítást pedig az, hogy dermedéspontja 650 °C). Egy adag tömege 30-35 kg volt. Az adagolónyílás lezárása után a nyomás 1-2 perc alatt 2,66 kPa-ra csökkent, további 15-25 perc múlva – a brikett nedvesség- és gáztartalmától függően – elérte a 67-333 Pa színítési nyomást. A kísérletek során a kondenzátor hőmérséklete 450-500 °C, a színítés időtartama 1200 °C redukciós hőmérsékleten 3,5-4,0 h volt. Ezután a kemencét leállították, adagolónyílását kinyitották, és ingaszerű mozgatással gravitációsan kiürítették. A salak túlnyomórészt eredeti alakú brikett volt, kis része porlódott. Ürités után a kemencét adagoló állásba forgatták, és a folyamatot ciklikusan ismételték. Az ürités és újradagolás időtartama 7-14 perc volt.

Három egymást követő adag színítése után a 12-13 kg magnéziumkristállyal megtelt 0 210×250 mm-es, 8,66 liter űrtartalmú kondenzátort eltávolították, és üressel cserélték ki. A kondenzátorcseré és adagolás időtartama 30-40 perc volt.

Adagolás és kondenzátorcseré alkalomával a levegő bejutását argongáz árammal akadályozták meg. A kemence villamos teljesítménye a hőegyensúly beállta után 16-19 kW, a fűtőáram feszültsége 9-

14 V, áramerőssége 1,7-2,0 kA volt.

A kísérletekből megállapították, hogy:

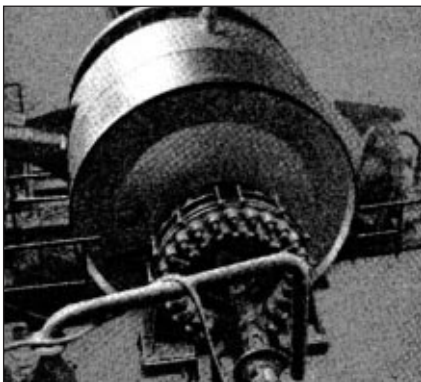
- A mellékidő a termelésidő 5%-ánál rövidebb.
- A villamos energiafogyasztás min. 15, átl. 18 kWh/kg.
- A termelt magnézium tisztasági foka 98,6-99,5%.
- Az adag magnéziumtartalmára vonatkozó kihozatal max. 90, átl. 78%.
- A kondenzátorban képződő kristályok tagoltsága a nyomás és hőmérséklet függvényében változott (a megfigyelések nagyrészt alátámasztották Betchermann, Pidgeon és Straumanis korábbi megfigyeléseit).
- A szénelektróda néhány üzemóra alatt grafitosodott, ezért ellenállása 27-ről 17 Ω/mm²/m-re csökkent.

4. Az első kísérleti magnéziumgyár (Apc, Heves megye) üzemi tapasztalatai

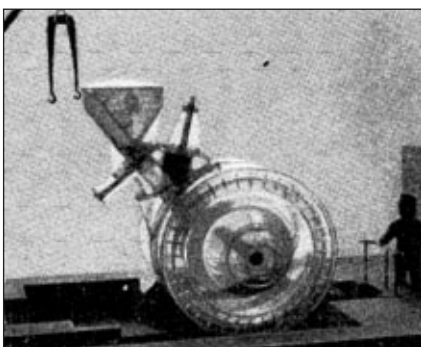
Az 1955-ben alapított Aluterv tervezőinek a szűkre szabott beruházási keretek miatt az anyagmozgatás, rakodás, szállítás és anyagelőkészítés gépesítésének rovására, elsősorban a kétféle színítőkemence üzembiztos szerkezeti megoldásaira kellett nagy gondot fordítani. Ezért az 1958-ban üzembe helyezett üzem a primitív kiszolgálás jellemezte, és az üzemeltetés minden tekintetben magán viselte az adott korra jellemző jegyeket [21]. A továbbiakban röviden ismertetjük a fontosabb üzemeltetési tapasztalatokat.

4.1. Az anyagelőkészítés tapasztalatai

- Az eredeti terv szerint előírták, hogy a dolomit szemcsék élhossza 30 mm-nél rövidebb legyen. Ezt a pilisvörösvári bánya nem tartotta be, mert 100-150 mm élhosszúságú darabok is előfordultak, amelyek rendre a kalcináló kemence, tányéros adagoló és a később beépített adagolósíga üzemzavarát okozták.
- Kalcinálásra az eredetileg tervezett jobb



■ 5. ábra. Az árambevezető oldal



■ 6. ábra. A vákuum alatti adagolás és ürités makettje.

hatásfokú magas nyomású olajégő helyett alacsony nyomásút használtak, ezért a fajlagos olajfogyasztás a tervezett 75 kg/h helyett 100-110 kg/h lett.

- A kalcináló kemencéből távozó anyag hűtésére az eredetileg tervezett hűtődob nem vált be, ezért vízhűtésű csigát terveztek és gyártottak, de nem szerelték be.
- Az 1961. évi technológia szerint a ferroszilíciumot a dolomittal darabos alakban keverték össze, majd angol gyártmányú rudas malomban őrölték. Az őrleményben a ferroszilícium részaránya $\pm 5\%$ -kal ingadozott.
- A kísérleti üzem legszűkebb keresztmetszete a brikettezés volt. A max. 100 MPa fajlagos nyomású, angol brikettprés jól ellátta feladatát, de a brikettek keménysége nem volt kielégítő. A javasolt második, 150 MPa nyomású brikettprést azonban nem szerezték be.
- Az eredeti technológiai terv szerint a briketteket 800-900 °C-on kellett volna szárítani – a kalcinálás után felvett nedvesség és gázok eltávolítása céljából –, de a valóságban a brikettek a vörös izzást sem érték el. Már akkor ismertté vált irodalmi adatok szerint a brikettekben 600 °C felett magnéziumszilicid képződik, amelytől a brikett keménye-

dik, de a folyamat csak 1000 °C hőmérsékleten ér el kielégítő sebességet. Heyles lett volna 1000 °C felett keményíteni a brikettet, de erre nem került sor.

- A bödönökben szárított (keményített) briketteket – hűlés után – a retortás kemence számára papírsákba, a forgódobos kemence részére adagoló tartályba ürítették.

4.2. Az apci retortás kemencével szerzett tapasztalatok

A kemencét 1958 őszén helyezték üzembe, és 1961 júniusában retortánként napi 28-30 kg, 4 retortában 110-120 kg magnéziumkristályt termeltek. Ha csak napi 100 kg kristálytermelést számítunk, akkor ez havonta 3 t, 10 hónap produktív id. alatt 30 t/év adódik (90% kihozatal esetén ez 27 t/év tömbtermelésnek felel meg).

A legtöbb problémát a retorták nem kielégítő minősége okozta. A $\sim 18\%$ Ni és 26% feletti Cr-tartalmú retorták élettartama 4-120 nap között változott (a rövid élettartam oka mindig öntési hiba volt). Kipróbálták az alumíniummal beszórt, és az ún. bauxittermizált retortákat is. Ezek élettartama max. 14 nap, de költsége a CrNi-ötvözetnek csak 1/6-a volt. Végül azt tervezték, hogy a 30 mm vastag retorták külső részét 10 mm vastagságban CrNi-ötvözetből, a belső 20 mm-t közönséges acélból, centrifugális öntéssel készítik. Azt tapasztalták ugyanis, hogy a 20 mm-re vékonyodott retorták behorpadtak, ezért a kettős minőségű retorták – azonos élettartam esetén is – lényegesen olcsóbbak lettek volna.

A retortás kemence olajfogyasztása 1 kg Mg kristályra vetítve 20-22 kg, lényegesen nagyobb volt a kanadainál (ahol földgázzal tüzeltek). A retortás magnéziumkristályok beolvasztási vesztesége 20-30% volt. Az 1961 utáni üzemi adatokkal nem rendelkezünk.

4.3. Az apci forgódobos kemencével szerzett tapasztalatok

Az Apcon megépített 5., 6. és 7. ábrán látható kemence méreteiben és a vákuum alatti adagolás, ürités és kondenzátorcserre megoldásában különbözött a 3. fejezetben ismertetett nagylaboratóriumi berendezéstől.

A továbbfejlesztett megoldások lényegét a [21] irodalom részletesen ismerteti (eszerint a vákuum alatti salakozást 17, az adagolást 15 és a kondenzátor feltételét

15 műveleti elemre bontották).

A bonyolult feladat megoldása eleve magában hordozta a hibák lehetőségét, és növelte a beruházás költségét.

Az elemzések azonban azt mutatták, hogy azért érdemes a bonyolultabb megoldást választani, mert

- vákuumzárás tartály alkalmazásával a szárított-keményített adag vákuumozása a bödönökből történő betöltés után azonnal, a kemencébe adagolás előtt elvégezhető (kizárva nedvességet és nitrogént),
- folyamatosan fenntartott vákuumban történő salakozás, adagolás és kondenzátorcserre alatt csak a kemence külső felületén van hőleadás, ezért e művelet utáni pótlólagos felfűtés minimális ideig tart,
- folyamatosan fenntartott vákuumban nem következhet be az elektróda és a magnézium oxidációja, és nincs szükség védőgáz alkalmazására,
- mindezek a fajlagos energiafogyasztás csökkenését, a ciklusidő rövidülését, a termelékenységet és a gazdasági eredmény növekedését eredményezik.

Az apci forgódobos szinítőkemence jellemzői és üzemelési tapasztalatai:

- A redukciós munkatér közel gömb (ellipszoid) alakú (felszíne minimális), nettó térfogata 3,5 m³ volt. A három rétegű falazat vastagsága 600 mm, az acélköpeny 20 mm. A kondenzátor irtartalma a redukciós tér $\sim 1/5$ -e volt.
- A villamosenergia-ellátást többfokozatú, 850 kVA teljesítményű transzformátor biztosította. A kemence forgástengelyében elhelyezett műszén (grafit) elektródát egyfázisú, váltóáramú, 3 V fokozatban szabályozható és max. 80 V feszültségű sínrendszer látta el árammal.
- Az adott telephelyen a hosszú sínvezeték feszültségese 5-6 V, amely a kezdeti üzemi feszültség $\sim 25\%$ -a volt (ezt csak más telephelyen lehetett volna csökkenteni).
- Az elektródához a villamos áramot vízhűtésű rézcsővel vezették be, amely hőálló acélkúppal végződött, és ez gyakran elolvadt. A németek molibdén tűskét használtak, mert magasabb az olvadáspontja és jobb a villamosvezető-képessége. Megfelelő lett volna a wolfrám is. Ilyen tűskét porkohászati úton állítottak elő, azonban magyarországi üzem az előállítását nem vállalta. A tűske készítését ferrowolfrámból az üzem karbantartó

- műhelyében kikísérletezték. 1961-ben már vízűtésű acéltüskével is kísérleteztek. E kísérletek végeredményét – dokumentumok hiányában – nem ismerjük.
- Az eredetileg tervezett vákuum alatti adagolás nem vált be, ezért módosították a terveket, és gyártását a Dunai Vasműnél 1961. december 31. határidőre rendelték meg (hogyan ezután mi történt, nem tudjuk).
 - Ha az adagolószerkezet nem működött, az adagolás, salakozás és kondenzátorcsere alatt argon védőgázt alkalmaztak, ami megnövelte a költségeket.
 - A kondenzált magnéziumkristályok annál finomabbak, mennél nagyobb a hőmérséklet és mennél kisebb a nyomás. A redukciós térnyomás 67-333 MPa, a kondenzátor külső hőmérséklete 260-400 °C között változott.
 - Jelentősen lerontotta a magnézium minőségét az alacsony nyomással készített, nem eléggé tömör brikettek porlása miatt a kondenzátorba jutott por.
 - 1961 tavaszán egy újítási javaslat szerint olyan kondenzátor készült volna, amelyben a magnézium csak a gőz portalanítása után csapódott volna le (hogyan ezután mi történt, nem tudjuk).
 - A gyakorlatban 1200 °C belső hőmérséklet állandó értéken tartásához 100-130 kW teljesítményre volt szükség (az 5-35 °C között változó külső hőmérséklet, a hűtővíz hőmérséklete és mennyisége, valamint a villamos csatlakozások állapotától függően).
 - Az eredetileg tervezett fajlagos villamosenergia-fogyasztás magnéziumkristályra vonatkozóan 10, tömbre 15 kWh/kg volt. Ezzel szemben 1961. április elején 12 kísérleti nap átlaga 17, illetve 24 kWh/kg volt. Ennek oka a berendezések meghibásodása, szervezési és egyéb okok miatt állásidő alatt bekövetkező energiavesztés volt.

A [19] zárójelentés szerint 1961 első felében a magnéziumkristályra vonatkozó legkisebb fajlagosenergia-fogyasztás 7,6, a magnéziumtömbre 13,1 kWh/kg volt. Ezek alátámasztják, hogy az eredetileg tervezett 10 és 15 kWh/kg értékek elérhetőek lettek volna, ha biztosítják a zavarmentes üzemmenetet.

A forgódobos kemencében zavarmentes üzemelés és 3-szori adagolást követő kondenzátorcsere esetén napi átlagban 500 kg kristály állítható elő, ami megfelel havi 15, évi 150 t kristálynak, melyből a legkedvezőtlenebb esetben is min. 100 t tömb önthető. A kemencével elért eredményeket tömören tartalmazza a [26] forrás is.

A szakirodalomban „magyar kemence” néven ismertté vált berendezésnél döntő előrelépés volt a vákuum megszüntetésekor a robbanásveszélyes hidrogén helyett argon nemesgáz használata. Az üzembiztonságra jellemző, hogy a kemence 6 éves üzeme alatt robbanás vagy magnéziumbegyulladás nem fordult elő.

5. A Tiszavárkonyba 1987-ben tervezett kísérleti magnéziumkohó jellemzői

A szintén belső villamos ellenállás fűtésű forgódobos vákuumkemence felépítése a 7. ábrán látható, amelyen teljes egészében kiküszöbölték a korábbi laboratóriumi és ipari magyar kemencék hibáit:

- A villamos áramot a baloldali csúszógyűrűről nem centrálisan, hanem radiálisan (lemezkiüllőkön) vezették a fűtőelektrodába.
- A villamos áramot a fűtőelektrodától is radiális lemezkiüllőkön kifelé, majd a kemenceköpenytől elszigetelt szalagokkal vezették vissza a jobboldali csúszógyűrűhöz (a kemencetest nem került feszültség alá).
- A nagy keresztmetszetű áramvezetők kis áramsűrűsége miatt nem melegedtek, és nem olvadhattak volna meg.

– A fűtőelektroda nem perforált, hanem szilárdabb és egyenletesebb árameloszlást eredményező tömör cső, ezért egyenletesebben izmolt volna.

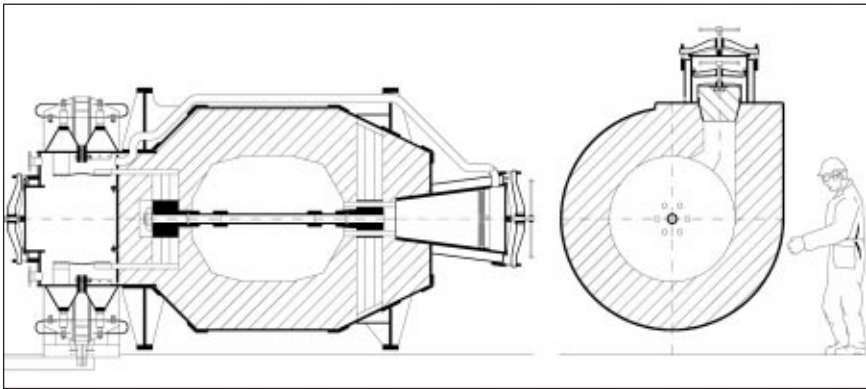
- A magnéziumgőz a redukciós munkatér végfalába tervezett furatokon távozhatt volna a kondenzációs térbe.
- Az 1,26 m³ nettó térfogatú redukciós munkatér falazatát 4 rétegűre tervezték. Belülről kifelé nagytisztaságú magnezit-, samott-, hab-samott téglák, és vákuumformázott kerámiaszálal lapokból ragasztott szigetelő réteg. Az áramvezető lemezkiüllők közötti teret az adott helyen lévő téglás minőségű max. 5 mm szemcseméretű döngölt zúzalék tölti ki.
- Pénz hiányában nem tervezték be a vákuum alatti üritést, adagolást és kondenzátorbetét cserét, ezért e műveletek alatt folyamatos argonárammal akadályoztuk volna meg a fűtőelektroda és a magnéziumkristályok oxidációját.
- A tiszavárkonyi kemencébe adagolható 250 kg brikettből 50 kg magnéziumkristály és 200 kg cementklinker keletkezett volna 1300-1400 °C hőmérsékleten 6 h ciklusidő alatt (dolomitgetéskor a CO₂-kibocsátás ~50 kg lett volna).
- A kondenzátor betétet max. 4 adagból kinyerhető magnéziumkristály befogadására méreteztük.
- A magnéziumkristályok téglés, indukciós kemencében tervezett olvasztására (az oxidáció megakadályozására és a magnézium tisztítására) Szolianszky-féle sőt irányoztunk el. (34% MgCl₂, 34% KCl, 24% NaCl+CaCl₂ és 8% CaF₂).
- A magnéziumolvadék tömböntését argon védőgáz alatt végezték volna.
- A kemencéből a brikettet tűzálló belésű tartályba ürítették, és hűlés után zsákkolták volna.

6. A hazai magnéziumkohászat jövője

- Kedvező feltételek között újra megkísérlelhető lenne a HUNMAG eljárás alapuló hazai magnéziumkohászat megteremtése:
- A magnéziumgyártáshoz korlátlan és megfelelő minőségű nyers dolomit rendelkezésre áll.
 - A gyártási eljárás szabadalmi leírása rendelkezésre áll (a feltaláló és / vagy jogutódja hol- és hogylétét és az eljárás bevezetésével kapcsolatos jogi hátteret tisztázni kell).
 - Az 1987-ben tervezett kísérleti kemence komplett építészeti, gépészeti, villamos és technológiai kiviteli tervdokumentációja rendelkezésre áll.
 - A kiviteli terveket aktualizálni kell, mert szabványok, gyártó cégek és gyártmá-

1. táblázat. A forgó szinítőkemence üzemi adatai

| Megnevezés | Egység | Eredeti terv legjobb érték | 1961. |
|--|--------|----------------------------|----------|
| Adagolás idő | óra | 0,25 | 0,16 |
| Vákuumelérés idő | óra | 0,25 | 0,25 |
| Színítési idő | óra | 5,35 | 8,50 |
| Salakozási idő | óra | 0,25 | 0,25 |
| Ciklusidő (3 adagoláskor) | óra | 19,05 | 22,67 |
| Fajlagos energiafogyasztás | kWh/kg | 8,25 | 8,5 |
| Magnéziumkristály kihozatal az adag magnéziumtartalmából | | 75 – 90% | |
| Beolvasztási veszteség | | | 30 – 40% |



■ **7. ábra.** Tiszavárkonyba tervezett kísérleti kemence hossz- és keresztmetszete (kezelőpódium, ürtőakna stb. nélkül)

nyok megszűntek, illetve megváltoztak.

- Teljeskörűen alkalmazni kell a korszerű tervezési módszereket, ezért új tervezőgárdát kell szervezni (a régiéek egy része meghalt, a még élők sorsa ismeretlen).
- A létesíthető magyar magnéziumkohó megvalósíthatósági tanulmánya gyorsan és szakszerűen elkészíthető (a mintául szolgáló [23] döntéselőkészítő tanulmány rendelkezésre áll).

Goromba becslés szerint együtemű, ~4 év alatt megvalósítható 10 illetve 20 kt kapacitású magnéziumkohó fejlesztési költsége 10-13 illetve 15-20 Mrd Ft, a megtérülési idő ~4 év lenne. Az összes létszám ~450 illetve 750 fő, tehát egy munkahely létrehozása 16-22 M Ft-ba kerülne. A kohó az alapanyag fogadást, égetést, szintőanyaggal keverést, őrlést, brikettezést, szintítést, magnéziumolvasztást, -tömböntést, valamint a magnéziumtömbök és portlandcement klinker értékesítését végezné.

A hazai magnéziumkohászat létjogosultságát alátámasztják a [25] forrás 3. táblázatában közölt magnéziumkülkereskedelmi adatok is. Eszerint 2000-ben 4870, 2001-ben 6980, 2002-ben 6667 t magnéziumot importáltunk, és ebből beföldön maradt 2322, 2472 és 2213 t, a különbözet 2548, 4508 és 4454 t volt az export. Ha volna saját kohónk, akkor a teljes importált mennyiséget saját termelésű magnéziummal válthatnánk ki.

Az egyes szektorok részesedése a Mg fogyasztásban 1986 és 2002 között a következő [23,25]:

- az alumíniumötvözetek aránya 46,7%-ról 40%-ra csökkent,
- a magnéziumötvözetek aránya 26,7%-ról 35%-ra nőtt,
- az acélipari ötvözetek aránya 9,5%-ról 16%-ra nőtt
- az egyéb célú felhasználás részesedése

17,1%-ról 9%-ra csökkent.

A hazai magnéziumkohó megvalósítása csak az első lépés lenne, amelyet a magnéziumtömbök széleskörű feldolgozása és felhasználása (öntvények és képlékenyen alakított gyártmányok, Ti, V, Zr, B és U előállítás stb.) követne.

Ezáltal hazánk gyarapodását szolgáló új iparág és sok ember boldogulását biztosító munkahely jöhetne létre.

Irodalom:

- [1] *Jakóby László:* A magnézium és ötvözetekének olvasztása és öntése. BKL 81. évf. p303-315. 1948.
- [2] *Jakóby László:* A magnéziumkohászat nyersanyagai. BKL, p125-131 és p154-159. 1949.
- [3] *Jakóby László:* A korszerű magnéziumkohászat. BKL, p63-69. 1950.
- [4] *Jakóby László:* Újabb adatok a magnézium szilikotermikus eljárásához. BKL, p296. 1950.
- [5] *Szmolka Lajos:* A hazai dolomitok kalcinálásáról. BKL, p293-296. 1950.
- [6] *Emőd Gyula – Vajk Péter:* A cirkon szerepe a magnéziumötvözetekben. BKL, p255-257. 1951.
- [7] *Jakóby László:* A magnézium és ötvözetekének kovácsolása. BKL p133 143. 1951.
- [8] *Jakóby László:* Magnéziumolvadékok finomítása. BKL p145-149. 1951.
- [9] Szulyovszky Andor: Magnézium előállítása dolomitból elektrolitikus és termikus úton. BKL p42-44. 1951.
- [10] *Jakóby László – Emőd Gyula:* A magnézium és ötvözetekének hengerlése. BKL p145-151. 1952.
- [11] *Emőd Gyula:* Folyadék és gázálló magnéziumöntvény készítés zömítéssel.

BKL p143-144. 1953.

- [12] *Szulyovszky Andor:* A magnéziumszintítés termodinamikájának gyakorlati vonatkozásai. KL. P185-196. 1953.
- [13] *Emőd Gyula:* Magnéziumötvözetű öntvények hőkezelése. BKL p76-85. 1954.
- [14] Szulyovszky Andor: Megjegyzések a szilikotermikus magnéziumredukció salakkérdéseiről. BKL p326-331. 1954.
- [15] *Emőd Gyula – Németh Pál:* Ammóniumfluorid szerepe a magnéziumöntészetben. KL p127-131. 1955.
- [16] *Gedeon Tihámér:* A dolomit kristályszerkezete és színíthetősége közötti összefüggés. KL p536 1955.
- [17] *Szulyovszky Andor – Czákó Károly:* Újabb adatok a szilikotermikus magnéziumkohászat ércelőkészítéséhez. KL p454-457. 1955.
- [18] *Jakóby László:* Az ércelőkészítés szerepe a magnéziumkohászatban. KL p539-543. 1955.
- [19] *Szulyovszky Andor:* Kísérleti magnéziumkohó. Zárójelentés. 1961. 06. 05. Kézirat.
- [20] *Szulyovszky Andor – Baumann Sándor:* Szilikotermikus magnéziumszintítő kemencék és üzemük. KL 1964. 2. szám
- [21] *Baumann Sándor:* Kísérleti magnéziumkohó tervezése. ALUTERV jubileumi évkönyv 1955-1965. p94-98. 1965.
- [22] *Tamás István feltaláló:* Eljárás magnézium és cementklinker vagy kalcium és cementklinker metallotermikus előállítására. 183481 lajstromszámú szabadalmi leírás, bejelentve: 1977. 06. 09., szabadalmas: Vasipari Kutató Intézet, Budapest.
- [23] *KOMPLEX Szakcsoport Tervező Irodája:* 21 kt kapacitású magnéziumkohó létesítése. Döntés előkészítő tanulmány I – II. (megrendelő: Metalloglobus) Budapest, 1987. május.
- [24] Tiszavárkonyi Magnéziumgyártó pilot üzem kiviteli tervei (cikliró tervtárában). Megrendelő: MESTER-GLOBUS Termelés-szervező és Kereskedelmi Leányvállalat, 1987.
- [25] *Dobránszky János, Bernáth Andrea, Orbulov Imre:* Magnézium, amely könnyű, de fontosnak találtatt. BKL Fémkohászat 138. évf. 5. szám p35-40, 6. szám p33-40. 2005.
- [26] *Bódy Dezső:* Volt egyszer egy magyar magnéziumkohó. BKL Fémkohászat 139. évf. 2. szám p30-32. 2006.