

# Alumíniumolvasztási maradék salakok sótartalmának hatékony eltávolítása

## Efficient removal of salts from the residual dross of aluminium melting

I. B. ILLÉS<sup>1</sup>, H. ZAKIYYA<sup>2</sup>, T. KÉKESI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, illesistvan111@gmail.com

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, hannazakiyya@unesa.ac.id

<sup>3</sup>Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Energia és Minőségügyi Intézet, kekesi@uni-miskolc.hu

*Absztrakt. Nagy mennyiségű és nagy sótartalmú végsalak származik az alumíniumötvözetek hulladék alapú gyártásánál keletkező primer olvasztási salakok meleg (thermo-mechanikus) feldolgozásából. Az oxidos mátrix mellett ebben viszonylag kevés (5 ~ 10 %) fém és jelentős mennyiségű kloridos alkotók (30 ~ 40 % NaCl és KCl), valamint egyéb vegyületeket fordulnak elő. A vízben oldható, illetve azzal reagáló anyagok miatt, ez a Magyarországon is évi több ezer tonnás nagyságrendben keletkező ipari maradványanyag veszélyesnek minősül és valós környezetvédelmi terhet jelent. A gazdaságos technológiát célzó laboratóriumi kísérletek szerint, a kloridos alkotók kioldása néhány percen belül megtörténik legalább 1:1 cm<sup>3</sup>/g (víz térfogat:minta tömeg) folyadékarányt biztosítva a szedimentációt megakadályozó intenzitású vízszintes rázás mellett. Ugyanakkor, az edény telítettségi szintjének is van kimutatható hatása. A viszonylag kis költségű megvalósítás a só visszajáratását és a kezelt végmaradvány egyéb célú felhasználását is lehetővé tenné.*

*Abstract. A residual dross of high quantity and high salt content arises from the hot (thermo-mechanical) treatment of the primary dross generated by the production of aluminium alloys from scrap. It contains a relatively low concentration of metal (5 - 10 %) but a high amount (30 - %) of chloride salts and some other components beside the oxide matrix. Due to the components dissolved in or reacted with water, this industrial residue - arising in thousands of tons also in Hungary - qualifies as hazardous and causes a real burden to the environment. According to the laboratory experiments aimed at an economical technology, the chlorides are dissolved within a few minutes when a liquid/solid ratio of 1:1 cm<sup>3</sup>/g (water volume:sample mass) is assured with an intensity of the horizontal shaking to prevent sedimentation. However, the filling ratio of the vessel also appears to have an effect. An implementation of relatively low cost would allow the recycling of the salt and the application of the final residue for alternative purposes.*

## Bevezetés

Az alumínium iránti kereslet növekedése és a primer előállítás nagy energia igénye miatt a hulladékokból történő fémkinyerés napjainkban kiemelt fontosságú. Azonban a hulladékok beolvasztásán alapuló szekunder pirometallurgiai eljárások elkerülhetetlen velejárója a nagy fém tartalmú olvasztási salakok keletkezése [1]. A primer olvasztási salakok heterogén rendszerek, melyek

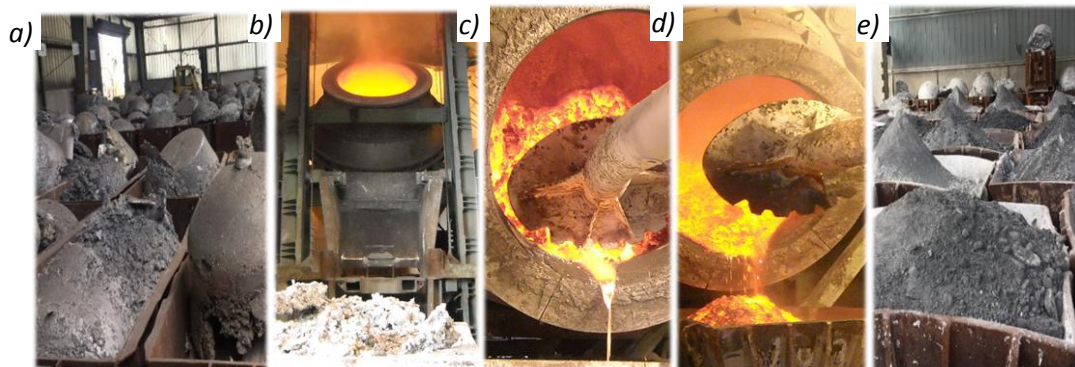
az olvadékfürdő felszínén helyezkednek el, ezért az angol szakirodalom „dross”, azaz felzékként tartja számon. A durva és szivacsos szerkezetű felzék nagy mennyiségben képes az olvadt fémet megkötni. Továbbá, a fürdő felületéről történő salaklehozás során is jelentős mennyiségű fémolvadék kerül a salaküstökbe [2]. Ezért a „fehér” vagy „nedves” megjelenésű salakok fémes Al-tartalma elérheti akár a 85%-ot is [3].

## 1. A szekunder alumíniumsalak

Az alumíniumolvasztási primer salakok nagy hőmérsékletű és mechanikus hatásokat, valamint só adalékokat is alkalmazó „termo-mechanikus” feldolgozása során nagy mennyiségű fém nyerhető vissza, de emellett „száraz” (fémes fázist már alig tartalmazó) szekunder salakok is keletkeznek. A konverterezési maradvány a szekunder (vég-)salak, amit a szakirodalom a nagy sótartalom kapcsán „salt cake”-nek is nevez. A maradvány salak a vízben oldható sók és a vízzel reagáló egyéb alkotók miatt jelenleg értéktelen, sőt az emberre és a környezetre veszélyforrást is jelenthet.

### 1.1. Az ipari maradványsalak keletkezése és kezelése

A bezárt fémes fázis kinyerésére általában a földgáztüzelésű forgó dobkemencében (konverter), nagy mennyiségű só jelenlétében végzett „konverterezést” (1. ábra) alkalmazzák.



1. ábra: A meleg salakfeldolgozási folyamatok (a- primer alumínium olvasztási salakok, b- konverterezés, c - a kinyert fém csapolása, d - végmaradvány eltávolítása, e - hideg végmaradványok).

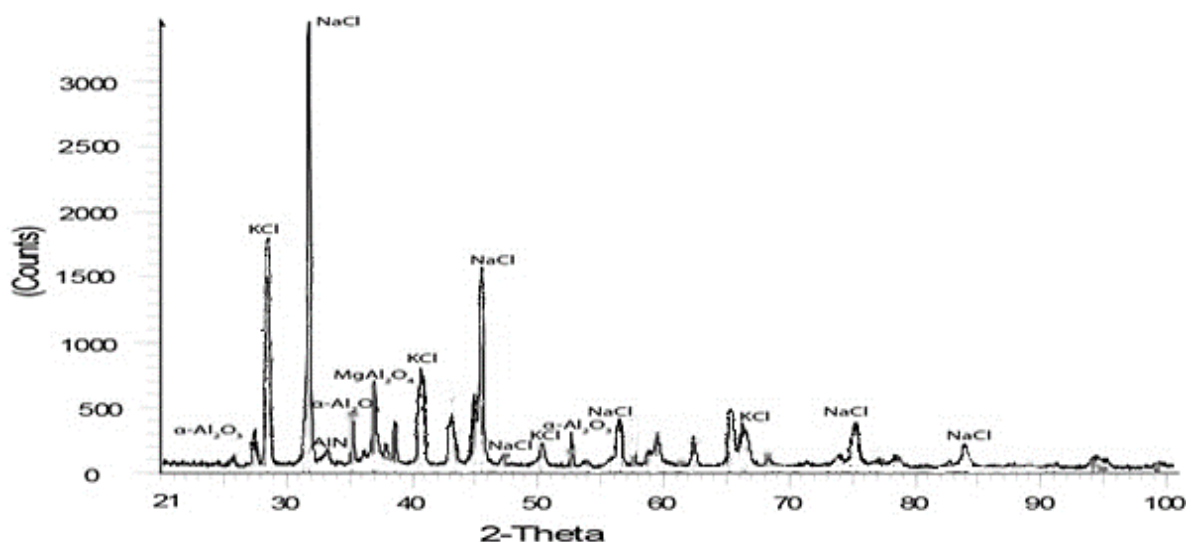
A kis maradék fémes Al-tartalom egy része még mindig kinyerhető lenne őrléssel és szitálással, de ez nem gazdaságos, ha nem áll rendelkezésre a végmaradvány kezelésre technológia. Ez az anyag az Európai Unióban is veszélyesként van számon tartva, és általában nem engedélyezett a közönséges deponálása [2]. A végmaradványok hasznosítása a letárolás nehézségeit is megszüntethetné. Azonban a salakok nagy sótartalma bármely célú felhasználást lehetetlenné tesz, ezért fontos lenne ezeket a komponenseket eltávolítani. Ez megoldható megfelelő vizes hidrometallurgiai módszerrel. A kinyert/eltávolított só újra felhasználható a termo-mechanikus kezeléshez, a sómentes főleg oxidokból álló maradványt pedig már jelentős mennyiségben fel lehet használni, mint adalékanyagot az aszfalt, az üveg és kerámiahabok, a különleges cementek és betonok gyártásában [4], illetve az acélméltallurgiában (ahol a maradék fémes Al is hasznos lehet) [5]. A konverterezési végmaradvány jól őrlhető, ami a még fizikailag (szitálással) kinyerhető maradék fémtartalom eltávolításához

mindenképpen szükséges. A keletkező por frakcióból a kloridos sók már szobahőmérsékleten is igen jól kioldhatók vízzel [6]. A finom porból történő vizes kioldás ugyan könnyen kivitelezhetőnek hangzik, azonban fontos a sótartalom minél teljesebb eltávolítását minimális oldószerigény és műveleti idő mellett elérni, hiszen a kristályos só kinyeréséhez szükséges bepárlás energiaigénye a gazdaságosságot jelentősen befolyásolja.

## 1.2. A vizsgált maradványsalak fő jellemzői

A vizsgált végsalajok 5-10% fémes Al-ot, 50-70%-ban fém oxidokat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) és – kis mennyiségben – esetleg egyéb fémvegyületeket ( $\text{AlN}$ ,  $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) tartalmaznak. Ugyanakkor, akár 30-40%-os is lehet a kiolvasztáshoz adagolt  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  só alkotók megmaradó mennyisége. Ezek elősegítik az egymástól oxidrétegekkel elzárt fémcseppek egyesülését a konverterezés során, valamint védik a fémes fázist, így jelentősen javítják a fémkhozataalt. Vízzel, illetve akár a levegő nedvességtartalmával érintkezve, a kloridos só oldódása mellett a salak egyes komponensei reagálhatnak. Így mérgező és potenciálisan robbanásveszélyes gázok ( $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ) is keletkezhetnek, miközben a hulladéklerakókban tárolt salakokban a hőmérséklet akár 80-110°C-ra is emelkedhet [7].

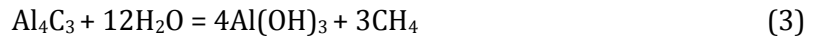
A kísérletekhez a jellemző alakítási Al-ötvözetek gyártásából származó olvasztási salajok konverteres maradványsalajából gyűjtöttük a nyersanyagot. Az átlagosnak tekinthető minta törése, őrlése és szemcseméret szerinti osztályozása után, a tömeg nagy részét kitevő és az összes só tartalmazó finom (<250 $\mu\text{m}$ ) frakciót vizsgáltuk. A konverteres reakciókra jellemző, hogy a leggyakoribb alakítási alumíniumötvözetek 1~2 % Mg ötvözője már alig található meg a primer salakból kiolvasztott alumíniumban, hiszen az a meleg feldolgozás során az igen stabil  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  spinellként az oxidos fázisba kerül. A 2. ábrán látható egy jellemző alakítási alumíniumötvözet primer salakjának a meleg feldolgozásából kapott végsalaj röntgen diffrakciós (XRD) spektruma.



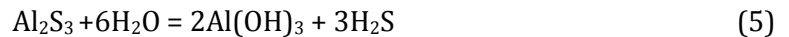
2. ábra: Az átlagos alumíniumolvasztási salaj konverterezéséből kapott végsalaj XRD spektruma.

Az erősen hőfejlesztő reakcióval képződő magnézium-spinell hatással van a salak szerkezetére. Különösen a nagyobb hőmérsékleteken történő salajfeldolgozás esetén keletkezhet egyéb alumínium-

vegyület is, mint például az AlN, valamint egyes salakokban az Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> is kimutatható. Ezek alapján az alábbi gázfejlesztő reakciókra lehet számítani a vizes kioldás során:



A vizes kezelés közben minden salak esetében csípős szag volt érezhető. Noha az ammónia erős szaga dominál, szintén gyakran jelentkezett a kén-hidrogén (H<sub>2</sub>S) kellemetlen illata is. Az egyes salakokban előfordulhatnak foszfor és kén vegyületek is, de ezek mennyisége általában csak ppm szintű [8]. A foszfor és kén lehetséges forrásai az egyes kezelősók vagy pedig a salaktároló vasüstök. A termomechanikus kezelés során a nagy hőmérséklet és az Al nagy reakcióképességének hatására feltételezhetően alumínium-szulfid és -foszfid is keletkezik, majd a vízzel történő hidrolízis hatására az alábbi reakciókkal szabadulhatnak fel kellemetlen gázok:



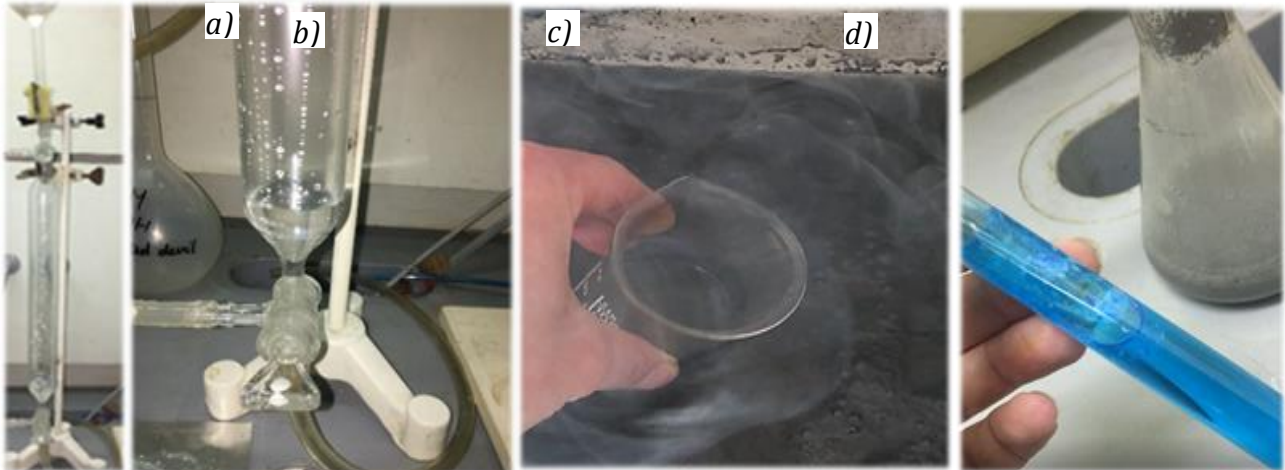
A H<sub>2</sub>S a levegőben már 0,002 ppb koncentráció esetén szaglással érzékelhető [9]. Így az alumíniumsalakokban előforduló S- és P-vegyületek alacsony szintű jelenléte is elég lehet, ahhoz hogy a gázok különleges szaga megjelenjen. A gyűjtött konverteres végsalakok órleményeiből 50 g tömegű mintákat 50 ml térfogatú és szobahőmérsékletű vízzel reagáltatva gázmintát gyűjtöttünk. Ezek gázkromatográfiás elemzése az 1. táblázatban látható eredményeket adtak.

V/V%	1	2	3	4	5	6	7
CO <sub>2</sub>	0	0,2	0	0,8	0	1,4	0
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	0,2	0	0	0	1,1	0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0,3	0
H <sub>2</sub> S	0	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub>	33,7	51,8	22,9	37,4	54,8	31,3	>80
O <sub>2</sub>	12,8	7,7	15,1	12,6	6,1	12,3	1
N <sub>2</sub>	50,5	29,4	59	48,7	23,5	47,9	1
CH <sub>4</sub>	0	0,4	0	0	0	2,3	1,5
CO <sub>2</sub>	0	0,4	0	0	0	2,7	0

1. táblázat: Különböző végsalak minták vízzel való reakciója során gyűjtött gázminták műszeresen (S/SL injektorral és TCD detektorral szerelt D-Master gázkromatográf) meghatározott összetételei

Az oxigén és nitrogén, természetesen a reaktoredényben lévő levegő maradványát jelenti. A viszonylag nagy mennyiségű hidrogén a fémes Al és a víz reakciójából származhat. Az alumínium nagy reakcióképessége alapján ez nem meglepő, azonban a fémszemcse felületén lévő oxidhártya miatt gyakran védve van a semleges vizes közeggel szemben. A salakokban jelen lévő AlN vegyületből képződő NH<sub>3</sub> a vízben oldódva a pH-t megemeli, így elősegíti az Al reakcióját. A kioldási kísérletek során az oldatok pH értéke ~ 12-ig növekedett. Noha a hidrolízis során a keletkező Al(OH)<sub>3</sub> általában a felülethez jól tapad, a folyamatosan fejlődő gázok ezt a vékony hártyát könnyen feltörhetik, fenntartva ezzel a fémes felületet. Azonban, az ammónia nem szerepel az 1. táblázatban, mert a

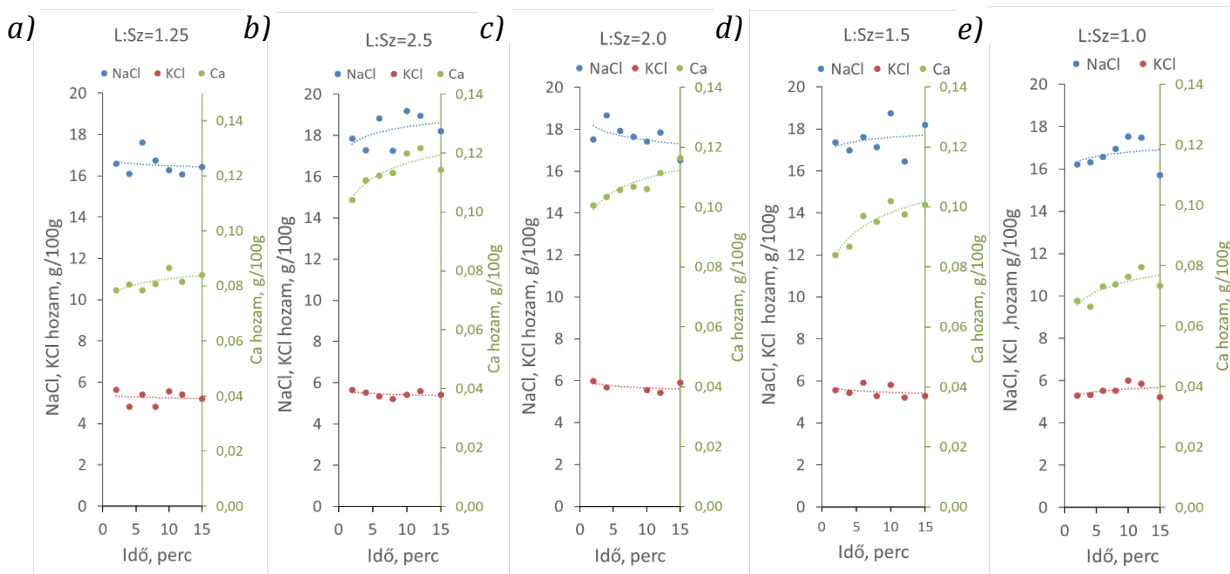
gázkromatográfias módszer érzékenysége mellett nem sikerült egyértelműen kimutatni. Azonban a 3.a ábrán szemléltetett - a vízben való elnyeletést érzékelő - kézi készülékkel kis mennyiségben is kimutatható volt. Ezekon túl, a 3.c ábra szemlélteti ahogyan a salakot vízzel összekeverve tartalmazó edény felett a pohárból illant tömény HCl kerül az  $\text{NH}_3$  gázzal érintkezésbe. Az indikáló reakcióban fehér füstnek látszó  $\text{NH}_4\text{Cl}$  képződik. Ez minőségileg igazolja az  $\text{NH}_3$  képződését, vagyis a végsalak  $\text{AlN}$  tartalmát. Hasonló minőségi kimutatást ábrázol a 3.d ábra, ahol  $\text{CuSO}_4$  oldatába vezetve a végsalak vizes kezeléséből keletkezett gázt, a pH növekedése következtében  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  csapadék jelentkezett.



3. ábra: A keletkező  $\text{NH}_3$  kimutatására alkalmazott egyszerű módszerek (a, b - elnyeletés, c - reagáltatás HCl-dal, d -  $\text{CuSO}_4$  oldatba vezetés).

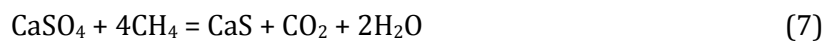
## 2. A sóeltávolítás kinetikai vizsgálata és eredményei

Az üzemből beszerzett végsalakok finom ( $<250 \mu\text{m}$ ) por frakcióiból különböző mennyiségű (10 - 20 g) minták sóeltávolító kezelése meghatározott térfogatú (10 - 25  $\text{cm}^3$ ) desztillált vízzel 100  $\text{cm}^3$  térfogatú edényekben történt. A vízszintes irányban végzett rázás beállított intenzitása (200/perc) éppen elegendő volt a szilárd fázis ülepedésének a megakadályozására minden esetben. A legkisebb folyadék-szilárd anyag arány (F:Sz) a kísérletek során 1  $\text{cm}^3/\text{g}$  volt, a legnagyobb pedig 2,5. A legkisebb vizsgált relatív vízmennyiség – ami még képes volt megfelelően homogenizálható zagyot képezni - is alkalmas volt a teljes (~30%) sótartalom eltávolítására. A folyamatos rázást, csak a 0,5  $\text{cm}^3$  térfogatú oldatminták kivételkor – a szükséges mértékű ülepedés céljával – állítottuk le néhány másodperces időtartamra. A kivett minták közvetlenül 10-szeresen hígítva – és szűrve - kerültek elemzésre. Az utolsó minta a reaktoredényben maradt zagy teljes egészében vákuum szűrése után a szűrletből került ki. Az oldatminták Na, K és Ca koncentrációit láng-atomabszorpciós spektrometriával határoztuk meg. A kalibrációs pontosság érdekében megfelelő algoritmussal korrigált és feldolgozott eredmények a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: Átlagos szekunder salak vízzel történő kioldásának folyamata (a – F:S=1.25; b – F:Sz=2.5; c – F:Sz=2; d – F:Sz=1.5; e – F:Sz=1).

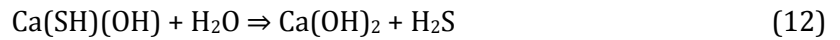
A NaCl és KCl oldódása már gyakorlatilag 2 perc alatt elérte a maximumot. A KCl esetében nem tapasztalható lényeges változás az oldószer relatív mennyiségét növelve az L:Sz = 1 - 2,5 tartományban. A NaCl oldódása kissé érzékenyebb a paraméterek változtatására, azonban a nagyobb mért Na-koncentrációk mellett a műszer állapotának a hullámzásai nagyobb mérési hibákat is okozhatnak az alkalmazott korrekciós eljárás mellett is. A kioldási idő hatása csak a Ca esetében mutatkozik meg egyértelműen. Noha a 15 perc alatt összesen kioldódott Ca mennyiség 80-90%-a már a 2 perc után történt első mintavétel idejéig is oldatba ment. A Ca megjelenése egyéb folyamatokat is jelezhet. Az oldódott komponens nem lehet a  $\text{CaF}_2$ , ugyanis az oldódás egyensúlyi állandójából ( $3,3 \cdot 10^{-10}$ ) adódó oldhatósága rendkívül kicsi. Ez alapján csupán 1-2 mg/dm<sup>3</sup> kalcium lehetne jelen az elemzett mintákban, azonban ennél jóval nagyobb koncentrációk (0-600 mg/dm<sup>3</sup>) is adódtak. A kalcium egyik lehetséges forrása a kezelős fő komponensei mellett előforduló szennyezők, a kalcium-szulfát ( $\text{CaSO}_4$ ) és kalcium-oxid (CaO) melyek – üzemi tapasztalatok szerint - akár 1%-ban is jelen lehetnek. A termomechanikus kezelés során a kemence atmoszféra és a betét tartalmazhat olyan komponenseket, melyek kismértékben képesek a  $\text{CaSO}_4$ -ot redukálni [10]:



a keletkezett CaS 950-1100°C között ki van téve a kemencében lévő oxigéndús atmoszféra oxidáló hatásának:



A keletkező CaO vízben képes oldódni Ca(OH)<sub>2</sub>-t képezve. A CaS pedig vízzel érintkezve képes hidrolizálni, így az alábbi folyamatok is felléphetnek:



Ezek Ca(OH)<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>S gáz képződésével járnak. Ez egyben megmagyarázhatja a vizes kioldás során gyakran tapasztalható jellegzetes H<sub>2</sub>S szagot is. A Ca egy másik forrása a termo-mechanikus kezelés során használt kezelősó CaF<sub>2</sub> komponensének részbeni átalakulása vízoldható formába. Lehetséges ugyanis, hogy a nagy mennyiségben jelenlévő fémes alumínium a CaF<sub>2</sub>-ot redukálja:



A reakció akkor mehet végbe, ha az a (13) reakcióra képezhető:

$$K_{(13)} = \exp\left(-\frac{\Delta G_{(13)}^o}{RT}\right) \quad (14)$$

egyensúlyi állandó értékénél a

$$\Delta G = \Delta G^o + RT \ln I \quad (15)$$

általános összefüggésben szereplő (*I*) aktivitási index fenti reakcióra vonatkozó értéke:

$$I_{(13)} \approx a_{\text{AlF}_3}^{2/3} \cdot \frac{a_{\text{Ca}}}{a_{\text{Al}}^{2/3}} \quad (16)$$

kisebb az egyensúlyi állandónál. Az így keletkezett AlF<sub>3</sub> a konvertérezés nagy (~1000°C) hőmérsékletén illékony, ami erősen csökkentheti az aktivitási index értékét. Sőt, amennyiben a primer salak fémes fázisa nagy mennyiségben tartalmaz Mg-ot, a (13) reakció helyett a Mg is felléphet – erősebb – redukálószerként:



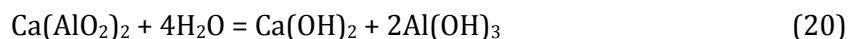
A szabaddá váló kalcium azonban oxidálódhat:



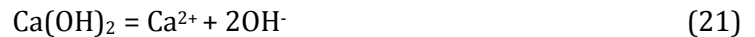
majd a jelenlévő Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-al kalcium-aluminátot képezhet:



A kalcium-aluminát vízzel való reakciója során metastabil oldat jön létre, ahol a CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mólarány 1-ről lassan 3-ra majd hosszabb idő elteltével 5-re változik [11]. A fokozatos átalakulás során Ca(OH)<sub>2</sub> és - különböző mértékben hidratált - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> keletkezik.



A képződő  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  vízzel érintkezve részlegesen disszociált állapotban lehet jelen, mely kalciumot kationokat eredményez:



Amennyiben egyéb  $\text{OH}^-$  ionokat eredményező mellékreakciók is jelen vannak, a kalcium oldódása visszaszorul. Az  $\text{AlN}$  alábbi hidrolíziséből származó



ammónium-hidroxid szintén képes disszociációra, szabad  $\text{OH}^-$  ionokat és  $\text{NH}_3$  gázt alkotva. Amennyiben ezek a hidroxil-ionok nagyobb koncentrációban vannak jelen, a (21) reakció egyensúlyán keresztül képesek lehetnek a kalcium oldódás nagymértékű csökkentésére. Ez a hatás jelentkezhett az oldatok nagyobb pH értékei mellett tapasztalt kisebb Ca kihozatalban.

### 3. A sóeltávolítás optimalizált kivitelezése

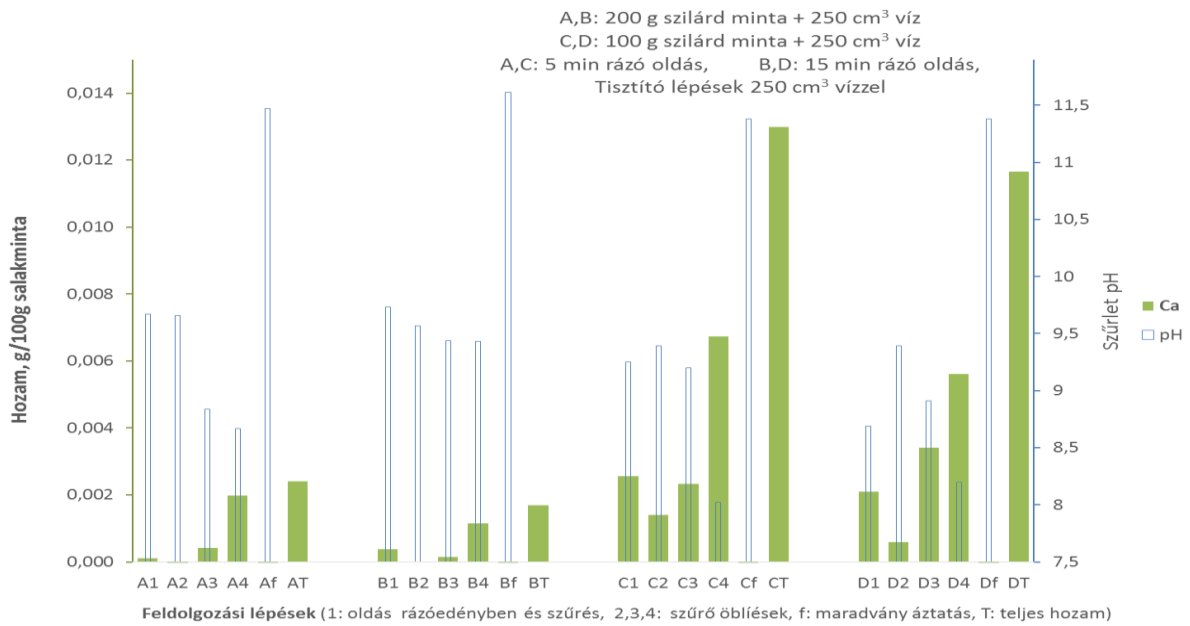
A végszalakkal végzett további, technológiai jellegű kísérletsorozatban 5, 10, illetve 15 percig végzetük 100 - 250 g tömegű őrölt végsalak érintkeztetését különböző F:Sz arány mellett adagolt desztillált vízzel. A kiszűrt szilárd maradványt visszatöltöttük a rázó reaktoredénybe és néhány perces mosást hajtottunk végre ismételt vízadással az adott F:Sz arányt megtartva. A maradvány tisztítását szolgáló mosó lépést legalább háromszor hajtottuk végre sorozatban, majd a végmaradványt egy hetes időtartamra újabb adag vízzel keverve ázni hagytuk. Az oldatmintákat itt is a szűrletekből vettük, hiszen a mosó lépések után is a szűrés biztosította a kívánt folyadék/szilárd elválasztást.



5. ábra: A maradványsalokok sótól mentésítésének fő lépései (a - kioldás rázóedényben, b, c - vákuum szűrés, d - vákuum bepárlás, e- a só szárítása, f- a kinyert sókeverékek).

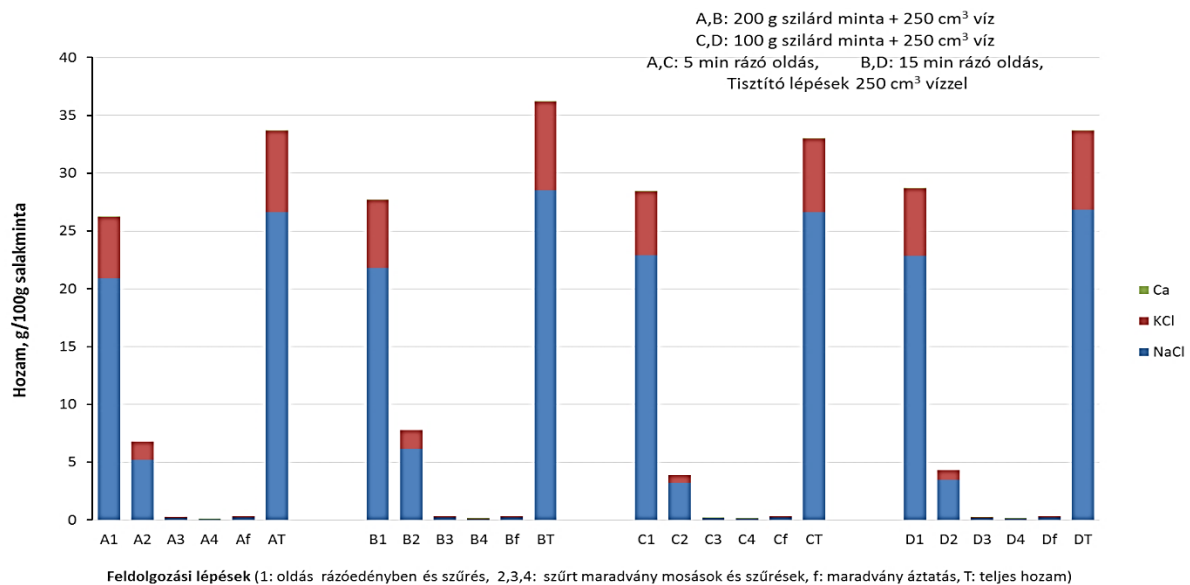
A többfokozatú kioldó-mosó módszerrel kapott szűrletekre és a salakminta tömegére vonatkozó Ca-kihozatalokat, valamint a mért pH értékeket a 6. ábra mutatja.





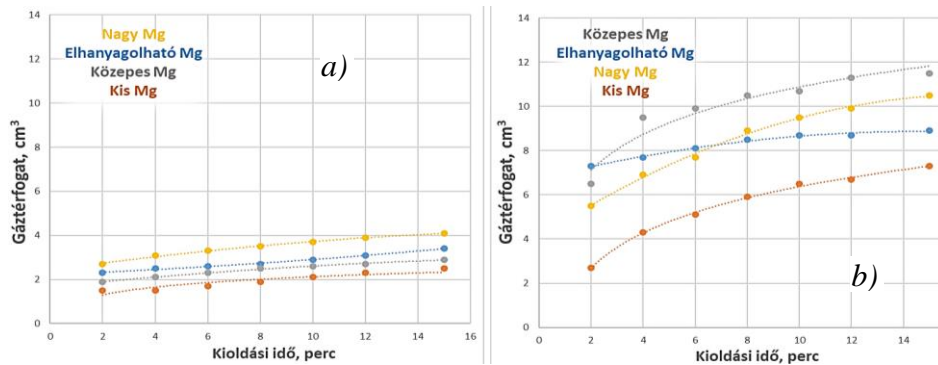
6. ábra: Átlagos olvasztási salak konverterezési végsalakjának vizes kioldási és öblítési eredményei (A, B: 200g / 250 cm<sup>3</sup>, C, D: 100 g / 250 cm<sup>3</sup>, A, C: 5 perc kioldás, B, D: 15 perc kioldás) (második karakterben 1: kioldás és szűrés, 2, 3, 4: szűrő öblítések, f: áztatás, T: teljes hozam).

A sótartalom teljes egészében eltávolítható csupán egy lépcső kioldással, azonban még vákuumszűrés alkalmazása esetében is a maradványon megtapadó oldat jelentős mennyiségű só tarthat vissza az oldattól. Így indokolt egy öblítő szűrést is alkalmazni, mellyel gyakorlatilag teljes egészében eltávolítható a salakok sótartalma. Amennyiben nemcsak a maradványok „sótlánítása” a cél, hanem az értékes só visszanyerése is, az egyes oldatok bepárolhatóak. A vákuum és forgó forralóedény alkalmazásával kinyert sók mennyiségeit mutat a 7. ábra.



7. ábra: Átlagos olvasztási salak konverterezési végsalakjának vizes kioldási és öblítési oldatainak a bepárlásával kapott só tömegek (A, B: 200 g / 250 cm<sup>3</sup>, C, D: 100 g / 250 cm<sup>3</sup>, A, C: 5 perc kioldás, B, D: 15 perc kioldás) (1: kioldás és szűrés, 2, 3, 4: szűrő öblítések, f: áztatás, T: teljes hozam).

A sókioldás során a salakok fémtartalma fontos tényező lehet. A nagy mennyiségű fémes fázist tartalmazó salakokból a tárgyalt mechanizmusok szerint fémes alumínium is oldódhat, ami a pH mérsékelt növekedésekor hidrolizál. Sőt jelentős mennyiségű kellemetlen, vagy különleges esetben akár robbanásra is képes gázok fejlődhetnek. A 8. ábrán különböző átlagos (1 - 3% fémes alumíniumot tartalmazó) szekunder végsalakok vízzel való reakciójából keletkező gázmennyiségek láthatók a kioldási idő függvényében.



8. ábra: Szekunder Al-salakok vizes kezelésekor fejlődő gáz térfogata (50 g salak, 50 cm<sup>3</sup> víz, a- 25°C, b- 50°C).

A fejlődött gáz mennyiségét gázbürettás méréssel határoztuk meg, minden esetben 50 g salak és 50 cm<sup>3</sup> vizet alkalmazva. A fejlődő gáz mennyisége nem hozható közvetlen összefüggésbe az egyes olvasztási salakok fémes fázisának Mg-tartalmával. Azonban a végsalakban visszamaradó fémtartalom meghatározó jelentőségű, hiszen a fejlődő gáz – egyéb kis mennyiségben jelen lévő alkotókat leszámítva – főleg H<sub>2</sub>-ből áll. Amennyiben a végsalak nagymennyiségű fémet tartalmaz, a vákuumszűrés után az egyes maradvány pogácsák nedvességtartalma is elég lehet az erősen exoterm Al oldódási és hidrolízis reakció beindításához, ami a salak jelentős felmelegedését és vízgőz valamint további H<sub>2</sub> fejlődését okozza. Ez a folyamat felléphet még a nedves salak száradása során is, ahogyan ezt a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: Hőfejlődés a sómentesített szekunder végsalak száradás folyamán.

## 4. Összefoglalás

A jelentős környezeti terhet képviselő szekunder Al salakokból jó hatásokkal eltávolíthatók az értékes és visszajártható komponensek vizes kezeléssel. A kioldás utáni maradványsalak így nyersanyaga lehet más iparágaknak. A kioldás gazdaságossága érdekében a homogén zagyot még biztosítani képes minimális vízmennyiség használata javasolható. A legkisebb vizsgált folyadékarány (F:Sz = 1) esetében

is kb. 2 perc kezelés után a salakok teljes kloridos sótartalma oldatba vihető, ami mellett csak a szinte elhanyagolható mennyiségű stabil fluoridos alkotók maradhatnak vissza. A kioldási és szűrési művelet után – a maradvány tisztasága érdekében - szükséges még legalább egy vizes öblítést alkalmazni. A további mosó-öblítő lépések gyakorlati jelentősége viszonylag kicsi. A kioldás során a fejlődő gázokat el kell vezetni, és esetlegesen hasznosítani is lehet fűtőanyagként a só újra használatát célzó bepárlási folyamatnál.

## Hivatkozások

- [1] E. M. Schlesinger: *Aluminum Recycling*, CRC Press, 2017.
- [2] T. Kékesi: *Primer és szekunder alumínium-metallurgia*, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2019.
- [3] T. Kékesi, T. Kulcsár: „Ötvözött Al hulladékok olvasztása,” *BKL-Kohászat*, 150, 2017, 23-29.
- [4] Z. Soós, R. Géber, C. Tóth, Z. Igazvölgyi és B. Udvardi: „Utilization of aluminium dross,” *Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 69, 3, 2017, 89-93.
- [5] B. Harcsik, T. Kékesi, „Az alumíniumolvasztási salak sótelenített meglefeldolgozási maradványának acélipari felhasználása,” *BKL-Kohászat*, 152, 2, 2019, 3-8.
- [6] I. Illés, M. Sassi, H. Zakiyya, T. Kékesi: „The fundamental kinetic characteristics of aqueous dissolution of chloride and fluoride salts from secondary aluminium dross,” in *Miskolci Egyetem, Miskolc- Egyetemváros*, 2019, D1-12.
- [7] J. Martin, T. Stark, T. Thalhamer, G. Gerbasi-Graf: „Detection of Aluminum Waste Reactions and Waste Fires,” *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 2013, 164-174.
- [8] P. Li, M. Guo, M. Zhang, L. Teng: „Leaching Process Investigation of Secondary Aluminum Dross” *Metallurgical and Materials Trans.*, 43, 5, 2012, 1220-1230.
- [9] J. Y. Hwang, X. Huang, Z. Xu: „Recovery of Metals from Aluminum Dross and Saltcake,” *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 5, 1, 2006, 47-62.
- [10] W. M. Swit, A. F. Panek, G. W. Smith, G. J. Vogel, A. Jonke: „Decomposition of calcium sulfate: a review of the literature.” 1976. <https://www.osti.gov/biblio/7224692/>.
- [11] L. Wells: „Reaction of water on calcium aluminates,” *Bureau of Standards J. Research*, <https://archive.org/details/jresv1n6p951>.