

HORVÁTH JÁNOS

Az alumíniumelektrolízis technológiai fejlesztésének áttekintése és a globalizált alumíniumtermelés*

Jelen összefoglalónkban beszámolunk a legfontosabb fejlesztési eredményekről, melyek a döntő áttörést jelentettek az alumíniumelektrolízis technológiák fejlesztésében, és összefoglaljuk azokat a fő tudományos eredményeket, amelyek lehetővé tették a konstrukciós és az üzemviteli fejlesztéseket. Ezek a fejlesztések napjainkra már megközelítették a Hall-Héroult-eljárás elvi határait. A cikk tárgyalja a Söderberg és a blokkánodos kádak konstrukciós fejlesztéseit. Bemutatja a Söderberg-konstrukció fejlesztésének korlátait.

Előzmény

125 évvel ezelőtt Hall és Héroult találmánya tette lehetővé az alumínium ipari előállítását, amely eljárásnak a mai napig nincs versenytársa. 2011 februárjában ünnepelték az alumíniumtermelők és -fejlesztők a Hall-Héroult-eljárás 125. évfordulóját az USA-ban. Ez a jubileum alkalmat ad arra, hogy tisztelegjünk e két kiválóság előtt, és alkalmat ad arra is, hogy áttekintsük a legfontosabb fejlesztéseket, amelyek biztosították a jelenleg több mint 40 millió tonna évi alumíniumtermelést. Az eljárás alapvetően változatlan, de a technológiák: az üzemvitel és a cellakonstrukció nagy változatosságot mutatnak. Különbözik az alkalmazott áramerősség, az elektrolizáló cellák anódszerkezete (Söderberg, blokkánód), a cellák elhelyezése a kohócsarnokban (hossz- vagy keresztirányban). Kü-

lönbözik az anódvezérsínhez történő áram-hozzávezetés módja: Söderberg-konstrukciók esetén (oldal- és felsőtüskés) végfelszállós, blokkánodos kádak esetében végfelszállós vagy oldalfelszállós konstrukciók léteznek, de különbözőek a kéregtörési és timföld adagolási módja is.

1. Söderberg-technológia

Az első nagy áttörést a technológia fejlesztésében a svéd származású, de Norvégiában élő *Carl Wilhelm Söderberg* szabadalma jelentette 1918-ban. Szabadalma az „önsülő anód” elvén alapul, amely szerint anódmasszát (koks és 25-30% szurok) adagolnak a működő kád anódjának tetejére, és magán a kádon megy végbe az égetés folyamata, és kialakul a szénanód.

Ezen eljárással kisebb a beruházási költség, és megtakarítható az anó-

dok gyártási (égetési és szerelési) költsége, amely közelítőleg 400 kWh/t Al villamosenergia-megtakarítást eredményez. Az első Söderberg-kádak 1923-ban épültek meg. A Söderberg-technológia leginkább Európában terjedt el, az amerikai kontinensen csak a kanadai termelésre volt hatással. Ez egyben azt is jelentette, hogy a Söderberg-technológiát az 1950-es években a világ alumíniumkohóinak az 50%-a alkalmazta.

Az 1950-es években a legjelentősebb fejlesztést a Söderberg-technológiában a francia Pechiney cég érte el. Felismerték, hogy az áramerősség növelés korlátja az áramvezető sínek mágneses hatása a 100 kA-es áramerősség tartományban. Ez negatívan hat az áramhatásfokra és a villamos energia felhasználására. Emiatt – még tapasztalati úton – kétoldali áram-hozzávezetést alkalmaztak. A rövid oldalon csatlakozó (end-to-end) kádelrendezésre bevezették az anódszabályozást, a timföldadagolásra pedig az adott időben történő kezelést, (szériakezelést) és az anódeffekt előrejelzésére történő kezelést. Csökkentették az elektrolit molarányát. A közvetlen elektrolízisre fordított munkaóra kiszolgáló műveletek gépesítésével 4,5 munkaóra/t Al értékre csökkent.

Dr. Horváth János a Veszprémi Vegyipari Egyetemen szerzett vegyész-mérnöki oklevelet 1971-ben, majd 1975-ben műszaki doktori címet. Az Aluterv-FKI-ban tudományos munkatárs, majd 1981-től 1992-ig az Alumíniumkohászati Osztály elektrolízis laboratóriumának vezetője. 1992–1996 között az Alumíniumkohászati Kutatási Osztály vezetője. 1996-tól 2005-ig a Kaiser Engineering, majd a Hatch Kaiser Ltd. elektrolízis szakértője. 2005-től az Alumínium 2000 Kft. kohászati konzulense. UNIDO szakértő. Több alkalommal vendégprofesszor a University of Quebec Egyetemen. 1986 óta tagja az OMBKE-nek. Az MTA Metallurgiai Tudományos Bizottságának meghívott tagja. Kutatási területe: alumíniumelektrolízis, olvadékok elektrokémiája.

*A cikk az alumíniumelektrolízis technológiája fejlődésének átfogó bemutatása, és kapcsolódik a 2013. június 13-án Csepelen, az alumíniumkohászat emlékére tartott rendezvényhez, valamint emléktábla-avatáshoz. A cikk lényeges elemei elhangzottak az MTA Metallurgiai Tudományos Bizottságának és a Veszprémi Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottságának együttes ülésén, a Veszprémi Akadémiai Bizottság Székházában, 2012 szeptemberében.



■ 1. ábra. Szilárd anódtető a benz(a)pirén kohócsarnoki légtérbe kerülésének csökkentésére

Sikeres Söderberg-technológiát fejlesztettek ki a Saint Jean de Maurienne-i kísérleti üzemben is. A kísérleti eredményekre alapozottan 100 kA-es felsőtűskés Söderberg-konstrukciójú kádák épültek meg az Auzat-i üzemben.

A további kutatási eredmények a Pechiney Nogueres-i kohójának eredményeiben realizálódtak, és az energiafelhasználás szempontjából a Söderberg-technológia legjobb eredményeit érték el az alábbi paraméterekkel [1]:

Anódméret	2,1 m x 6,5 m
Anódáram-sűrűség	0,72 A/cm ²
Energiafelhasználás	14 800 - 15 000 kWh/t Al
Áramhatásfok	88%
Anódfogyasztás	520 kg/t Al
Kriolit, AlF ₃ felhasználás	37 kg/t Al
Közvetlen munkaóra-felhasználás	4,5 munkaóra/t Al

A Nogueres-i kohóban elért eredményekre és a Pechiney technológiai sikereire alapozottan számos ország választotta új kohó létesítéséhez ezt a technológiát az 1963–1970 közötti időszakban. A legjelentősebb, megépült kohók Spanyolországban La Coruna, Aviles, Lengyelországban Konin, Braziliában Aratu, Japánban Toyama, Nagoya, Naoetsu.

A Mitsubishi Light Metal cég Naoetsu-i kohója továbbfejlesztette a Nogueres-i technológiát, és a kohó elérte a Söderberg-technológia legjobb eredményeit a 110-120 kA áramerősség tartományban: energiafelhasználás 13000 kWh/t Al, anódfelhasználás kevesebb mint 500 kg/t Al, az áramhatásfok 89–92% [2]. Ezen

élenjáró Söderberg-technológia sem tudta a versenyképességet biztosítani. Japánban; a 160 kt-nyi termelőkapacitást az 1980-as évek végére fokozatosan bezárták.

110–120 kA-nál nagyobb áramerősségen is történtek kísérletek a Söderberg-technológia hatékonyságának növelésére. A nagyobb anódméretnek miatti kialakuló hosszabb gázutak okozta turbulens mozgások, valamint az a tény, hogy nem tudták kompenzálni a megnövelt áramerősség miatti mágneses hatásokat, nem hozták az elvárt eredményeket. Mindezen kedvezőtlen hatásokat csak magasabb anód-katód távolsággal lehetett kompenzálni, amely nagyobb villamosenergia-felhasználást eredményezett. Ezen okok és korlátok miatt a nyugat-európai alumíniumkonzernek befejezték a Söderberg-technológia további fejlesztését.

A Söderberg-technológia fejlesztésében élenjáró volt a Szovjetunió, az 1980-as évekig kizárólag saját technológiájukra alapozottan építették termelőkapacitásaikat. A VAMI fejlesztő központ irkutszki kohórezslegében fejlesztették ki a 100 kA-es áramerősségű Söderberg felsőtűskés konstrukciót. Ezt a konstrukciót és a kapcsolódó üzemvitelt számos ország vette át: a VAMI irányításával épült meg a Bharat Alumíniumkohó (Korba, India), a Nag Hamady kohó (Egyiptom), Pukcsán kohó (Észak-Korea) és a Seydisehir kohó (Törökország).

Építettek Söderberg felsőtűskés kádakat 100 kA-nél magasabb áram-

erősségen is (a 150 kA-es tartományban), elsősorban olyan országokban, ahol a technológia versenyképességét az olcsóbb villamosenergia-árral tudták biztosítani. Ezek lettek a legnagyobb Söderberg-alapú alumíniumtermelők:

- A 130–150 kA-es áramerősség-tartományban Oroszország két kohója, Bratszk és a Krasznojarszk,
- Norvégiában Karmoy (Hydro Aluminium), illetve Lista és Mosjoen (Elkem) kohói, valamint
- Kanadában a Kitimat-i kohó (Alcan).

A Söderberg-technológiával működő kohókra nagy gazdasági nyomás nehezedett az egyre dráguló energia miatt. Az 1970-es évektől kezdve – társadalmi nyomás hatására – a környezetvédelem került a fejlesztések előterébe.

A fő technológiai gondot az anódmassza kötőanyagtartalmából (szurok) a légtérbe kerülő benz(a)pirén okozta. Speciális, az úgynevezett száraz anódmassza alkalmazásával csökkenteni lehetett a benz(a)pirén koncentrációját a kohócsarnok légtérben. Ezt az anódmassza-összetelt és anódtechnológiát a Sumitomo cég fejlesztette ki, és alkalmazták számos kohóban.

A kohócsarnokon belüli porkoncentráció csökkentésére homokszerű (sandy) típusú timföldet használtak, és a korábbi kéregtörés helyett a késes (gerendás) kéregtörést vezették be. Ez a kéregtörési mód nyomással, roppantással törte be a kérget és adagolta a timföldet az elektrolitba. Ezzel lényegesen csökkent a porkoncentráció a kohócsarnokban. Lényegesen csökkent továbbá az anódeffektek száma és időtartama is, javítva ezzel az energiafelhasználást.

Ezek a fejlesztések sem biztosították a Söderberg-technológiák hosszabb távú működését és versenyképességét. Amikor a piaci viszonyok kedvezőtlené váltak (a fémár csökkent), elsősorban a Söderberg-technológiával üzemelő kohók kerültek időszakos vagy végleges bezárásra. Abban a három országban, ahol olcsó villamos energia állt rendelkezésre (Norvégia, Oroszország és Kanada), azonban további erőfeszítéseket tettek a Söderberg-technológia megtartására és továbbfejlesztésére.



■ 2. ábra. Felsőtűskés Söderberg-technológia átalakítás előtt



■ 3. ábra. A blokkános technológia a felsőtűskés kohó átalakítása után

Norvégiában jelentős fejlesztéseket vezettek be a Söderberg-technológiába:

- a timföld pontadagolása és a burkolat alatti elektrolitba juttatása és
- az anódtető teljes burkolása és az anódtetőről elszívott gázok tisztítása.

A technológia az Elkem Lista kohójában jól működik, de nem alkalmazták más, Söderberg-technológiával működő kohókban [3].

Oroszországban a RUSAL cég Krasznnojarszk-i kohójában kifejlesztettek egy környezetbarát technológiát, amelynek során

- javították a gázok összegyűjtésének hatásfokát a gázharangok módosításával;
- bevezették a száraz gáztisztítási technológiát;
- pontadagolással megoldották az elektrolit timföldtartalmának szabályozását;
- kidolgoztak egy új anódmassza összetételt, az ún. alacsony kötőanyag tartalmú, „kolloid típusú” anódösszetételt és
- bevezettek új szabályozási algoritmusokat is [4].

A két élenjáró Söderberg-technológia összehasonlítását az 1. táblázat mutatja be.

Az 1. táblázatból látható, hogy a fluorid emisszióra és a benz(a)pirén tartalomra vonatkozó környezetvédelmi előírásokat sikerült teljesíteni, de a felhasznált villamosenergia-fogyasztás nagyon magas. Ezért versenyképességüket csak olcsó villamosenergia-ár mellett tudják fenntartani.

Összefoglalva: jelentős fejlesztési eredményeket sikerült elérni, de a Söderberg-technológiák versenyképessége nemzetközi összehasonlításban nem volt biztosított az egyre

1. táblázat. A Krasznnojarszk- és a Mosjoen-i kohók eredményeinek összehasonlítása

Paraméterek	Előírás Ospar*	Krasznnojarszk	Lista, Mosjoen
Áramerősség, kA		174	123
Áramhatásfok, %		91,5	91,5
Kádtermelés, kg/nap		1 320	850
Energiafelhasználás, kWh/t Al		15 500	16 900
Anódfelhasználás, kg/t Al		490	495
AlF ₃ felhasználás, kg/t Al		15–17	15
Fluorid emisszió, kg/t Al	≤ 0,6	0,6	0,5
Benz(a)pirén, kg/t Al	≤ 0,01	0,0085	0,0080

* az Oslo–Párizs egyezmény a környezetvédelmi emissziók határértékeire

dráguló energiaárak miatt. Ennek következtében Norvégiában a Hydro Alumínium a legnagyobb Söderberg-kohóját, a 120 kt/év kapacitású Karmoy-i kohót, véglegesen bezárta.

Oroszország a világ jelenlegi legnagyobb Söderberg termelője 2,7 millió tonnás évi termelési kapacitással. A RUSAL, mint a legnagyobb orosz alumíniumtermelő cég, csak hosszabb távon tervezi a régi Söderberg-kohóinak leállítását, annak ütemében, ahogy képes lesz kiépíteni az általuk fejlesztett új, nagy áramerősségű blokkános technológiára épülő kapacitásait.

Kanadában a Rio Tinto Alcan a legnagyobb kapacitású Söderberg-kohóját (Kitimat) modern blokkános technológiára alakítja át.

A Söderberg-technológiát sok kohóban blokkános technológiára alakították át. A francia Pechiney és a német VAW cégek jártak élen a blokkános technológiára való átállításban. A Pechiney technológiájával az Edea-Cameroon kohó technológiáját alakította át, amely során 20 kA áramerősség-növelést és 2500 kWh/t Al villamosenergia-felhasználás csök-

kentést értek el. Meg kell jegyezni, hogy ez a fejlesztés a sínezés teljes átalakítását jelenti.

Igazából ez a fejlesztési változat nem lett átütő sikerű, mert a beruházási költségek 2700–3200 USD/t Al értéket értek el, és a termelés növekedése nem biztosította a beruházási költségek megtérülését. Az átalakítással 25 kA-es áramerősség-növekedést, 2800 kWh/t Al energia-megtakarítást és 3 munkaóra/t Al munkaerő felhasználás csökkenést értek el. A termelők inkább választották a régi kohók leállítását és a „zöldmezős” kohóépítést.

A Söderberg-technológia, beleértve az oldaltűskés és felsőtűskés konstrukciókat is, jelenleg – Kína kivételével – nem éri el a 10%-ot a világ alumíniumtermelésében. A RUSAL a mostani modernizált Söderberg kohóját (Krasznnojarszk) 1964-ben építette [5]. Míg az 1970-es években a világ alumíniumtermelésében 40–45%-ot képviselt a Söderberg-technológia, mára csak 8%-ot ér el, és részaránya várhatóan tovább fog csökkenni.

A fenti jelentős fejlesztési eredmé-

2. táblázat. Észak-Amerika fontosabb „két-felszállós” kohói a '70-es években

Társaság	Kádtípus	Áramerősség	Sínezés	Timföldadagolás módja	Létesített kohó helye
ALCOA	P-155	155–180 kA	közbenső	pontadagolás	Badin, Grande Baie, Port Henry, Latterier, Sebree
	A-697	180 kA	közbenső	pontadagolás	Mt. Holly, New Madrid, Sao Louis
Kaiser	P-69	140–175 kA	vég	középtörés és pontadagolás	Hollyhead, Dubal, Tema, Hawesville, New Madrid, Tiwai Pont, Voerde
	P-80	180–190 kA	közbenső	pontadagolás	Chalmette, Tacoma
Reynolds	P-19	145–165 kA	vég	középtörés és pontadagolás	Hamburg, Venalum, Alcasa, Santa Cruz
	P-20	170 kA	közbenső	pontadagolás	Alcasa, Icot Abasi
	P-23	180 kA	közbenső	pontadagolás	Alcasa

nyek ellenére sem sikerült a Söderberg-technológia alkalmazásával az elektrolízissel szemben támasztott elvárásokat teljesíteni: a technológia nem tudta biztosítani a gazdasági versenyképességét, és nem tudott már megfelelni az egyre szigorodó környezetvédelmi elvárásoknak.

2. Blokkánódos technológiák

Az 1962-es év mérföldkőnek tekinthető az elektrolízis technológia fejlesztésében. Ebben az évben került sor a vezető alumíniumtermelők szakmai megbeszélésére New Yorkban, ahová meghívást kapott a Szovjetunió és Magyarország is. A konferencián olyan megállapításokat tettek és olyan eredményeket ismertettek, amelyek döntően befolyásolták az alumíniumelektrolízis technológia további fejlődését. Megállapították, hogy 100–125 kA-es áramerősség jelenti a Söderberg-technológia felső határát, további áramerősség-növelés az áramhatásfok romlásához vezet, és nagyobb villamosenergia-felhasználással jár [6].

Bebizonyosodott, hogy a további áramerősség-növelés, alacsony energiafelhasználás mellett csak blokkánódos technológiával lehetséges [7].

Givry [6] felismerése alapozta meg a további áramerősség-növelés elmé-

leti alapjait. Megállapította, hogy a mágneses térerő függőleges komponense az alumínium fémben kialakuló vízszintes áramokkal olyan erőhatást hoz létre, amely a fém torzulását és nagyobb sebességű fémmozgást idéz elő. Ez megnöveli a reoxidációs folyamat sebességét, és lecsökkenti az áramhatásfokot. Givry bemutatta azokat az egyenleteket, amelyek révén a minimális erőhatásokat biztosító sínezési elrendezés meghatározható. Ehhez ki kell számolni a Biot–Savart-törvény szerint a mágneses indukció komponenseit, majd az áramsűrűség komponens vektorait. Az erőhatásokat, az ún. Laplace-erőket a mágneses indukció komponenseinek vektoriális szorzataiból kapjuk meg. A Laplace-erőkből és a Navier–Stokes-egyenletek felhasználásával számolható a fém torzulása és a sebességvektorok. Az 1970-es évek elején még nem állt rendelkezésre a szükséges számítástechnikai háttér, hogy a fenti számítások elvégezhetőek legyenek, bár ehhez az elméleti alapok már ismertek voltak.

Erre az időszakra esett az a felismerés is, hogy a jobb csarnokterület-kihasználás érdekében a blokkánódos kádak keresztirányban (side-by-side) is elhelyezhetőek, de ebben a felismerésben a mágneses kompenzáció tudatos alkalmazása

még nem játszott szerepet.

A blokkánódos technológiák fejlesztésének lendületet adott, hogy nyugat-európai termelők leállították a Söderberg-technológia fejlesztését. Így az 1960-as években a fejlesztés iránya a blokkánódos konstrukcióra és üzemvitelre koncentrált. Észak-Amerikában továbbra is a blokkánódos technológia fejlesztésére koncentráltak. A legnagyobb alumíniumtermelők, az ALCOA, a Reynolds, a Kaiser Alumínium, kifejlesztették saját blokkánódos technológiájukat, és azokkal építették meg új termelőkapacitásaikat. Az 1960-as évek végére, az 1970-es évek elejére a blokkánódos technológiában az észak-amerikai termelők megelőzték a nyugat-európai versenytársaikat.

Az észak-amerikai technológiára jellemző sajátosságok:

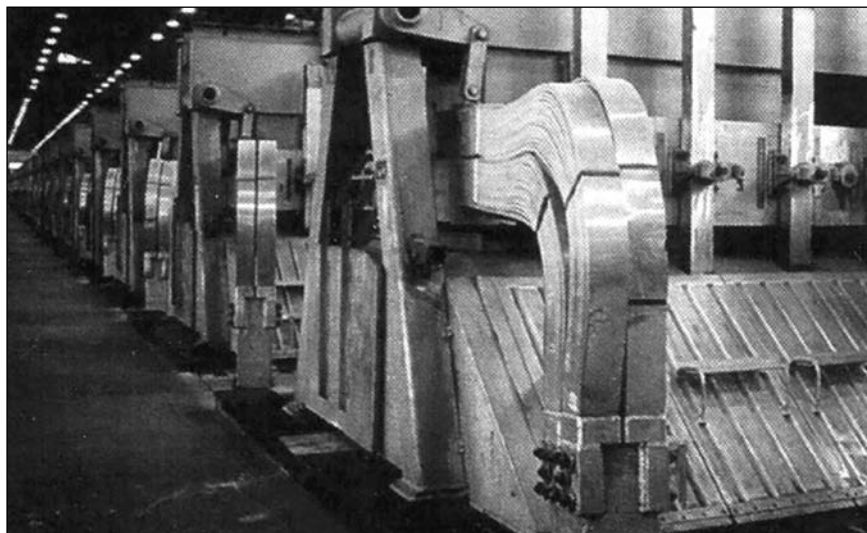
- áramerősség a 150–180 kA-es tartományban;
- keresztirányban elhelyezett kádak a kohócsarnokban (side-by-side elrendezés);
- kétoldali áram-hozzávezetés az anódvezérsínhez (vég, vagy közbenső oldalon);
- pontadagolásos vagy gerendás törő alkalmazása a timföldadagolásra, elhelyezve a blokkosorok között;
- a kádak burkolása, a gázok összegyűjtése és

3. táblázat. Nyugat-Európa fontosabb kohói az 1970-es években kétoldali áram-hozzávezetéssel

Társaság	Kádtípus	Áramerősség	Sínezés	Timföldadagolás	Létesített kohók helye
Aluswiss	EPT-18	180–190 kA	közbenső	pontadagolás	Rheinfelden
VAW	CA-180	180 kA	közbenső	pontadagolás	Töging, Grundartangi
Pechiney	AP-18	130 kA	vég	középtörés	Belem, Fernandel, Vlissingen, Mostar, San Ciprian, Frederick



■ 4. ábra. P-69 típusú kád kétoldali árambevezetéssel, végfelszállós változat



■ 5. ábra. Hydro-Alumínium konstrukció közbelső felszállós változata

- a nedves vagy száraz gáztisztítás.

A 2. táblázatban összefoglaltuk az észak-amerikai legfontosabb blokk-anódos technológiákat és a megépült kohókat. Ezekre jellemző volt, hogy a kádakat keresztirányban helyezték el, és az anódvezérsínhez két ponton történt az áram-hozzávezetés [8].

Ebben az időszakban a technológiai transzfer versenyében az észak-amerikai termelőké volt a vezető szerep, elsősorban a Kaiser P-69 kádtípusából valósult meg külföldön a legnagyobb kapacitások.

Nyugat-Európában ebben az időszakban kétoldali áram-hozzávezetéssel, keresztirányban elhelyezett élenjáró konstrukciókat építettek. Főbb jellemzőit a 3. táblázat mutatja be.

Ebben az időszakban észak-amerikai fejlesztők nagyobb sikereket értek el a technológiai transzferben, de konstrukciójuk és üzemvitelük villamosenergia-felhasználása magasabb volt, és az áramhatásfokban is elmaradtak a nyugat-európai termelőktől.

Ezzel egyidejűleg az is nyilvánvalóvá vált, hogy a további nagy alumíniumtermelő konszernek – köszönhetően a számítástechnika fejlődésének – matematikai modelleken dolgoznak az optimális sínezés kialakítására és a termikus modell kifejlesztésére. Ezek közül a legjelentősebbek az ALCOA [9], az ALCAN [10], a Hydro-Alumínium [11, 12], a Kaiser-Alumínium [13], az ALUSWISS [14], a Pechiney [15] és a VAW [16]. Ezen

modellszámítások alapján először a gyakorlatban is megvalósítható sínezési elrendezést valósított meg a Pechiney [17].

Az 1970-es évek fejlesztési eredménye a tudatos, modern blokk-anódos technológia kifejlesztése. Korábban a Givry [6] által felállított egyenletrendszereket sikerült matematikai modellek segítségével megoldani, és sikerült olyan sínezési elrendezést kialakítani és megvalósítani, amely minimalizálta a fémre ható elektromágneses erőket. Ez lehetővé tette a pólustávolság csökkentését, javítva az áramhatásfokot és csökkentve a villamos energia felhasználását.

A Pechiney 180 kA-es technológiája „négy felszállós” megoldást dolgozott ki, tovább csökkentette a mágneses indukció függőleges komponensének értékét, amelynek csökkentésével a fémre ható erők nagysága is csökkent.

Ez egy nagy siker az elektrolízis

technológiában, és a modern, nagy áramerősségű, tudatosan tervezhető technológia alapját képezte. Olyan áttörést jelentett, hogy az újonnan épített kohók is döntően ezt a technológiát alkalmazták az alábbi paraméterekkel:

Áramerősség	180 kA
Kádtermelés	1360 kg/nap
Áramhatásfok	94 ± 1%
Energiafelhasználás	13200 ± 200 kWh/t Al
Kád élettartam	≥ 6 év

A korábbi versenytársak, akik rendelkeztek a „két felszállós” 180 kA-es technológiával, a Pechiney „négy felszállós” konstrukciójának eredményei láttán és az elért sikeres technológiai transzfernek köszönhetően, leállították a technológiai és konstrukciós fejlesztéseiket. Az Aluswiss, a Sumitomo, a Reynolds, a VAW és a Kaiser Alumínium konszernek nem is jelentkeztek később új konstrukcióval és technológiával. Az AP-18 „négy felszállós” konstrukcióval megépített

4. táblázat. Az AP-18 Pechiney-technológiával működő kohók

A létesített kohók	Beruházott kádak száma	Kapacitás kt/év
Saint Jean Maurienne (Franciaország)	60	29,8
Tomago (Ausztrália)	780	387,2
Becancour (Kanada)	720	357,4
Lochaber (Skócia)	80	39,7
Karmoy (Norvégia)	222	110,2
Angul (India)	480	238,2
Baie Comeau (Kanada)	480	238,2
Kidricevo (Szlovénia)	80	39,7
Puerto Madryn (Argentína)	272	140,0

kohókapacitásokat a 4. táblázatban mutatjuk be.

További bővítések figyelembevételével, az AP-18 technológiával és annak módosított változataival 3412 kád működik a világon, és eléri az 1,8 millió tonna/év alumíniumtermelési kapacitást.

A „négy felszállós” konstrukcióban a versenytársak az ALCOA, a Hydro Alumínium és a CVG Venalum azonos, vagy magasabb áramerősséget értek el. 1986-ban építette meg az ALCOA saját technológiájával az utolsó, Portland-i kohóját Ausztráliában 275–300 kA-es áramerősség tartományban. A Hydro Alumínium a Hoyanger-i kohójában fejlesztette ki a „négy felszállós” konstrukciót 230 kA-es tartományban; két kohót épített fel, az egyiket Venezuelában, míg a másikat Szlovákiában, Zsiar nad Hronom-ban.

A Pechiney közleményeiből nyilvánvalóvá vált, hogy rendelkezik azzal az ismerettel és modellfejlesztési tapasztalattal, hogy tudatosan képes lesz további nagy áramerősségű kádak kifejlesztésére. Az 1980-as évek második felének fejlesztési eredményei biztosították a 295 kA-es kádak kifejlesztését és a kádtípus értékesítését a világ számos országában. Ezen áramerősségen egy szériával, 264 káddal 215 kt Al/év termelési kapacitás érhető el. A kádtípus AP-30 konstrukció néven vált ismertté [18].

Az elért technológiai paraméterek:

Áramerősség	295 kA
Áramhatásfok	94–95%
Kádtermelés	2235 kg Al/kád, nap
Energiafelhasználás:	13500 kWh/t Al

Az 1990-es években megépült kohók döntően ezt a kádtípust és technológiát alkalmazták, és ezzel a Pechiney továbbra is biztosította világvezető pozícióját az elektrolízis technológiában [19]. Az 5. táblázat-

ban összefoglaltuk az AP-30 technológiával megépült kohókapacitásokat.

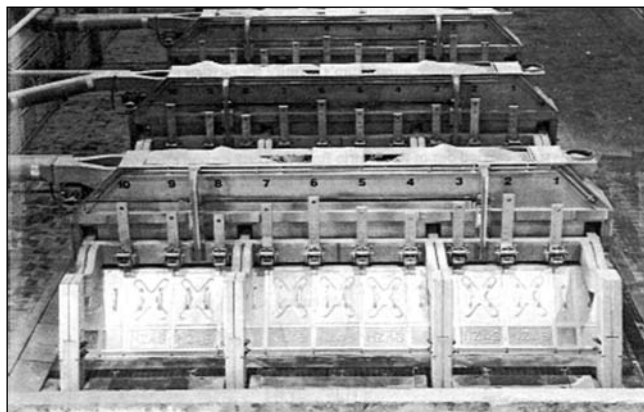
Ez a konstrukció „öt felszállós” változatot alkalmazott a sínezésben, és elérte a legmagasabb áramerősséget és a legjobb technológiai paramétereket.

Az AP-30 technológiával 2095 kád épült szerte a világban, az évi teljes termelőkapacitás ezzel a technológiával több mint 2 millió tonna Al. Az AP-30 technológiát és konstrukciót – a tapasztalatok felhasználásával – a Pechiney továbbfejlesztette és kialakította az AP-35 technológiáját, amely már 350 kA áramerősséget jelentett [19].

Az AP-30 és az AP-35 konstrukciók abban különböztek az AP-18 technológiától, hogy „öt felszállós” konstrukciót alkalmaztak a sínezésben, kizárólag grafitos katódcsenget építettek be, és a timföld szállítását az öt pontadagolóhoz csővezetéken oldották meg. Minden kádra egy-egy, az elektrolit magasságának és hőmérsékletének mérésére alkalmas szondát építettek, amelyek mérési eredményeit a folyamatszabályozási rendszerben használták fel.

Az AP-35 technológiával megépült egy szériával 320 kt Al/év termelési kapacitás érhető el. Az ALCOA ezzel a technológiával 336 kádat épített a Fjardaal-i kohóban Izlandon, és ezt a technológiát alkalmazták a Sohar-i kohóban Omanban is. Ez utóbbiban 360 kád épült meg [20].

A XX. század végére, 1995-ben a Pechiney kifejlesztette a 400 kA-es technológiát, amely alkalmassá vált újabb „zöldmezős” kohók építésére,



6. ábra. A Pechiney AP-18 „négy felszállós” konstrukciója

de kohó építésére ezen áramerősségen mindaddig nem került sor.

Amikor a Pechiney az ALCAN tulajdonába került, párhuzamosan folytak konstrukciós fejlesztések az 500 kA-es áramerősségű AP-50 technológia kialakítására Saint Jean du Maurienne-ben (Franciaország) és Jonquiereben (Kanada). Az észak-amerikai és nyugat-európai régiók még az 1990-es évek közepén is technológiai versenyben voltak, és együtt a világ alumíniumtermelésének több mint 50%-át biztosították [21].

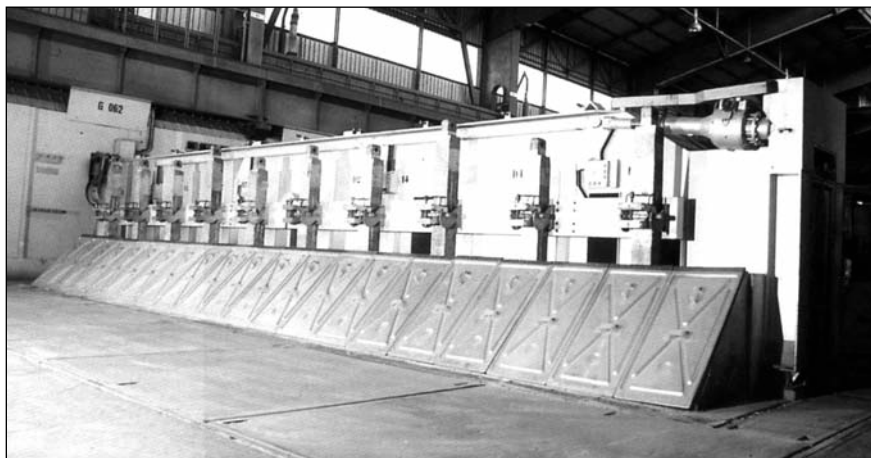
A 2000-es évek nagy változása, hogy a Hall–Héroult-eljárás nyugat-európai változata lett a meghatározó, amely az alacsony energiafelhasználást tekintette a meghatározó fejlesztési célnak. Mivel Nyugat-Európa képviselte az élenjáró technológiát az energiaárak növekedése miatt, az észak-amerikai fejlesztők átvették az európai Pechiney technológiáját és véglegesen leálltak az áramerősség növelését célzó további konstrukciós fejlesztésekkel. Annak ellenére, hogy a technológiai előny a nyugat-európai termelőké volt, nem voltak képesek megtartani termelőkapacitásaikat, kohóik egy része véglegesen leállításra került, vagy azokat Európán kívüli cégek vásárolták fel. Ily módon korábbi meghatározó és vezető szerepét véglegesen elvesztette az alumíniumtermelés piacán.

3. Üzemviteli fejlesztések

Az 1960-as években kezdődött el a timföld pontadagolásos megoldásával az üzemvitel fejlesztése. A cél ekkor a munkaerő-felhasználás csökkentése volt. A kísérletek nem jártak eredménnyel, mert az adagolás idő-

5. táblázat. Az AP-30 konstrukcióval működő kohókapacitások

Kohó	Ország	Cég/Társaság	Kapacitás kt/év
Dunkerque	Francia	Pechiney	215
Deschambault	Kanada	Alumax	215
Alouette	Kanada	Alouette	215
Puerto Ordaz	Venezuela	Alcasa	195
Alba	Bahrain	Alba	235
Mozal	Mozambik	Billiton	560
Alusaf	Dél-Afrika	Glencore	460



■ 7. ábra. AP-30 kádkonstrukció

vezérelt volt, és mivel a kádak áramhatásfoka különbözött, iszaposodást vagy anódeffekt szám növekedést tapasztaltak.

A timföld pontadagolós megoldását két tényező segítette elő. Az egyik, hogy az áramerősség növelése már lehetővé tette, hogy minden egyes kádra pontadagolókat szereljenek fel, míg a másik tényező az volt, hogy digitális technikával biztosították a lehetőséget az igény szerinti timföldadagolás megvalósítására Goodnow (Kaiser Alumínium) eredményei alapján [21].

Az üzemviteli technológia egyik lényeges eleme lett a timföldadagolás módja és ütemezése. Szinte valamennyi nagy alumíniumtermelő konszern rendelkezik erre vonatkozóan saját programmal, amely a technológia lényeges része.

Kezdetben a blokkok között gerendás vagy késes törőt helyeztek el, és a timföldtartályból surrantón keresztül adagolták a timföldet az elektrolitba. Később tökéletesítették az adagolást a timföld pontadagolásával. Az adagolás két fázisból áll:

- egy alul-adagolási periódusból, amikor a folyamat timföldigényének mindössze 50–75%-át adagolják az elektrolitba;
- amikor az elektrolizáló kád ellenállásának időbeni változása elér egy kritikus értéket az anódeffekt előtti állapotban, akkor a folyamat timföldigényének 150–170%-át adagolják a felüladagolási periódusban.

A világon ez a legelterjedtebb eljárás a timföldadagolásra. Az üzemvitelben az áramhatásfok javításában nagy áttörést jelentett a timföld pont-

adagolós technológia bevezetése, mert az alacsony timföldtartalmú elektrolitösszetétellel meg lehetett előzni az üledékképződést a katódon, és így csökkenteni a vízszintes áramok kialakulását.

Ugyancsak nagy áttörést jelentett az üzemvitelben a kádak folyamat-szabályozása és az a tény, hogy az elektrolízis folyamatainak megismerése révén felhalmozott elméleti és gyakorlati ismeretek az alkalmazott számítógépes programokba beépültek.

A kádak üzemvitelének szabályozása a kádellenállás-méréseken alapul. A kádfeszültség jelentős mérési zajjal terhelt, ezért az analóg szabályozási megoldások csak korlátozottan tették lehetővé a szabályozást. A nagy áttörést a digitális technika tette lehetővé. A kádellenállás (szériaáram és kádfeszültség) mintavételezésével, szűrésével és az erre épülő adatfeldolgozással lehetőség van az alábbi fő funkciók ellátására:

- kádellenállás-szabályozás;
- anódeffekt-előrejelzés, timföldadagolás szabályozása;
- anódmozgatás és mértékének meghatározása;
- zajanalízis technológiai rendelkezések kimutatására; és a
- kiszolgáló folyamat figyelése, szabályozása (blokkcsere, fémcsapolás, AlF_3 -adagolás, kémiai elemzési adatok, elektrolitcsapolás, síncsúztatás, élettartam adatok).

Ezen ismeretek a technológiai csomagok (transzferek) szerves részét képezik, de mindig a technológiát adó cég tulajdonában maradnak. A legismertebb folyamatszabá-

lyozási rendszerek és cégek a Celltrol (Kaiser), az ELAS (VAW), az ALPSYS (Rio Tinto Alcan) és a HAL3000 (Hydro-Alumínium). Jelenleg a meglévő szabályozási rendszerek mellett szakértői rendszerek támogatják az üzemvitelt, és oktatási programokat fejlesztettek ki az üzemeltetők képzésére [22, 23].

4. Fő tendenciák a 2000-es években. A tulajdonosi szerkezet változásai

A 2000-es évek felgyorsuló globalizációs folyamatai a világ alumíniumtermelésében azt eredményezték, hogy Nyugat-Európa és az EU országai is nagy veszteségek lettek [24]. Felvásárlásokra került sor, és számos kohó végleg bezártak.

Az észak-amerikai alumíniumtermelők felvásárolták először a versenytársaktól a nemzeti kapacitásokat. Az ALCOA felvásárolta az Almax, majd a Reynolds cégeket. Ezen új kapacitásokkal biztosította a közel 40%-os kohóbezárások miatt kieső félalumínium-igényt az USA-ban. A kohók végleges bezárására az emelkedő energiaárak és a versenyképtelen üzemelés miatt került sor.

Az ALCOA a zöldmezős beruházások helyett további felvásárlásokkal növelte alumíniumtermelő kapacitását: felvásárolta a spanyol és olasz alumíniumkohókat, és megszerezte – a már meglévő 50% tulajdona mellé – a norvégiai Lista és Mosjoen kohók további tulajdoni hányadát. Így a két kohó 100%-ban ALCOA tulajdonba került. Az ALCOA tárgyalásokat folytatott energiakedvezmény elérésére, de miután ezek a tárgyalások nem vezettek eredményre, ezért Spanyolországban jelentősen csökkentette a kapacitásokat, és Olaszországban is bezárt kohókat.

A kanadai ALCAN-t felvásárolta a Rio Tinto, amely további kohófelvásárlásokkal növelte termelési kapacitását. Az ALCAN felvásárlással tulajdonába került a világ vezető technológiájával rendelkező Pechiney, ezzel a Rio Tinto Alcan vált a világ vezető alumíniumelektrolízis technológiát adó cégévé. Ugyancsak a tulajdonába került a svájci Aluswiss cég kohókapacitása is.

Nyugat-Európában Németország

6. táblázat. A 2000-es években leállított kohók Nyugat-Európában és az EU 27 országaiban

Ország	Kohó	Kapacitás, kt/év
Nagy-Britannia	Anglesey	135
	Lynemouth	175
	Fort Williams	42
Németország	Norf	220
Hollandia	Vlissingen	200
Franciaország	Lannemezan	50
Lengyelország	Konin	53
Svájc	Steg	44
Olaszország	Fusina, Porto Vesme	200
Magyarország	Inota	34



8. ábra. Q-350 kínai fejlesztésű konstrukció az első „hat felszállós” sinezéssel

vezető alumínium konszernje, a VAW, kohóinak egy részét a Hydro-Alumínium vásárolta meg, míg a megmaradó kapacitások a TRIMET társaság tulajdonába kerültek.

A vezető nyugat-európai országok tulajdonában levő alumíniumtermelő kapacitások gyakorlatilag megszűntek. Míg a nyugat-európai országok az 1990-es években még a világ alumíniumtermelési kapacitásainak 25–30%-át képviselték, napjainkra ez az arány 4–5%-ra csökkent. Ily módon elvesztették befolyásukat a világ alumíniumiparára. A 2000-es években Nyugat-Európában és az EU 27 országaiban a véglegesen leállított alumíniumkohókat és kapacitásokat a 6. táblázat mutatja be.

A globalizáció további hatása, hogy jelentősen megváltoztatta az alumíniumgyártás tulajdonosi szerkezetét nem csak Nyugat-Európában, hanem egész Európában. A svéd Sundswal-, az ukrán Zaporozse-kohó teljesen az orosz RUSAL cég tulajdonába került, míg a montenegrói Podgorica-kohó csak részben. A RUSAL orosz cég lett a világ egyik legnagyobb alumíniumtermelője, világcéggé vált, jól tudott élni a globali-

zációs lehetőségekkel, kohókat vásárolt, nem csak Európában, hanem többségi tulajdont szerzett a nigériai Ikat Abas-kohóban is.

Az EU 27 országaiban alkalmazott technológiák közül két kohó, a franciaországi Dunkerque-i és a Hydro-Alumínium tulajdonában levő Zsiar nad Hronom-i kohó tekinthető korszerűnek. Mindkét kohó kielégíti a környezetvédelmi követelményeket is. Várható, hogy még üzemben levő kohókat is bezárnak, mert az európai energiaárak magasak, és az igen szigorú környezetvédelmi előírásokat nem képesek betartani.

Európában egyedül Izlandon építettek új kohót a 2000-es évek közepén. Az ALCOA a korábban Pechiney-technológiával megépített és a tulajdonába került kanadai Deschambault-i kohó technológiáját adaptálta az izlandi Fjardaal kohó létesítésében. A kohólétesítés alapja a hosszú távon rendelkezésre álló olcsó vízi energia, amely nem jár szén-dioxid gáz kibocsátással. E két tényező biztosította a beruházás előnyeit. Meg kell jegyezni, hogy

- egy kohóberuházás közvetlen költsége 75–80%-a nemzetközi árszin-

7. táblázat. Új technológiai versenytársak a megváltozott globalizált alumíniumtermelésben

	ALCOA Alcan	Rio Tinto Oroszország	Kína	RUSAL	DUBAL
Kád típusa	817	AP-35	Q-350	SR 300	D 18
Áramerősség, kA	320	350	350	300	350
Áramhatásfok, %	95	94,5	94,5	95	96,1
Kádtermelés, kg Al/nap	2448	2664	2664	2318	2704
Kádfeszültség, V	4,37	4,30	4,24	4,25	4,21
Energiafogyasztás, kWh/kg Al	13,725	13,350	13,372	13,333	13,100
Nettó anódfelhasználás, kg/t Al	405	415	415	420	410
Felszállók száma	5	5	6	5	5

ten történik, lényegében a földrajzi helytől független [25]; és

- csak nemzetközi árszinten beszerezhetőek a főbb elemek: egyenirányító, gáztisztító, multifunkciós daru, anódüzem, anódegető kemence, folyamatszabályozás.

A beruházás költségeinek csökkentésére az áramerősség növelésének van a legnagyobb hatása, és fontos, hogy az üzemelés szempontjából a versenyképességet biztosító olcsó villamos energia álljon rendelkezésre.

Míg korábban Észak-Amerika és Nyugat-Európa voltak versenytársak a nemzetközi alumíniumpiacon, a nyugat-európai termelők elvesztették vezető szerepüket, és az észak-amerikai termelők – ALCOA, Rio Tinto Alcan – új kihívásokkal találkoztak a globalizált alumíniumtermelés piacán. Az új kihívók a termelésben és a technológiai transzferben Oroszország, Kína és az arab öböl menti (Gulf) országok.

A technológiai versenytársak 300 kA áramerősség felett megvalósult kohóinak jellemzőit mutatja be a 7. táblázat.

A 7. táblázat technológiai adataiból látható, hogy a korábban nagy áttörést elérő Pechiney AP-35 technológiának komoly versenytársai jelentkeztek a 2000-es évek elején. A mágneses és termikus modellek számítási eredményei tipizálták az elektrolizáló kádak konstrukcióját és üzemvitelét [26]. A fentebb bemutatott valamennyi technológiára az a jellemző, hogy:

- az elektrolizáló kádak sinezése mágnesesen kompenzált, a mágneses térerősség függőleges komponensének tipikus értéke 2–5 Gauss;

- keresztirányban elhelyezett kádelrendezés a kohócsarnokban;
- folyamatszabályozott üzemvitel, timföld pontadagolás;
- a timföld és az alumíniumfluorid szállítása a kád timföld és AlF_3 tartályába „super dense phase” technikával;
- száraz gáztisztítás a fluor megkötésével a timföldön;
- nagy AlF_3 -felesleget tartalmazó elektrolit-összetétel;
- több funkciós daru alkalmazása blokkcserére és a fém-elektrolit csapolására; és
- irányított katód-hővesztések a megfelelő fagyásalak elérése céljából.

Kína saját technológiát fejlesztett ki; és megépítette saját kohóit. A Q-350 konstrukció tekinthető az élenjáró technológiának „hat felszállós” sínézési megoldással [27].

Tervezik 10 millió tonna/év új termelői kapacitás létesítését szintén saját technológiára alapozva Sinkiangban.

Oroszország is saját technológiát fejlesztett ki. A RUSAL RA-300 és az SR 300 kádtípusait építette meg a Bogushan-i és a Khakas-i kohókban.

DUBAL kifejlesztette a DX+ kádtípusát, és ezt a kádtípust és technológiát alkalmazta EMAL kohó építésében.

Az észak-amerikai termelők – ALCOA és RioTinto Alcan – az eredeti Pechiney-technológiára alapozottan létesítettek kohókat Szaúd-Arábiában és Ománban.

Három évtizeden keresztül a Pechiney volt a vezető technológiai transzfert biztosító cég, de jelenleg a technológiájára alapozó cégeknek, az ALCOA-nak és a Rio Tinto Alcan-nak az új kohókapacitások létesítésében, a zöldmezős beruházásokban már osztoznia kell az új versenytársakkal. Az új versenytársak termelői kapacitása Kína 19,5 kt Al/év, Oroszország 4,1 kt Al/év, a Gulf országok 3,8 kt Al/év. Ők képviselik a világ alumíniumtermelésének 65%-át.

5. Összefoglalás, következtetések

Áttekintve a Hall–Héroult-eljárás 125 évét, megállapítható, hogy az eljárásnak még mindig nincs technológiai versenytársa az alumínium előállításában.

Korábban az észak-amerikai és nyugat-európai régióknak volt meghatározó és vezető szerepe az alumínium-előállítási technológiában és a termelési kapacitásban.

A globalizált alumíniumtermelésben a 2000-es évekre a legnagyobb vesztes Nyugat-Európa és az EU-országai lettek annak ellenére, hogy a legfejlettebb technológiát fejlesztették ki az energiateljesítmény csökkenésére és a régiók közül a legszigorúbb környezetvédelmi előírások teljesítésére.

A modellezés, ami a mágneses erőhatások és az elektrolizáló kádak termikus modelljének a kidolgozását jelenti, döntően segítette a nagy áramerősségű kádak konstrukciójának kifejlesztését [29]. A korábbi rendkívüli változatosság, ami a konstrukciókat és a technológiákat jellemezte, a modellezés következtében megszűnt, a kádak tipikussá váltak. Így módon a timföld pontadagolása, a mágnesesen kompenzált cellák, a száraz gáztisztítás és a keresztirányban elhelyezett kádak mind általános jegyei a nagy áramerősségű technológiáknak.

A világ alumíniumtermelésében, a technológia fejlesztésében és a termelési kapacitásokban új versenytársak jelentek meg. Kína, Oroszország, a Gulf országok lettek a meghatározók a termelésben, és várhatóan ezek lesznek a technológia transzferben is.

A technológiai verseny most azt jelenti, hogy ki lesz képes előbb kifejleszteni a 750 kA-es kádtípust, amely várhatóan „hét vagy nyolc felszállós” változatban fog megépülni. A mérési és adattovábbítási technika fejlődése segíteni fogja a konstrukciók további fejlesztését [30].

Irodalom

- [1] J. P. Givry: Consideration on Modern Söderberg Cells with Vertical Studs, Extractive Metallurgy of Aluminum, Vol. 2 Aluminum, edited Gary Gerald, 1962.
- [2] H. Hosoi, M. Sugaya, S. Tosaka: Technical Results of Improved Söderberg Cells, Proceedings of Technical Sessions, TMS Light Metals Committee at the 111th AIME Annual Meeting, Dallas,

February 1982.

- [3] T. B. Pedersen, A. K. Syrdal, A. Audun: The New Söderberg Concept, Proceedings of Sessions presented by the TMS Light Metals Committee at 124th Annual Meeting, Las Vegas February, 1995.
- [4] Victor Buzunov, et al.: Vertical Stud Söderberg Technology Development by UC RUSAL in 2004–2010, (Part_1) Proceedings of 141st Technical Sessions presented by TMS Aluminium Committee, Light Metals, 2012;
- Vladimir Frizorger, et al.: Vertical Stud Söderberg Technology Development by UC RUSAL in 2004–2010, (Part_2) Eco-Söderberg technology Proceedings of 141st Technical Sessions presented by TMS Aluminium Committee, Light Metals, 2012.
- [5] www.rusal.com
- [6] J. P. Givry: Technical and Economic Aspect of Aluminum Cell Conductor, Extractive Metallurgy of Aluminum, Vol. 2 Aluminum, edited Gary Gerald, 1962.
- [7] R. E. Oehler: Söderberg versus Prebaked Cells for Aluminum Reduction Extractive Metallurgy of Aluminum, Vol. 2 Aluminum, edited Gary Gerald, 1962.
- [8] A. Tabereaux: Prebaked Cell Technology. A Global Review, Journal of Metals, February, 2000.
- [9] R. F. Robl: Magnetic Improvement Devices to Reduce Metal Movement, Proceedings of Sessions 105th AIME Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, Light Metals, 1976.
- [10] V. Potocnik: Modelling of Metal-Bath Interface Waves in Hall–Héroult Cells, using ESTER/PHEONICS, Light Metals, 1989 p. 227–235.
- [11] T. Sele: Instabilities of the Metal Surface in Electrolytic Cells, Proceedings of Sessions 106th AIME Annual Meeting, Atlanta, Georgia, Light Metals, 1977.
- [12] T. Sele: Computer Model for Magnetic Fields in Electrolytic Cells Including the Effect of Shell Parts, Proceedings of technical sessions TMS Light Metals Committee at the 112th AIME

- Annual Meeting, Atlanta, Georgia, March, 1983.
- [13] *N. Urata, T. Arita, H. Ikeuchi*: Magnetics and Flow Pattern of Liquid Aluminum in the Aluminum Reduction Cells, AIME Annual Meeting, New York, 1975.
- [14] *R. Von Kaenel, J. P. Antille*: Magnetohydrodynamic stability in Alumina Reduction Cells, Proceedings of 11th International Symposium of ICSOBA, Hungary, May, 1996.
- [15] *P. Morem, J. P. Dugois*: French Patent No. 7529181, 1975.
- [16] *M. Segatz, D. Vogelsang*: Effect of Steel Part on Magnetic Fields in Aluminium Reduction Cells, Light Metals, 1991. p. 393–398.
- [17] *M. Keinborg, J. P. Cuny*: Aluminium Pechiney 180kA Prebake Pot From Prototype to Potline, Proceedings of Technical Sessions, TMS Light Metals Committee at the 111th AIME Annual Meeting, Dallas, February 1982.
- [18] *Dugois*: 280kA Electrolytic Cells, One Hundred Years of Aluminum 1886–1986, 32–34, edited by Pechiney, France, 1986.
- [19] *B. Langon, P. Varin*: Aluminum Pechiney 280kA Pots, Light Metals, 1986.
- [20] www.alcoa.com
- [21] *W. H. Goodnow*: Cell Resistance and Alumina Additions, Proceedings of Sessions 105th AIME Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, Light Metals, 1976 p. 295–314.
- [22] *L. Tikasz, R. T. Bui, V. Potocnik*: Proceedings of Session 119th AIME Annual Meetings, Anaheim, California, Light Metals, 1990 p. 197–202.
- [23] *L. Tikasz, R. T. Bui, V. Potocnik*: Aluminium Electrolysis Cell Simulator Assistance Tools for Cell Operation and Control, Proceedings of 11th International Symposium of ICSOBA, Hungary, May 1996 p. 284–298.
- [24] *Horváth J.*: A Hall–Héroult eljárás 125 éve és az EU-27 helyzete a globalizált alumíniumtermelésben. Előadás, elhangzott MTA Metallurgiai Bizottság ülésén, Veszprémi Akadémiai Bizottság, Veszprém, 2012. szeptember
- [25] *J. Horváth*: Development Planning and Training Aluminium Consultant, Techno-Economic Report on New Aluminum Smelter in Lybia, LIB-030-8-003-62-X United Nation (UNDDS) New York, 1997.
- [26] *A. Tabereaux*: Aluminium Industry Upgrade Set in Motion by New Wave of High Amperage Prebakes, Light Metal Age, February, 2007.
- [27] *Y. Ensheng, et al.*: Developing the GP-32 Cell Technology in China, Proceedings of Technical Sessions presented by the Aluminium Committee at the 130th TMS Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, February, 2000.
- [28] *C. Vanvoren, et al.*: AP-50: The Pechiney 500kA Proceedings of Technical Sessions presented by the Aluminium Committee at the 130th TMS Annual Meeting, New Orleans, Louisiana February, 2000.
- [29] *V. Gusberti, et al.*: Modelling the Mass and Energy Balance of Different Aluminium Smelting Cell Technology, Proceedings of 141st Technical Sessions presented by TMS Aluminium Committee, Light Metals, 2012.
- [30] *J. W. Evans, N. Urata*: Wireless and Non-Contacting Measurement of Individual Anode Currents in Hall–Héroult Pots; Experience and Benefits Proceedings of 141st Technical Sessions presented by TMS Aluminium Committee, Light Metals, 2012.

Emléktábla-avatás Csepelen

A 2006-ban megszűnt magyar alumíniumelektrolízis technológiára emlékezve, és a hajdanvolt négy magyar alumíniumkohó emlékére az OMBKE Fémkohászati Szakosztálya 2013. június 13-án emléktáblát helyezett el a Csepeli Fémmű területén, az első hazai alumíniumkohó meglévő épületének falán. A táblaavatás egy rövid emlékkonferenciával indult a volt Csepeli Fémmű vezérigazgatóságának tanácsstermében, amely megtelt a meghívott vendégekkel. Az egyesület képviselői mellett részt vettek a hazai alumíniumkohászat régi és jelenlegi munkatársai, vezetői, Ajkáról, Tatabányáról, Inotáról, a HUNGALU-ból és az Aluterv FKI-ből egyaránt. Csepelt a múltó idő miatt már csak a színesfémkohászok képviselheték.

Az emlékülést *Hajnal János* szakosztályi alelnök köszöntötte. Elmondta, hogy az utolsó, az inotai kohó bezárása óta készült a szakosztály megünnepelni a „múlt dicsőségét”, a közel 3 millió tonna megtermelt alumíniumot. Megvárták amíg Ajka és Tatabánya után Inotán is megnyugszanak az érzelmek, és begyógyulnak a lelki sebek. Emlékeztetett arra, hogy az emléktábla közadakozásból készült. Az ötletgazda *Szablyár Péter* volt, az alapanyagot a Fémszövetség segítségével az Inter-Metal Recycling Kft. biztosította, az OMBKE legyártatta a famintát, az öntés *dr. Hatala Pálnak*, a MÖSZ főtitkárának közreműködésével az öntömester *Kahut János* okl. kohómérnöknek köszönhető. A tábla elhe-

lyezéséről és a jelenlévők „ellátásáról” élén *Varga Ferenc* a Schmelzmetall Hungária Kft., a rendezvény helyéről a házigazda, a volt Csepeli Fémmű Rt.-től *dr. Megay Oktáv* gondoskodott.

Ezután *dr. Tolnay Lajos*, úgy is mint az OMBKE tiszteleti elnöke, és úgy is, mint 1996-tól 2006-ig az alumíniumgyártás és a mai napig a timföldgyártás egyik résztvevője mondta el köszöntő gondolatait:

„Ha nem emlékezünk a múltra, nem lesz erőnk a jelenhez. Sokan a szakmán belül sem tudják, hogy Csepelen volt az alumíniumkohászat bölcsője. Miért nem itt fejeződött be? Valószínűleg azért, mert a Bakonyban és Északnyugat-Dunántúlon voltak meg a lehetőségek, ott volt a bau-