

## ZÁRÓ SZAKMAI BESZÁMOLÓ

### **Ónhulladék feldolgozására, tisztítására és ártalmatlanítására alkalmas technológia kifejlesztése és optimalizálása**

Pályázati azonosító: ONRITRAN

Nyilvántartási szám: *REG\_EM-09-2-2009-0048; OMFB-00488/2010*

Munkaszakasz száma: 2

Beszámolási időszak: 2011. január 01. – 2011. december 31.

Támogatott szervezet: Borsodi Tranzit Foglalkoztatási Közhasznú Nonprofit Kft.

Projektvezető : Dr. Török Béla

Honlap: [www.borsoditranszit.hu/uj](http://www.borsoditranszit.hu/uj)

.....

Dr. Török Béla

## ***Projekt zárójelentés***

### **Az eredmények tudományos, m szaki tartalmának bemutatása**

Az „Ónhulladék feldolgozására, tisztítására és ártalmatlanítására alkalmas technológia kifejlesztése és optimalizálása” c. -REG\_EM\_KFI\_09 (2009) -ONRITRAN- megjelölés kutatási-fejlesztési projekt 2010.05.01 -2011.12.31. közötti id szakában végzett kutatómunka a munkatervben megjelölt feladatok rendszerében zajlott. Az elvégzett munkát és az elért eredményeket ebben a rendszerben az alábbi összefoglalás mutatja be:

- 1) Az ország, kiemelten Észak-Magyarország jelent sebb ónhulladék lel helyeinek kvalitatív és kvantitatív katalogizálása, jellemz forrasztóón-hulladék minták vétele és azok elemzése.

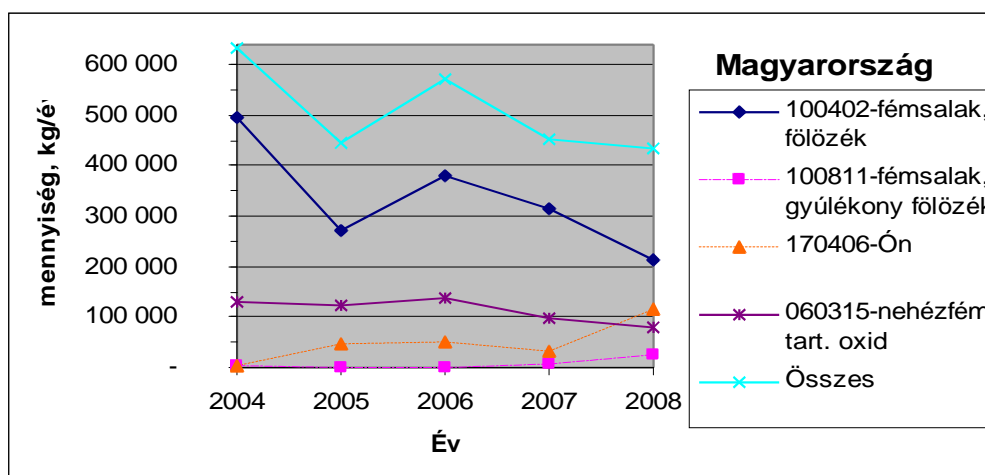
Megfelel kapcsolati és infrastrukturális háttérrel rendelkező munkatársak bevonásával felkutattuk az észak-magyarországi régióban m köd , illetve jelent ségében erre a régióra is hatást gyakorló elektronikai gyártókat, ahol a forrasztási technológiából jelent sebb mennyiség óntartalmú hulladék származik. Ebben a munkában kiépült egy konzultációs hálózat, ami a kutatómunka gyakorlati orientációját segítette. A számos – általában nemzetközi – termel cég készséggel szolgáltatott technológiai ismertetése, a adatszolgáltatása és kísérleti anyag biztosítása képezte a szilárd alapokat a felhasználható eredményekre törekv kutatómunkához. Ezek között a legjelent sebb partnerekké váltak:

- *VIDEOTON EAS* Elektronikai Szerel , Gyártó és Szolgáltató Kft., Székesfehérvár: Modern, pormentes csarnokokban 5 hullámforrasztó egységgel és már 80%-ban ólommentes forrasztóanyaggal m köd üzem. Néhány éven belül kizárólag ólommentes technikára térnek át. A friss ón utántöltés kb. heti 300 - 400 kg fém vásárlását teszi rendszeresen szükségessé. Ezt szívesen váltanák ki a saját hulladékból visszanyert és garantáltan nagy tisztaságú ónnal.
- *Videoton Autóelektronika Kft.* Székesfehérvár: (Az autóipar számára gyárt ólommentes forrasztóanyaggal töltött 3 hullámforrasztó egységen. Az inert atmoszféra biztosított. Az ónfürd k jellemz en kb. 2% ezüstöt és 1% rezet tartalmaznak. Az elrezesedés 1 % koncentráció felett már lassabb, de hetente így is kb. 200 – 300 kg friss SnAg3 el ötvözet anyagot kell adagolni. Ennek megfelelő mennyiségben keletkezik az ónhulladék is. Ez az üzem is potenciális partner egy esetleges visszajáratási technológia megvalósításában.
- *Robert Bosch Autoelektronika Kft.* Hatvan: a legigényesebb és legmagasabb kategóriájú autógyártáshoz szolgáltatja az elektronikai egységeket. Ezért itt a min ségi elvárások különösen magasak. A min ségi követelményeknek leginkább megfelelő ólmos (63% Sn – 37% Pb) forrasztóón anyagok használata jelenleg kb. 80%-át teszi ki a termelésüknek. A felhasználás érzékenysége tekintettel, a kifutó termékeknél ezt a forrasztóanyagot megtarthatják, az új termékeknél (az eredetileg kit zött 2011-es határid helyett) 2015-ig kell átállni az ólommentes alternatívára. A forrasztóanyag tekintetében így speciálisnak tekinthet a Bosch felhasználási szerkezete. Az ólommentes (~ 3% Ag, < 1% Cu, max 1000 ppm Pb) anyagok térhódítása azonban a felhasználói igényeknek megfelelő en itt is er söd tendencia. A nagy számú és kapacitású ólmos és ólommentes hullámforrasztó egységeir l leszedett salakos hulladékon anyagokból vizsgálati mintákat kaptunk. A Bosch érdekl dést mutat a gazdasági el nyökkel járó és a min ségbiztosítás szempontjából is megfelelő forrasztási ónhulladék kezel eljárás kifejlesztésében.
- *Robert Bosch Energy and Body Systems Kft.* Miskolc: A releváns technológia itt az egyedi, tekercselt alkatrészek kivezetéseinek ónozása, valamint forrasztása történik. A m velet jellegéb l adódóan, jóval kisebb mérték a forrasztóanyag felhasználás és a hulladék mennyisége, mint a hatvani gyárnál. Jelenleg ez kb. 1,5 tonnát tesz ki egy évben, amely kb.

50-50 %-os arányban oszlik meg az ólommentes és az ólmos forrasztóanyagok között. A miskolci Bosch gyár technológiai vezetője érdeklődik a forrasztási ónhulladékok helyi feldolgozására alkalmas új technológia fejlesztése iránt. A folytatandó kísérletekhez felajánlotta a nyersanyagok és referencia anyagok szükségességi és költség szerinti biztosítását.

- *Sony Hungária Kft*, Gödöllő: A szórakoztatóelektronikai iparra jellemzően a Sony is már korán, 2003-2004-ben átállt a teljes mértékben ólommentes (2-4 % Ag-tartalmú) forrasztóötvözetek alkalmazására. Ugyanakkor igen szigorú minőségi elvárásokat is érvényesítenek, így a hulladékön közvetlen visszajáratására nincs módjuk. A technológiába új anyag bevezetését csak legalább 2 éves tesztelési periódussal bizonyított pozitív eredmények után tehetik meg.
- *Jabil Circuit Magyarország Kft*, Tiszaújváros: A Jabil tiszaújvárosi elektronikai gyárában 5000 alkalmazottal végzik a nagy volumen elektronikai alkatrészgyártást, alapvetően a nagy elektronikai márkák megrendelése alapján. A forrasztást a híradástechnikai termékek vonalán alapvetően ólommentes ötvözetekkel, az autóiipari termékeknél pedig egyelőre SnPb ötvözetekkel végzik. Ólommentes anyaggal együtt, ólmosal egy nagyteljesítményű hullámforrasztó egység üzemelt a látogatás időpontjában. Ezek mellett két szelektív hullámforrasztó berendezés is működik ólmos anyaggal. Az ólommentes hulladékanyag a legutóbbi negyedévben kb. 2,5 t volt, míg a teljes salakmennyiség kb. 11 t volt az elmúlt évben. Az ólommentes hullámforrasztó egységek körül 0,3% ezüsttartalmú és 0,7% réztartalmú Saccx0307 típusú SnAgCu ötvözetből készítenek. Az ólommentes anyagok oldó képessége alapján az elrezedésre hajlamos fűrészek összetételét havonta korrigálják Saccx0300 típusú rézmentes Sn-Ag ötvözetekkel. A tároló helyen összegyűjtött salakos forrasztási ónhulladékból jelentős tömeg vizsgálati minta került a laboratóriumba a későbbi kísérleti vizsgálatok céljára.
- *Johnson Electric - Saia Burgess Ózd Kft*, Ózd: A termékszerkezetet az autóiipari megrendelések (vezérléstechnikai / szabályozástechnikai rendszerek, mikrokapcsolók, autóiipari léptető motor) uralják. A 4db hullámforrasztó gépben az ólmos és ólommentes forrasztóanyag aránya a közelmúltban kb. 80-20% volt. Azonban a megrendelések igényeinek megfelelően, itt is törődnek az ólommentes forrasztóanyag alkalmazásával. A nitrogéngenerátorok telepítése után kb. 500 kg-ra csökkent az éves hulladékfém mennyisége.
- *GE Hungary Kft*, Ózd: A GE magyarországi gyárai között nagyobb mértékű forrasztástechnikával csak az ózdi gyár foglalkozik. Az üzemen világszínvonalú kismegszakítókat gyártanak. Így a keményforrasztás és a hegesztés is elterjedten alkalmazott eljárás a technológiában. A jelenleg alkalmazott forrasztóanyag típusa: Sn63Pb37. A keletkező hulladék mennyiség 2008-ban 1200 kg volt. Egy db ATS típusú hullámforrasztó gép működik az üzemen. Emellett azonban kézi forrasztás is működik. Az utóbbi technológiai megoldásnál alkalmaznak ólommentes forrasztóanyagot is, de jelenleg itt viszonylag kis mennyiségben keletkezik az ónsalak.

A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium honlapjáról elérhető Hulladékgazdálkodási Információs Rendszer (HIR) (<http://okir.kvvm.hu/hir/>) nyilvántartása a bejelentett hulladékadatokra épül. Azonban a termelő cégek - az átvevők kívánságának megfelelően - többféle EWC-kóddal is jelenthetik be a keletkező salakos forrasztási ónhulladékukat. Így, a rendszer nem tudja felfedni a Magyarországon képződő forrasztási ónhulladék teljes mennyiségét. A legmegfelelőbb EWC hulladék-kódokat és a telephelyeket összekapcsoló keresési módszer alapján az 1. ábra szemlélteti a Magyarországon valószínűleg keletkező salakos forrasztási ónhulladék mennyiségét. A termelés hullámozásai mellett egy folyamatos technikai fejlődés is befolyásolja a hulladéktömeget.

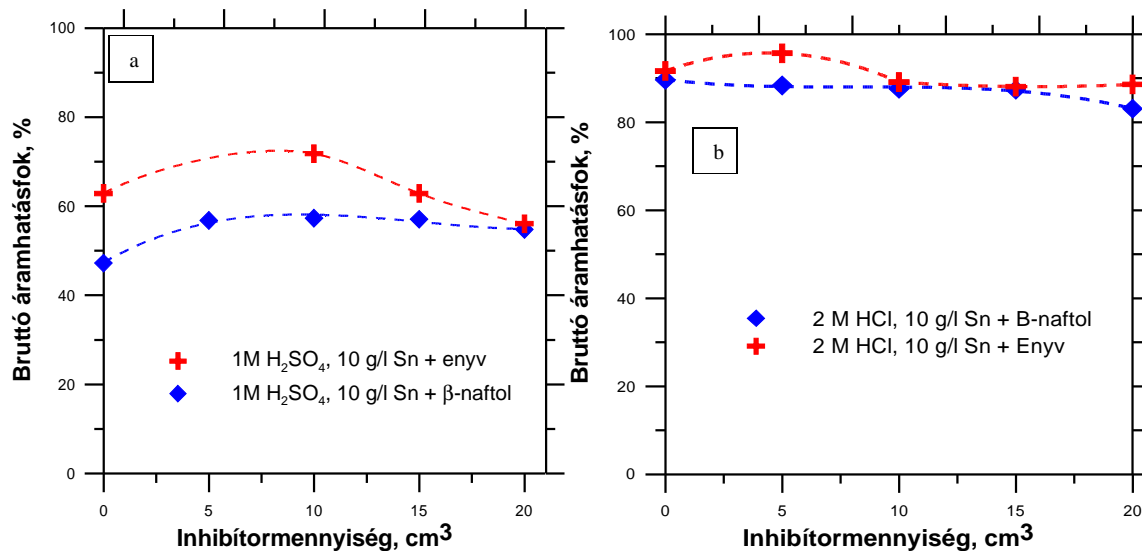


1. ábra A Magyarországon keletkez „nehézfémtartalmú oxid - kohósalak-fölözék - gyúlékony fölözék – őn” szabványos jel hulladékok éves mennyisége.

Az üzemi forrasztási ónhulladékból kapott minták összetétele alapvetően az ólommentes és ólmos kategóriákra osztható. Mivel a projekt az aktuálisan, de perspektívikusan mindenképpen fontosabb ólommentes hulladék feldolgozását tette ki alapvető célként, a kutatómunka erre a típusra koncentrált. A technológia szempontjából, ezeknek a hulladékoknak az összetételét a beolvasztás és az oxidos felzék eltávolítása után öntött tömbökre vonatkozóan kell meghatározni. A jellemzően 1-2 % réz mellett, az eredeti függően, lehet néhány tized, illetve 2-3 % is az ezüsttartalom. Mivel a hulladék nem homogén, és az üzemeknél nincs mód a reprezentatív mintavételre, az összetételt az olvasztás után öntött anódtömbök esetére vonatkozóan a kísérletekhez kötötten vettük számításba.

- 2) A különböző típusú oldatok alkalmazhatóságának összehasonlító vizsgálata. A hőmérséklet emelésével járó változások meghatározása.

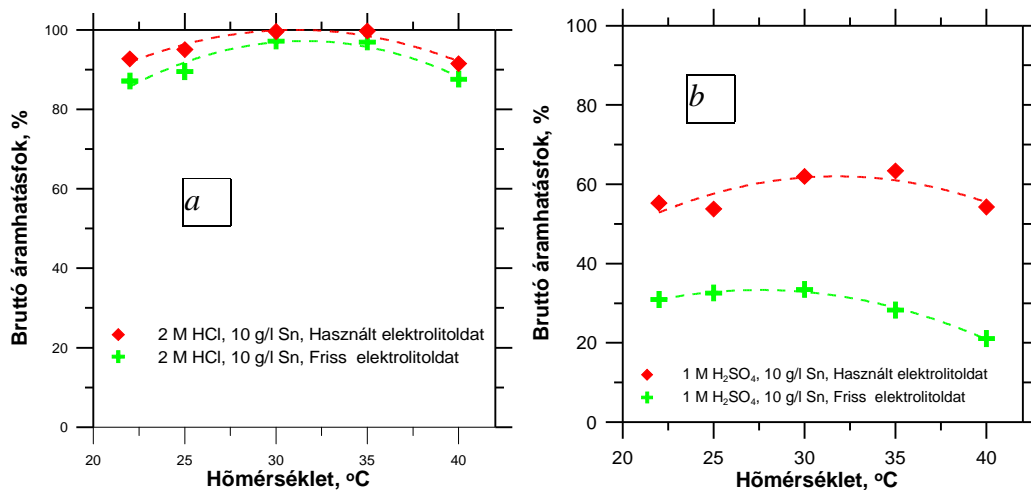
Az elektrolitos ónraffinálás egy lépésben képes eltávolítani az összes gyakorlatban jelentős szennyezőt. Az eljárás mellékterméke - az anódiszap - kezelhető, bele a nemesfémek kinyerhetőek. A melléktermékben sokkal nagyobb a szennyező/őn hányados. A költségeknél az elektromos áram nem jelent nagy terhet, hiszen az oldható anód mellett viszonylag kicsi a cellafeszültség. Az ón elektrolízis az elmúlt években keveset változott. Ugyanakkor, az ón esetében nehéz megfelelő elektrolitoldatot találni. Az ipari elektrolitos ónraffinálásra használt elektrolitokat termelési feltételek alapján lúgos és savas elektrolitokra oszthatjuk. Az ismert technológiák és azok kombinációja közül egyik sem felel meg minden követelménynek. A lúgos oldatokban a kialakuló Sn(IV) ionok kétszeres töltés- és energiaigényt jelentenek a savas oldatokban jellemző Sn(II) ionokkal szemben, sőt hátrány a nagyon magas (kb. 80 °C) megkövetelt hőmérséklet is. Ezért inkább a savas oldatok jelentenek a hulladékfeldolgozás számára gyakorlati lehetőséget. Itt azonban az áramhatásfok és a leválás durva szerkezete okoz nehézségeket. A savas elektrolit oldatok között megkülönböztetünk szulfátos, kloridos és fluorszilikátos fűrdőket. Az ón esetében maradéktalanul megfelelő elektrolitot még nem találtak, noha az üzemi gyakorlatban az igen költséges krezol-fenol-szulfonsav nagy mennyiségű összetevőjét tartalmazó szulfátos fűrdők viszonylag elterjedtek. Célkitűzésünk egy sokkal olcsóbb megoldás, a tiszta savas ónoldatok felhasználása volt, ezért alapvetően a kénsavas és a reményeink szerint kedvezőbben is felhasználható sósavas oldatok jellemzőit vizsgáltuk. Első lépésben összehasonlítás céljából szerves inhibitorokat (enyv és -naftol) alkalmaztunk. Az eredményeket a 2. ábra mutatja.



2. ábra Mért áramhatásfok a kénsavas és sósavas oldatok szerves adalékmennyiségének függvényében. (adagolt törzsoldatok: 20 g/dm<sup>3</sup> enyv, 10 g/dm<sup>3</sup> -naftol; 1000 A/m<sup>2</sup>, PCR 4s-20:1)

Az adalékok hatását vizsgáló elektrolízises kísérleteket az elzetes vizsgálatok szerint legmegfelelőbbnek talált 1000 A/m<sup>2</sup> látszólagos (geometriai alapfelületre vonatkozó) áramsűrűségekkel hajtottuk végre. Az ábrázolt eredmények két frissen készített elektrolitoldatot alkalmazó párhuzamos kísérlet átlagolásával adódtak. A bemutatott eredmények szerint, a 20 g/dm<sup>3</sup> enyv, illetve 10 g/dm<sup>3</sup> -naftol szerves adalékokat tartalmazó vizes törzsoldatokat változó (0...20cm<sup>3</sup> / 160cm<sup>3</sup>) mennyiségben adagolva, kb. 10%-kal emelhetők az áramhatásfokok a kénsavas esetben, amit az inhibíció erősségének megfelelően tömörebb leválási szerkezet indokol. Az eredmények az enyv hatását mutatják kedvezőbbnek a -naftollal szemben. A szerves adalék mennyiségét tovább növelve a hatás gyengül, hiszen az aktív helyek túlzott blokkolásával a leválást gátolva a katódkorrózió arányát erősíthetik. A sósavas oldatok esetében is meg kellett vizsgálni a kénsavas oldatoknál szokásos szerves adalékok hatását, pusztán az összehasonlítás céljával. A 20 g/dm<sup>3</sup> enyv, illetve 10 g/dm<sup>3</sup> -naftol szerves adalékokat tartalmazó vizes törzsoldatok beadott mennyiségét növelve, a fent leírt PCR áramozás és az elzetesen megfelelőnek talált 100 mA/cm<sup>2</sup> látszólagos áramsűrűséget alkalmaztuk. A sósavkoncentrációt a kénsavval való kémiai egyenértékűség biztosítása szerint állítottuk be. A megismételt kísérletek átlageredményeit a 2b ábra összegezi. Az oxidációs fokozatok közötti - jodometriás titrálással meghatározott - megoszlás igazolta a számításokat, és a sósavas oldással készített elektrolitoldatokban az Sn(II) alak dominált. Így a friss oldatban sem volt erős az Sn(IV) ionok következtében lehetséges katódkorrózió. Az áramhatásfokok kb. 25%-kal magasabbak voltak, mint a kénsavas alapú oldatok esetében. Mivel a kloridos komplexek képződése természetes inhibícióval segítheti az ón egyenletesebb leválását, a szerves adalékoknak itt kevesebb szerepe lehet. A szerves adalékok azonban a katódos redukció aktív helyeit blokkolva a leválás sebességét csökkentik, így a visszaoldódási folyamat szerepe megnövekedhet. Ez a sósavas oldatoknál is tapasztalható a szerves alkotók túladagolásakor.

Megtartva az eddigi kísérleteknél általánosan használt PCR paramétereket és az elzetes vizsgálatokkal optimálisnak talált látszólagos áramsűrűséget a hőmérséklet változtatásának a hatását is tisztázni kellett mindkét típusú elektrolitoldat esetében. Az azonos kémiai mennyiség érdekében itt is 2M HCl és 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oldatokat alkalmaztuk. A különböző hőmérsékleteken 2 óra időtartammal és a friss, illetve használt oldatokkal - külön ismétléssel - végzett kísérletek alapján meghatározott átlagos bruttó áramhatásfokokat a 3. ábra adja meg.

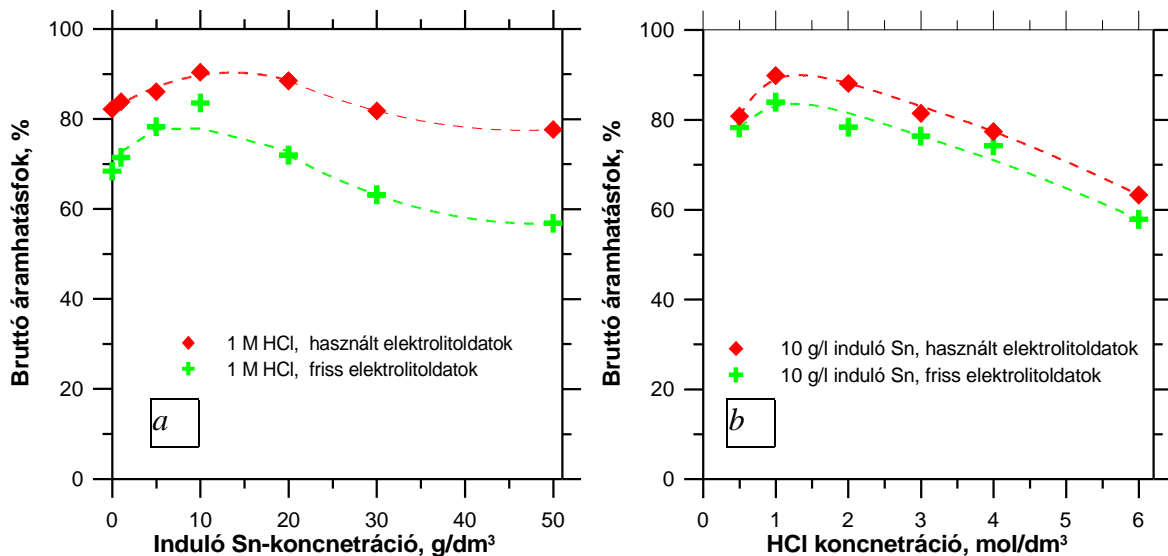


3. ábra A bruttó áramhatásfok változása a sósavas (a) és kénsavas (b) elektrolitoldatok hőmérséklete függvényében ( $1000 \text{ A/m}^2$ , PCR 20:1).

A hőmérséklet növelése a 22 - 30 °C tartományban a sósavas oldatokkal kb. 10% áramhatásfok növekedést eredményez, majd a 35 – 40 °C tartományban a további hőmérsékletemelés közel ugyanennyi áramhatásfok csökkenést okoz. A kénsavas oldatokban is ugyanez a tendencia adódott, de a szintén 22- 30 °C tartományban tapasztalható áramhatásfok növekedés csupán kb. 5%-ot tesz ki. Ez a kísérletsorozat is igazolta a sósavas oldatoknak a hatékonyság tekintetében mutatott jelentős eltéréseit, hiszen a sósavas oldatokkal igen kedvező kb. 90% körüli bruttó áramhatásfokok adódtak, míg a kénsavas oldatokkal alig volt elérhető a 60%-os szint. A frissen készített elektrolitoldatok rosszabb hatékonyságot biztosítanak, mint a katódok cseréje után a már 2 órán keresztül a cellában használt oldattal megismételt elektrolízis. Ez valószínűleg az oldási folyamatból adódó aktív Sn(IV) koncentrációnak tudható be. A friss és a használt elektrolitoldattal kapott áramhatásfokok a sósavas esetben nem mutattak nagy különbséget, ami a kidolgozott forró sósavas oldási technológia megbízhatóságát igazolja. A viszonylag nagy áramhatásfokok szerint ezzel a módszerrel sikerülhet olyan ideális oldatokat előállítani, amelyek öntartalmában az Sn(II) forma dominál. A kénsavas oldatok esetében alkalmazott királyvízes törzsoldat-készítési módszerrel létrejövő enyhén zavaros állapot az első elektrolízis folyamán – jelentős csapadék képződése nélkül – eltűnik, és a friss oldat kb. egy óra elektrolízis idő után színtelenné és tisztává válik.

A zavarosságot okozó Sn(IV) a nagy felületű katódfémmel érintkezve nemcsak katódkorróziót okoz, hanem ugyanakkor Sn(II) képződésével is jár. A királyvíz gyors adagolásakor a törzsoldatban lokálisan képződő SnO<sub>2</sub> hígítás után a hosszú elektrolízis folyamán fokozatosan oldott Sn(IV), Sn(II) formára alakulhat. A nyitott cellában fellépő felszíni oxidáció és az elektródok felületén fellépő kémiai redukció egyúttal az elektrolit önkonzentrációjának a fokozatos növekedését okozza. Erre – különösen az anódos folyamatokra való tekintettel – hosszú időtartamú elektrolízisek esetében figyelemmel kell lenni. A fokozatos önkonzentráció növekedést inert anódos liberátor kádák rendszerbe állítása tudja a legmegfelelőbben ellensúlyozni a gyakorlatban.

Az eddigi vizsgálatok alapján a megbízhatóság, hatékonyság, a termék tisztasága és a gazdaságosság szerint egyaránt az adalékmentes, illetve enyvével minimálisan adalékolt sósavas oldatok bizonyultak a legkedvezőbbnek. Az ilyen oldatok fő alkotóinak az összetételi arányait változtatva érdemes további vizsgálatokat végezni az optimális feltételek kutatására. A biztonságos oldatstabilitáshoz legalább szükséges 1 M HCl koncentráció mellett először a különböző öntartalmakkal elérhető áramhatásfokokat vizsgáltuk. Majd az általában alkalmazott 10 g/dm<sup>3</sup> induló önkonzentráció mellett a sósav koncentrációját változtattuk. A friss oldattal végzett két órás elektrolízis után a katódokra levált fémet eltávolítva és megmérve, az elektrolízist ugyanazzal az oldattal megismételtük minden esetben. Az oldatok induló önkonzentrációja, illetve a sósav koncentrációja függvényében ábrázolt bruttó áramhatásfokokat a 4. ábra mutatja.



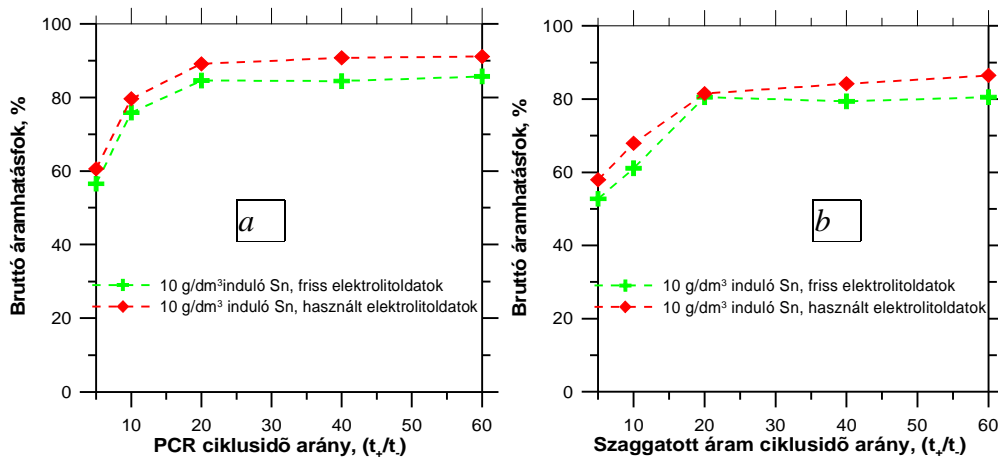
4. ábra A bruttó áramhatásfok változása a sósavas elektrolitoldatok ónkonzentrációja (a, illetve a sósav koncentrációja (b) függvényében ( $1000 \text{ A/m}^2$ , PCR 20:1).

A katódos áramhatásfok szempontjából a legkedvezőbb ónkonzentráció  $10 - 15 \text{ g/dm}^3$  értékre tehető. Ennél kisebb óntartalmak esetén a hidrogénleválás, nagyobb ónkonzentrációkon az ezzel járó nagyobb Sn(IV) mennyiség erősebb katódkorróziós hatása, illetve az oldat fizikai jellemzői miatt csökken az ionmozgékonyosság, illetve diffúzió csökkentheti az áramhatásfokot. A friss oldatok rendre kisebb áramhatásfokot eredményeztek mint a már használtak, különösen a nagyobb összes óntartalmak esetén. A hosszú elektrolízis folyamán az Sn(IV) fokozatosan még mindig oldott, de inaktív ónsavvá alakulhat. Így csökken az agresszív Sn(IV) koncentrációja. Ezért adnak rendre nagyobb áramhatásfokokat a már 2 órán át használt elektrolitoldatok. A további használat során dúsuló ónkonzentráció természetesen ezzel ellentétes hatást fejt ki. Ezt a mechanizmust igazolják a 4b ábrán látható sósav-koncentráció függvényében kapott eredmények. A sósav koncentráció markánsan befolyásolja az áramhatásfokot. A legkedvezőbb érték az  $1-1,5 \text{ mol/dm}^3$  HCl koncentrációhoz tartozik. Ennél kevesebb sósav nem tudja biztosítani a megfelelő stabilitást és az oldat könnyen zavarossá válik, egyben csökkentve a hasznos óntartalmat, valamint az oldat fizikai tulajdonságain keresztül kedvezőtlenül befolyásolhatja az ón ionok diffúziósebességét is. A  $2 \text{ mol/dm}^3$ -nél nagyobb sósav koncentráció pedig a Sn(IV) stabilitását hirtelen csökkenti, ami a káros korrozív reakció erősségét okozza. Ugyanebben az irányban hat a friss és használt oldatokkal kapcsolatban fent leírt mechanizmus, a kloridos komplexképzésen keresztüli aktiváló hatás is.

- 3) A periódikus áramirányváltás hatásának vizsgálata a paraméterek különböző értékei mellett.

Alapvetően, a PCR, illetve a periodikusan szaggatott egyenáram (SZDC) ideális ciklusidő arányának ( $t_+/t_-$ ) a meghatározása volt a cél. A kísérletek a korábbiakhoz hasonlóan, kétórás elektrolízisekkel és friss valamint ismételten használt oldatokkal kerültek elvégzésre. Az oldat összetételének az alakulását minden esetben jodometriás elemzésekkel követtük. A vizsgálatok során kapott bruttó áramhatásfokokat az 5. ábra illusztrálja.



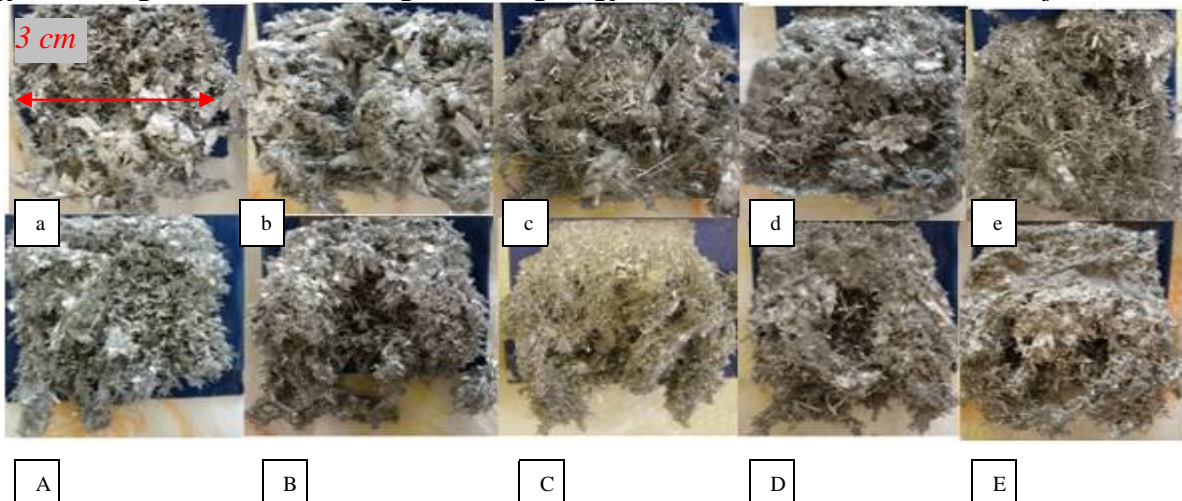


5. ábra. A bruttó áramhatásfok a PCR (a), illetve az SZDC (b) periódusidő arányának függvényében (10 g/dm<sup>3</sup> Sn, 1 M HCl, 1000 A/m<sup>2</sup>)

Az 5. ábrából látható, hogy friss és használt oldatok esetében egyaránt kb. 20-as ciklusidő arányig meredeken nő az áramhatásfok értéke, mind a PCR, mind pedig az SZDC áramalakok eseteiben. Tovább növelve az elemi periódus relatív idejét, a kapott áramhatásfok gyakorlatilag változatlan. A hosszabb egyenáramú periódusok alatt mért nagyobb Sn(IV) mennyiség a katódkorrózió keresztül az ónkoncentráció növekedését, leválási veszteséget okozhat, valamint a periodikus árammegfordítás morfológiára gyakorolt kedvező hatása is csökken. A használt oldatok esetében tapasztalt magasabb áramhatásfok eredmények annak tulajdoníthatóak, hogy az aktív Sn(IV) mennyisége időben folyamatosan csökken, hiszen a hosszú elektrolízis folyamán az Sn(IV) fokozatosan még mindig oldott, de inaktív ónsavvá.

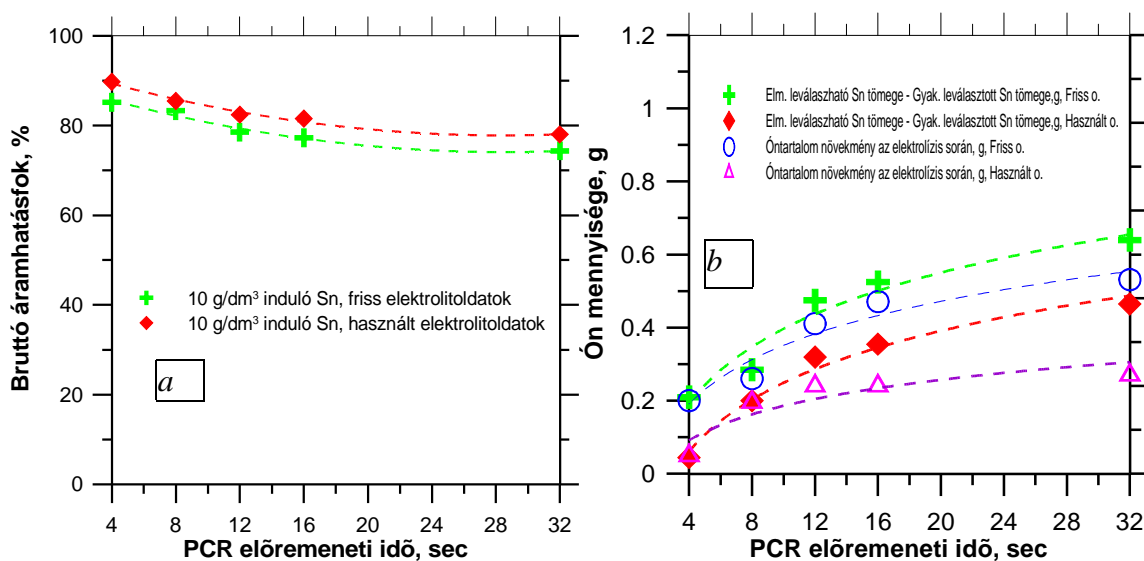
A kísérletek során kapott jellemző katódos leválási képeket a 6. ábra szemlélteti. A viszonylag nagy tömegű katódos leválás felületén nem tűnik ki a periódusidő arány változtatásának a hatása, különösen a szaggatott egyenáram esetében. Szűk sávban elhelyezkedő új kristályosodási helyek a PCR árammal jelentkeznek. A rövidebb periódusidő arány, a nagyobb visszaoldási hányad miatt, egyenletesebb leválást eredményezett. A periódusidő arány növelésével PCR áramalak esetén jelentkezik a hidrogénleválás látható jele is a katód felső harmadában. A megforduló áram itt a hosszabb elemi periódus alatt lecsökken az Sn-koncentrációja, rosszabb ion-utánpótlású felső oldatrétegben okozhat erősebb visszaoldódást, így kisebb fajlagos felületet, azaz nagyobb lokális áramsűrűséget, koncentrációs polarizációt, így végül hidrogénleválást. Az időarány csökkentése finomítja a kristályszerkezetet, így nagyobb fajlagos felületet kényszerítve a levált fémre, az ón felületi koncentrációja kevésbé csökken.

A PCR ciklusidejének (t<sub>+</sub> + t<sub>0</sub>) a változtatása miatt bekövetkező hatásokat is megvizsgáltuk konstans (20-as) periódusidő arány alkalmazásával. Az elemi periódusidő növekedésének az áramhatásfokra, illetve az oldatbeli ónkoncentrációkra valamint az elméletileg leválasztható és a gyakorlatilag leválasztott óntömeg különbségére gyakorolt hatását az 7. ábra illusztrálja.





6. ábra A katódos leválás változása a szaggatott egyenáram és a PCR periódusidő ( $t_+/t_-$ ) arányának függvényében ( $10 \text{ g/dm}^3 \text{ Sn}$ ,  $1 \text{ M HCl}$   $1000 \text{ A/m}^2$ ; a-e: 5,10,20,40,60 ( $t_+/t_-$ ) arányú SZDC; A-E: 5,10,20,40,60 ( $t_+/t_-$ ) arányú PCR).

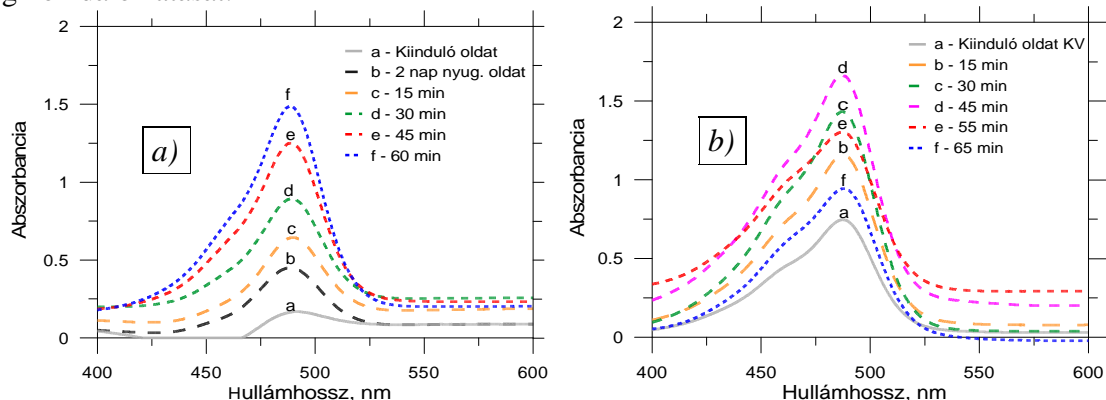


7. ábra. A bruttó áramhatásfok (a) illetve az elméletileg leválasztható és a leválasztott óntömegek különbsége, valamint az oldatban oldódott ón mennyisége (b) a PCR áram ciklusidejének függvényében ( $t_+/t_- = 20$ ,  $10 \text{ g/dm}^3 \text{ Sn}$ ,  $1 \text{ M HCl}$   $1000 \text{ A/m}^2$ ).

Látható, hogy ciklusidő növelése a bruttó áramhatásfok szempontjából kedvez tlen a friss és használt oldatok esetében egyaránt. Ezt alátámasztja az 55.b ábra is, ahol látható, hogy a hosszabb ciklusokkal n az elméletileg leválasztható és a gyakorlatilag leválasztott óntömeg különbsége és ezzel együtt az oldat óntartalma is.

- 4) Az ón oxidációs állapotának hatása az elektrolitos raffinálás jellemz ire. Vizsgálatok az oxidációs fok szabályozásának lehet ségére és eredményességére. Az elektrolit áramoltatásával elérhet hatások vizsgálata.

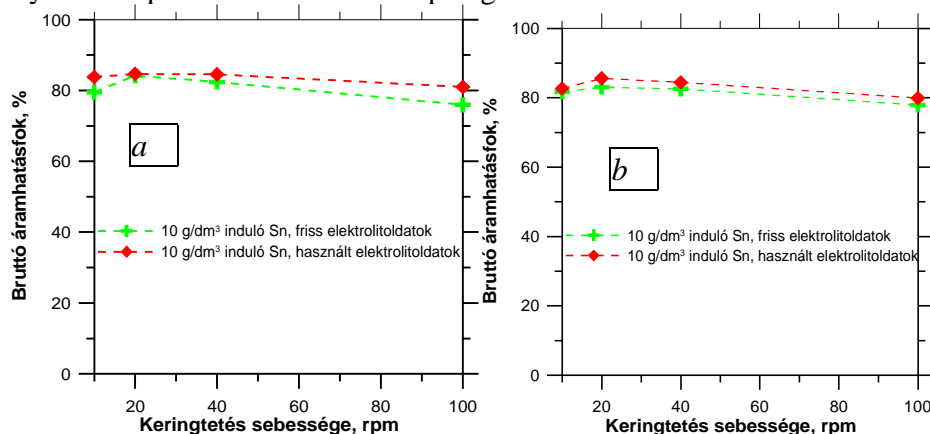
Az elektrolitoldat stabilitását nagymértékben befolyásolja az Sn(II) ionok oxidációja. A leveg oxidáló hatásának kimutatására egy membrános leveg kompresszor segítségével leveg buborékokat vezetünk  $50 \text{ cm}^3$  frissen elkészített oldatba, ahol  $10 \text{ g/dm}^3$  volt az Sn és  $1 \text{ mol/dm}^3$  a HCl koncentrációja. A mérés során kapott spektrumokból rendre kivontuk az ónmentes  $1 \text{ M HCl}$  fenil-fluoronnal alkotott spektrumát. Az 8. ábrán látható, hogy a buborékoltatás közben az Sn(IV) ionok spektrumának  $490 \sim 500 \text{ nm}$ -nél lévő csúcsa egyre jobban n , mutatva a leveg oxidáló hatását.



8. ábra A levegő buborékoltatás oxidáló hatása a) forró savas oldással és b) feleslegben adott királyvizes oldással készített oldatok esetében.

Levegőn való 2 napos nyugalomban állás során (5.a ábra „b” görbéje) az oldatba lassan kerül oxigén hatása figyelhető meg, mely az Sn(IV) forma mennyiségének enyhe növekedését eredményezi. Szükséges volt megvizsgálni a hosszabb idejű tárolás során fellépő változásokat. A vizsgálatok megmutatták, hogy a forró sósavas oldással készített oldatok stabilabbak, mint a királyvizes módszerrel készítettek. Ugyanakkor, a tiszta sósavas oldatok esetében is jelentős változások léphetnek fel a fémes ónnal érintkezésben tárolt oldat önkonzentrációjában és a precipitációval szembeni stabilitásában. Ennek vizsgálatára 10 - 30 g/dm<sup>3</sup> öntartalmú és 50 cm<sup>3</sup> térfogatú tiszta sósavas kiinduló oldatokhoz adtunk ónport és nyugalomban, légköri érintkezésben hosszú időn keresztül tárolva figyeltük meg a változásokat. A hosszú idő alatt megjelenő halványsárga szín folyamatosan egyre erősebb lett és emellett az oldatban elkezdett megjelenni a fehér csapadék is. Ezeket a csapadékokat megvizsgáltuk és egyrészt a keletkező ón-dioxid-hidrát, valamint az oldódó fém miatt túltelítetté váló ón-klorid kristályok azonosíthatóak. Az Sn(IV) koncentrációjának a növekedése az ónsav képződését segíti, mivel egyre kevesebb az oldatban [SnCl<sub>x</sub>]<sup>4-x</sup> alakban stabilizálható kloro-komplex ionok képzéséhez szükséges kloridionok relatív mennyisége. Ennek eredményeként az oldatban a hosszú állásidő alatt a képződő SnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O molekulák a polikondenzáció következtében olyan oldott formájú alakot képeznek, melyek fényelnyelési spektruma már benyúlik a látható tartományba.

Az egyenletesebb leválási morfológia valamint az áramhatásfok növelése céljából érdemes megvizsgálni az elektrolit oldat keringtetésének a hatását. A speciális kísérleti elektrolizáló cellával megoldható az oldat keringtetése a katód- és az anódtérben az elektrodok felső illetve alsó eleinek magasságában történő be- és kivezetésekkel. A kísérletek során az elektrolitoldatot az anódtér alsó harmadából kivezelve, a katódtér felső illetve alsó harmadába tápláltuk vissza. Ez elősegíti az oldat homogenizálását illetve az ónban feldúsult oldatnak a katód felső felületrézére jutását. A kísérletek a perisztaltikus szivattyú négy különböző keringtetési sebességén (10-20-40-100 rpm), folytatták a kapott áramhatásfokokat pedig a 9.a-b ábrák szemléltetik.



9. ábra. A bruttó áramhatásfok (a) alsó elektrolit bevezetés – b) felső elektrolit bevezetés, 10 g/dm<sup>3</sup> Sn, 1 M HCl, 4:0,2 PCR áram, 1000 A/m<sup>2</sup>)

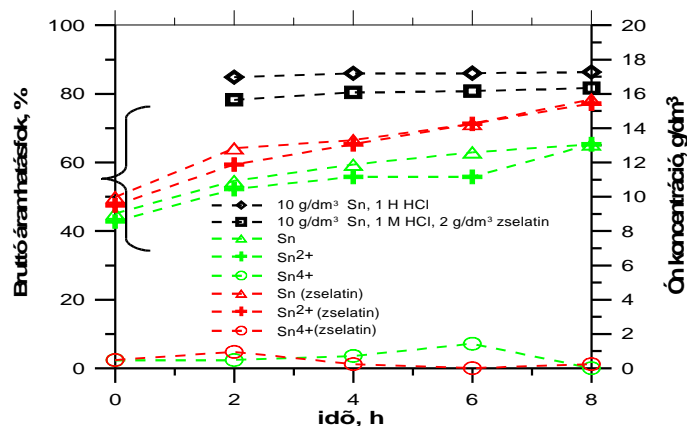
A keringtetési sebesség nem befolyásolja számottevően a katódos áramhatásfokot. Egy viszonylag enyhe, a perisztaltikus szivattyú 20 rpm-es beállításának megfelelő keringtetés adta a legnagyobb áramhatásfokokat. A keringtetési sebesség további növelése csökkenti, az oldat bevezetési szintje pedig alig érzékelhetően befolyásolja az áramhatásfokot. A jodometriás elemzési eredmények azonban a keringtetési sebességgel együtt növekvő oldott óntartalmat mutatnak. Ez pedig az Sn(IV)-es forma erősebb katódkorróziós hatását jelzi.

- 5) A katódon leválasztott fém tisztaságának fokozása az elektrolit kezelésével és az elektrolízis paramétereinek az optimalizálásával. A katódfém olvasztásához szükséges

feltételek meghatározása. Az elektronikai ónhulladék feldolgozására alkalmas eljárás elérhető tisztítási fok, illetve tisztaság meghatározása

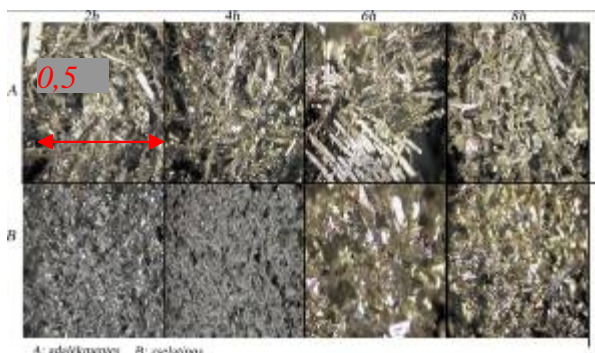
A sósavas közegekben végzett ónraffinálás jellemzőinek és folyamatainak részletes vizsgálata során kialakultak a gyakorlat számára is hasznosítható beállítások. A kialakítandó technológia finomítása végett érdemes megvizsgálni a korábbi kísérletek során ideálisnak bizonyult beállításokkal hosszú távú elektrolízisek során az áramhatásfok, az oldat összetétel a leválási jellemzők alakulását. Habár a kutatómunka célja, hogy olyan oldatkémiai és technológiai beállításokat javasoljon, amellyel jó áramhatásfok mellett megfelelő leválási tömörség érhető el adalékok nélkül is, az összehasonlítás érdekében zselatin inhibitor adagolását is vizsgáltuk ebben a kísérleti szakaszban. A kísérletek kivitelezésére két, elektromosan sorba kötött laboratóriumi elektrolízis cellában került sor. A vizsgálat 8 órán keresztül tartott és a reprodukálhatóság érdekében kétszer megismételtük. A katódokat kétóránként kiemeltük és kiszáritás után lemértük. Ezzel egy időben, az oldat ón- és sósavtartalmát mikropipettával kivett minták jodometriás, illetve alkáli acidimetriás titrálásával ellenőriztük. Az induló elektrolit oldat  $10 \text{ g/dm}^3 \text{ Sn}$ ,  $1 \text{ M HCl}$  tartalmú volt, az adagolt zselatin mennyiségét pedig – a rézfinomításnál is használt –  $2 \text{ g/dm}^3$  mértékben adagoltuk. A látszólagos áramerősség  $1000 \text{ A/m}^2$  értéken volt szabályozva. A cellán átfolyó áramerőssége és a cellafeszültség mérése a Labview adatgyűjtő rendszer segítségével történt. A 10. ábra az adott kétórás időszakban mért bruttó rész-áramhatásfokokat és az oldatok óntartalmát mutatja az idő függvényében.

A zselatin alkalmazása hosszú távú üzemelés esetén is csökkenti – kb. 7%-kal – az áramhatásfokot az adalékmentes oldatokhoz képest. Míg az adalékmentes oldat esetén az ón mennyisége  $13 \text{ g/dm}^3$  körüli értékre csökkent a kezdeti  $10 \text{ g/dm}^3$  koncentrációról, a zselatinos esetben ez majdnem elérte a  $16 \text{ g/dm}^3$  értéket az elektrolízis végén. A katódfelületet részben befedte, az aktív helyeken a leválást akadályozó zselatin molekulák növelik a túlfeszültséget és elcsúsztatják a hidrogén leválását.



10. ábra. A bruttó áramhatásfok és az oldatban oldódott ón mennyiségnek a változása hosszú távú elektrolízis során adalékmentes és  $2 \text{ g/dm}^3$  zselatinnal adalékolt elektrolit oldatokban ( $10 \text{ g/dm}^3 \text{ Sn}$ ,  $1 \text{ M HCl}$ ,  $4:0,2$  PCR áram,  $1000 \text{ A/m}^2$ )

A részletesebb elemzéséből adódik, hogy az adalékmentes esetben a 8 órás elektrolízis során a leválasztott fém mennyisége  $13,68 \text{ g}$  ami  $0,66 \text{ g}$ -mal kevesebb mint az elméletileg leválasztható  $14,34 \text{ g}$  ón. A  $150 \text{ cm}^3$ -es oldat ón tartalomnövekménye  $0,61 \text{ g}$ , ami hidrogénleválás illetve visszaoldódás folytán keletkezik. Csupán  $0,05 \text{ g}$  hiánnyal nem tudunk elszámolni. Ez a mérési hiba mellett tulajdonítható anódos oxigénfejlődésnek is. A katódos leválás mikroszerkezetéről készült optikai mikroszkópos felvételek a 11. ábrán mutatják, hogy a zselatin alkalmazása esetén az első négy órában tapasztalt leválási eredményen porózus a hidrogénképződés miatt. A negyedik, a hatodik és a hatodiktól a nyolcadik óráig tapasztalt leválások során inkább nyúlványos szerkezetek az adalékmentes esethez viszonyítva.



11. ábra. Katódfehér képe (A) adalékmentes és (B)  $2\text{g/dm}^3$  zselatinos elektrolitoldatok esetén ( $4\times$ -es nagyítás,  $10\text{ g/dm}^3\text{Sn}$ ,  $1\text{ M HCl}$ ,  $4:0,2\text{ PCR}$  áram,  $1000\text{ A/m}^2$ )

A vizsgált 8 órás üzemi idő alatt nem jelentkezett az oldat szennyezésének a dúsulása. Ezért nincs szükség tehát folyamatos ioncserés oldattisztító lépés közbeiktatására. Sokkal hosszabb idő alatt természetesen felszaporodhatnak a negatívabb elektródpotenciálú szennyezés elemek az oldatban. Ezért egy üzemszerű megvalósításnál – a rendszeres oldatanalítika mellett - szükséges lehet az elektrolitoldatot időnként egyszerre frissíteni. A kivett oldatrészt inert anódos cellában kell mértékben óntalanítani lehet, majd a maradék kis óntartalmú szennyezés oldatot bepárlással lehet kristályosítani, miközben a savtartalom regenerálható. A kapott katódfehér összetételét és tisztulási fokát tartalmazza az 1. táblázat.

1. táblázat. A nyers anódfém és a tisztított katódfehér összetétele és tisztulási foka ( $T_i$ ) ( $10\text{ g/dm}^3\text{ Sn}$ ,  $1\text{ M HCl}$ ,  $4:0,2\text{ PCR}$ ,  $1000\text{ A/m}^2$ )

Anyag	Szennyezés koncentráció, %								
	Ag	As	Bi	Cu	Fe	Ni	Pb	Sb	Össz.
Anód	0,0805	0,0005	0,0414	1,9605	0,0050	0,0004	0,0187	0,0367	2,1437
Katód	0,0004	0,0001	0,0004	0,0063	0,0004	0,0000	0,0036	0,0003	0,0115
$T_i$	192	5	97	313	14	31	5	140	186

Az elért tisztaság mindkét esetben 99,98 %- Sn tartalomnál nagyobb, ami jóval fölülmúlja a Londoni fémtisztító forgalomban lévő 99,85 %-os tisztaságú technikai ónt minőségét. A kísérletek azt igazolták, hogy a  $10\text{ g/dm}^3\text{ Sn}$ ,  $1\text{ M HCl}$  tartalmú adalékmentes elektrolit oldatok  $1000\text{ A/m}^2$  látszólagos áramsűrűség és  $4:0,2\text{ s}$  periódusidő arányú PCR áramalak használatával és intenzív keringtetés alkalmazása nélkül eredményezik a legmagasabb áramhatásfokot és a legjobb leválási morfológiát. Ilyen technológiai paraméterek mellett hosszú távon, 8 órás elektrolízisek során a 85 %-os bruttó áramhatásfok és közel 99,99%-os tisztaság folyamatosan elérhető. A kifejlesztett és optimalizált technológia eredményességét mindemellett a gyakorlatban még egy utólagos lépés, a katódfehér olvasztása is befolyásolja. A kapott katódfehér olvasztása a kihozatal és az elszennyezés tekintetében kényes művelet. A lassú olvasztást biztosító ellenállásfűtés kemencében a dendrites ónt nagy része oxiddá alakulhat és elszalagolhat. Ez úgy kerülhet elő, ha ellenállásfűtés kemence esetén már meglévő ónolvadékba merítve olvad meg a katódfehér, illetve egy intenzívebb hőközléssel, nyílt lángon, kerámia olvasztótégelyben gyorsabban végezzük az olvasztást. A levegőt elzárta tér nehezen valószínűsíthető meg, de ha nedves a frissen lemosott katódfehér, a képződő vízgőz alatt olvasztva az oxidáció is jelentősen visszaszorul. A gyakorlatban alkalmazható technika lényege, hogy először a katódfehér levált laza szerkezetet ónt mechanikusan tömörítjük és desztillált vízben, vagy enyhén savas közegben tároljuk, közben a kerámia olvasztótégelyt nyílt lángú gázégővel előmelegítjük. Második lépésben a kimosott, nedves, tömörített katódfehér az előmelegített olvasztótégelybe helyezük, majd lefedjük egy másik kerámiaolvasztótégellyel és nyílt lángon másodpercek alatt megolvastjuk. Így gyakorlatilag veszteség nélkül nyerhetünk a katódfehér olvadékot, amelyet tetszés szerinti formára önthetünk. A kémiai

analízis megmutatta, hogy a kifejlesztett technológiával az olvasztás után is 99,96 % Sn tisztaság érhető el. A végelemzés eredményeit a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat. A katódfelem olvasztás után kapott jellemző összetétele

Anyag	Szennyező koncentráció, %										
	Ag	As	Bi	Cu	Fe	Ni	Pb	Sb	Al	Zn	Cr.
Anód	0,0805	0,0010	0,0414	1,9605	0,0050	0,0004	0,0187	0,0367	2,1442	0,0010	0,0025
Olv. katód	0,0017	0,0005	0,0001	0,0096	0,0241	k.h.a.	0,0008	0,0026	0,0013	0,0005	0,0004
$T_i$	49	2	349	205	-	-	25	14	1632	2	6

A kutatási munkával kifejlesztett és optimalizált technológia így az oldatstabilitás, áramhatásfok, leválási morfológia, olvashatóság valamint tisztasági fok szempontjából eredményesen alkalmazható. A projekt kutatási feladatait a kitöltött munkaterv szerint hajtottuk végre. Egyetlen ponton vált szükségessé módosítani. Mivel az elektrolitoldat tisztaságát oldható szennyezők észrevehető mértékben nem befolyásolták, nem volt szükséges ioncserés tisztításnak alávetni. Ugyanakkor a terven felül, jelentős munkát és időt kellett befektetni a sósavas ón-klorid oldat stabilitási feltételeinek, a precipitációs jelenségek természetének kutatására.

### A projekt eredményeit illusztráló megvalósítás

A kutatás fő eredményeit összefoglaló fenti összefoglalás bemutatta az adalékmentes sósavas oldatokkal végzett elektrolitos ónraffinálás megvalósításához alapul szolgáló eredményeket. Ezeknek megfelelően megvalósítottuk az eljárást egy különleges – elektromechanikus és alternatív megtáplálást is alkalmazó – prototípus cella megépítésével. Ennek a szerkezetét és a kutatási eredményeket igazoló munkáját az 1. Melléklet mutatja be részletesen.

### Projekt tervezett és tényleges időtartama

A projekt tervezett időtartama 2010.04.01. és 2011.12.31. között esett, a tervezett időtartamtól a munka során nem térünk el.

### A projekt résztvevői

A projektben 7 fő vett részt:

Szakértő neve	Szakértő azonosítója	Közreműködés státusza*	Munkaidő ráfordítás (FTE nap)
Prof. Dr. Kékesi Tamás		MTA doktora	344
Dr. Török Béla		PhD fokozatú kutató, projekt menedzser	344
Kovács Árpád		PhD fokozat nélküli kutató	246
Rimaszéki Gergő		PhD hallgató	458
Máté Csilla		PhD hallgató	458
Kulcsár Tibor		Egyetemi hallgató	458
1 fő		asszisztens	458
Összesen (FTE nap)			2766

**Dr. Török Béla** (projektmenedzser, kutató): Okleveles kohómérnök, műszaki PhD. tudományos fokozattal (1999), egyetemi diplomás történelemtanár ill. bölcsész. 1999-től a regionális hatáskörű Borsodi Transzít Foglalkoztatási Kht. (átalakulva: közhasznú nonprofit kft.) ügyvezetője. Az

említett szervezeteknél az elmúlt 5 évben több nagyobb tudományos, képzési, humán forrás-fejlesztési programkidolgozója és szakmai vezetője. A projektbeli szerepe a több vizsgálati helyszín tudományos munkájának koordinálása, a projekt menedzselése, a tudományos munka hatékonyságának, logisztikájának ellenőrzése, a külső szervezeti megbízás és a projekt kifelé irányuló disszeminációjának kontrolálóját, irányítóját, kutatóként részvétel a projekt egyes metallográfiai és analitikai vizsgálatában, kiértékelésében.

**Prof. Dr. Kékesi Tamás** (vezető kutató): Okleveles kohómérnök, fémmetallurgus, egyetemi tanár, volt dékánhelyettes a Miskolci Egyetem M szaki Anyagtudományi Karán. 1991-1994 között Monbusho ösztöndíjas kutató a Tohoku Egyetemen (Japán). 2005-ben habilitált, 2006-tól az MTA doktora (DSc). Vezető kutatóként a projektmenedzserrel folyamatos kapcsolatot tartott fenn, a négy további kutató munkáját irányította, ellenőrizte, integrálta, a részkövetkeztetéseket lektorálta, a végső konklúziókat és a kifejlesztendő technológia alapvető paramétereit meghatározta.

**Kovács Árpád** (kutató): Okleveles kohómérnök, anyagvizsgáló üzemmérnök. Projektbeli tevékenysége két szakaszra volt bontható, ami nem fedte le a projekt teljes időtartamát. A projektben speciális, személyét nélkülözhetetlenné tevő tevékenységet végzett, a hulladékminták és tisztított katód-fém-minták sorozatos, elektronmikroszkópos metallográfiai vizsgálatát és azok komplex kiértékelését végezte.

**Rimaszéki Gergő** (kutató): Okleveles kohómérnök, fémmetallurgus a Kerpely Antal Anyagtudományok és –technológiák Doktori Iskola PhD-hallgatója a Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Tanszékén. A projektben kutató pozíciót töltött be, feladata volt a laboratóriumi vizsgálatok megszervezése, rendszerezett kivitelezése, ábrák, diagramok készítése és jelentések írása, konklúziók levonása. A projekt során kapott eredményekből 1 PhD disszertációt készített, a program időtartama alatt számos előadást tartott az adott témában.

**Máté Csilla** (kutató): Okleveles kohómérnök, öntész-metallurgus a Kerpely Antal Anyagtudományok és –technológiák Doktori Iskola PhD-hallgatója a Miskolci Egyetemen. Jelen projektben kiegészítő szerepet vállalt, laboratóriumi mérések előkészítésében, minták készítésében, elemzésében vett részt. A laboratóriumi rend, tisztaság fenntartásáért, a vegyszerek, berendezések kezeléséért felelt.

**Kulcsár Tibor** (kutató): A Miskolci Egyetem M szaki Anyagtudományi karának fémmetallurgus hallgatója, 2009-től a Metallurgiai és Öntészeti Tanszék demonstrátora. A kutatói team a többi fiatal kutatójához hasonlóan is tevékenyen részt vett valamennyi KFI munkafázisban, kiemelten az óxidációs fokának vizsgálatában. Fontos feladata volt a kísérleti eszközök kiépítésében, karbantartásában. A projekt témájából diplomamunkát írt.

**1 f** (kiegészítő-asszisztens) Feladata gyakorlatilag minden olyan praktikus logisztikai, technikai, laborszervezésbeli segítség nyújtása volt, ami szükséges a kutatómunka zavartalan lebonyolításához.

#### A projekt során teljesített indikátorok

Indikátorok	Céltérték db/f	Céltérték FTE
<b>1. A projekt közvetlenül hasznosítható eredményei</b>		
Kifejlesztett új termék (db)	0	
Kifejlesztett új szolgáltatás (db)	0	
Kifejlesztett új technológia (db)	1	
Kifejlesztett prototípus (db)	1	
Szabadalmi bejelentések száma	1	



ebb 1 benyújtott hazai szabadalmak száma (db)	1	
ebb 1 benyújtott nemzetközi szabadalmak száma (db)	0	
Bejegyzett szabadalmak száma (db)	0	
ebb 1 bejegyzett hazai szabadalmak száma (db)	0	
ebb 1 bejegyzett nemzetközi szabadalmak száma (db)	0	
Benyújtott hazai használati mintaoltalmi bejelentések száma (db)	0	
Bejegyzett hazai használati mintaoltalmak száma (db)	0	
Benyújtott hazai formatervezési mintaoltalmi bejelentések száma (db)	0	
Bejegyzett hazai formatervezési mintaoltalmak száma (db)	0	
Benyújtott hazai növényfajta-oltalmi bejelentések száma (db)	0	
Bejegyzett hazai növényfajta-oltalmak száma (db)	0	
Állami min sítésre bejelentett fajtajelölt (db)	0	
Állami min sítésre bejegyzett fajtajelölt (db)	0	
Projekt eredményeként létrejött új projektek száma (db)	3	
ebb 1 új hazai projektek száma (db)	3	
ebb 1 új nemzetközi projektek száma (db)	0	
A projektben hasznosított magyar szellemi termékek száma (db)	0	
<b>2. Emberi er forrás</b>		
A projektbe bevont foglalkoztatottak száma összesen (f , FTE)	7	2766
ebb 1 a projektbe bevont n k száma (f , FTE)	2	916
ebb 1 a projektbe bevont PhD hallgatók száma összesen (f , FTE)	2	916
ebb 1 a projektbe bevont n i PhD hallgatók száma összesen (f , FTE)	1	458
ebb 1 a projektbe bevont posztdoktorok száma összesen (f , FTE)	0	0
ebb 1 a projektbe bevont n i posztdoktorok száma összesen (f , FTE)	0	0
ebb 1 a projektbe bevont fiatal kutatók száma (f , FTE)	3	1374
ebb 1 a projektbe bevont n i fiatal kutatók száma (f , FTE)	1	458
ebb 1 a projekt révén létrejött új kutatói munkahelyek száma összesen (db)	5.25	2308
ebb 1 a projektben résztvev tudományos fokozattal rendelkező kutatók száma (f , FTE)	2	688

ebb 1 a projektben résztvevő tudományos fokozattal nem rendelkező kutatók száma (f ,FTE)	4	1620
A projektben résztvevő kutatók száma (f , FTE)	6	2308
ebb 1 35 év alatti kutató (f , FTE)	3	1374
ebb 1 35 év alatti n i kutató (f , FTE)	1	458
ebb 1 36-55 év közötti kutató (f , FTE)	3	934
ebb 1 36-55 év közötti n i kutató (f , FTE)	0	
ebb 1 56-65 év közötti kutató (f , FTE)	0	
ebb 1 56-65 év közötti n i kutató (f , FTE)	0	
ebb 1 65 év fölötti kutató (f , FTE)	0	
ebb 1 65 év fölötti n i kutató (f , FTE)	0	
A projekt kapcsán hazatelepült kutatók száma (db)	0	
<b>3. Társadalmi és gazdasági hasznosítás</b>		
Horizontális szempontok érvényesítése (fenntartható fejlődés, környezetvédelem, esélyegyenlőség, biztonság, regionális egyenlőtlenségek mérséklése)	6	
Disszertációk száma (db), típusa (BSc, MSc, PhD, MTA doktora)	1 PhD, 1 BSc	
A projekt eredményeinek nyilvános terjesztése, pl. nyilvános fórumon történő bemutatása (formája és száma, db)	Honlap: 1 Előadás: 5 Írásos: 3	
hazai fórumokon (db)	3	
nemzetközi fórumokon (db)	5	
Oktatásban / képzésben hasznosított eredmények formája és száma (db)	2	
A projekt eredményeit bemutató publikációk száma (db)	6	
ebb 1 hazai publikációk száma (db)	3	
ebb 1 nemzetközi publikációk száma (db)	3	
A projekt eredményét hasznosítók száma összesen (db)	7	
ebb 1 KKV (db), székhelye(k)	0	
ebb 1 nagyvállalatok (db), székhelye(k)	5 Miskolc, Hatvan, Tiszaújváros, Székesfehérvár, Szombathely	
ebb 1 nemzetközi (db), székhelye(k)	2 Stuttgart (mindkettő)	
Létrehozott Spin-off cégek száma (db)	0	
A projekt révén létrejött új ipari kapcsolatok száma (db)	3	
<b>4. Forrásbevonás</b>		
A projektbe bevont saját forrás (eFt)	2822	
A saját forráshoz bevont külső tőke összege összesen (pl. kockázati tőke, bankhitel stb.) (eFt)	0	

ebb 1 hazai t kebefektetés (eFt)	0	
ebb 1 külföldi t kebefektetés (eFt)	0	
<b>5. Hosszú távú gazdasági hasznosítás (projektzárást követ 3-5 évben)</b>		
Az eredményt hasznosító cég(ek), intézmények, szervezetek, vállalkozások száma (db) és székhelye	7 Stuttgart-Miskolc, Stuttgart-Hatvan, Tiszaújváros, Székesfehérvár 2, Szombathely, Ózd	
A projekt eredményét hasznosítók száma összesen (db)	7	
ebb 1 KKV (db), székhelye(k)	0	
ebb 1 nagyvállalat (db), székhelye(k)	Miskolc, Hatvan, Tiszaújváros, Székesfehérvár, Szombathely	
ebb 1 nemzetközi (db), székhelye(k)	2 Stuttgart (mindkett )	
Megtartott munkahelyek száma (db)	2	
A projektben hasznosított magyar szellemi termék(ek) száma (db)	0	
Projektet megel z releváns projektek száma (db)	1	
ebb 1 hazai (db)	1	
ebb 1 külföldi (db)	0	
A projekt eredményeként létrejött többlet árbevétel (eFt)	0	
ebb 1 belföldi árbevétel (eFt)	0	
ebb 1 külföldi árbevétel (eFt), és az országok felsorolása, ahonnan az árbevétel származik	0	
A projekt eredményeként elért költségcsökkentés, megtakarítás (eFt)	0	
További együttm ködés egyetemmel, kutatóintézettel (db, projektek nevei)	3 „A nemes és színesfémtartalom hasznosítása környezetbarát hidrometallurgiai módszerekkel célirányosan el készített elektronikai hulladékokból” c. HUS K projekt pályázata., továbbá TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-0001-2010 jel pályázat keretein belüli K+F kutatási projekt, valamint a TÁMOP-	