POSUDZOVANIE ŽIVOTNÉHO CYKLU PRIMÁRNEJ VÝROBY HLINÍKA

Senčáková L., Virčíková E.
Katedra integrovaného manažérstva, Hutnícka fakulta, Technická univerzita Košice, Slovensko

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PRIMARY ALUMINIUM PRODUCTION

Sencakova L., Vircikova E.
Department of Integrated Management, Faculty of Metallurgy, TU at Košice, Slovakia

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) is a scientific tool for the systematic evaluation of the environmental impacts of a product or service system through all stages of its life cycle 'from cradle to grave' (mining and extraction of raw materials, fabrication, transportation, use and recycling/disposal). The purpose of life cycle assessment is to define the scope of all environmental impacts associated with the product during its life cycle and to identify and reduce aspects with the most significant environmental impacts. Life Cycle Assessment is intended for broad use throughout the industry with a view to assess and stimulate environmental improvement in production processes and product development. This is useful because it provides an objective and detailed reference in respect of environmental aspects. Past experiences have shown that the review of life cycle assessment environmental aspects in production processes can lead to improvements in the production processes themselves.

Today, life cycle assessment is increasingly developed in metallurgy. It is related to new recycling technology, metal extraction from secondary materials and to fact, that metal production belongs mostly to large environmental pollution sources. Primary aluminium production is energy intensive. On the other hand, aluminium has a potential to meet the criteria for sustainable development.

The contribution deals with aluminium production in respect with sustainable development as well as the life cycle assessment of primary aluminium production. In conclusion, the results of environmental impact assessment of primary aluminium production in Slovalco, a.s. Ziar nad Hronom are compared with International Aluminium Institute worldwide data.

Keywords: life cycle assessment, environmental impacts, primary aluminium production, environmental aspect

Abstrakt

Posudzovanie životného cyklu (LCA) výrobku je systém pre posúdenie všetkých environmentálnych vplyvov, súvisiacich s výrobkom, vznikajúcich počas celého jeho životného cyklu (získavanie surovín potrebných pre výrobný proces, výroba, distribúcia, spotreba a následné zneškodňovanie výrobku). Pre svoj celkový pohľad na výrobok alebo proces sa analýza LCA charakterizuje prístupom 'od kolísky po hrob'. Cieľom posudzovania životného cyklu je určiť rozsah a veľkosť všetkých environmentálnych vplyvov, súvisiacich s výrobkom, vznikajúcich počas celého jeho životného cyklu a následne uprednostňovať výrobky s preukázateľne nižším negatívnym vplyvom, prípadne identifikovať aspekty, ktoré majú

najvýznamnejší environmentálny vplyv a nájsť riešenia k ich zníženiu. Posudzovanie životného cyklu má široké uplatnenie v priemysle, s cieľom navrhnúť environmentálne zlepšenia vo výrobných procesoch a vývoji výrobku. Je teda dôležitým nástrojom nielen pri tvorbe nových výrobkov, ale tiež pri inovácii alebo rekonštrukcii existujúcich výrobkov či výrobných systémov.

Posudzovanie životného cyklu sa čoraz v širšom meradle uskutočňuje aj v metalurgickom priemysle, čo súvisí (okrem iného) s využívaním nových recyklačných technológií, získavaním kovov zo sekundárnych surovín a tiež so skutočnosťou, že výroba kovov patrí predovšetkým medzi veľké zdroje znečisťovania životného prostredia. Jedným z kovov, ktorého primárna výroba je náročná na energie je hliník. Na druhej strane práve tento kov má vďaka svojím vlastnostiam potenciál splniť kritériá pre trvalo udržateľný rozvoj.

Článok charakterizuje výrobu hliníka s ohľadom na trvalo udržateľný rozvoj a popisuje proces posudzovania životného cyklu primárnej výroby hliníka. Výsledky z hodnotenia environmentálnych vplyvov primárnej výroby hliníka v Slovalcu, a.s. Žiar nad Hronom sú porovnané so svetovými údajmi International Aluminium Institute.

1. Úvod

V dôsledku potreby trvalo udržateľného rozvoja, v rámci ktorého súčasná generácia uspokojuje svoje potreby tak, aby neobmedzila budúce generácie pri uspokojovaní ich potrieb, sa ochrana životného prostredia zaradila medzi najvyššie priority takmer každej organizácie. Uplatňovanie dobrovoľných systémov environmentálneho manažérstva vytvára pozitívny prístup k ochrane životného prostredia vo všetkých aspektoch podnikania v konkrétnej organizácii. V oblasti environmentálneho manažérstva bolo vyvinutých niekoľko nástrojov, ktoré podporujú nielen zníženie negatívnych vplyvov činnosti na životné prostredie, ale súčasne i ostatné oblasti činnosti organizácie. Jedným z týchto nástrojov je posudzovanie životného cyklu výrobku, ktoré sa zaoberá posudzovaním vplyvov na životné prostredie nielen počas samotnej výroby určitého výrobku, ale aj počas činností spojených so získavaním surovín, distribúciou, spotrebou a následným zneškodnením výrobku. V procese LCA sa hodnotí spotreba energie a materiálu, ako aj vplyvy na ľudské zdravie a zdravie ekosystémov v jednotlivých fázach existencie výrobku alebo procesu. Tým sa analýza LCA líši od ostatných analýz (posudzovanie vplyvov na životné prostredie (EIA), environmentálny audit alebo hodnotenie rizík), ktoré sú zamerané na rozsah a účinky výrobkov, procesov a služieb na životné prostredie v určitej etape ich existencie.

Posudzovanie životného cyklu pozostáva zo štyroch fáz:

1. Definovanie cieľa a vymedzenie rozsahu posudzovania životného cyklu.
2. Inventarizačná analýza.
3. Stanovenie negatívnych vplyvov výrobku na životné prostredie.
4. Interpretácia výsledkov a vyhodnotenie životného cyklu.

Hlavné výhody analýzy životného cyklu sú v jej použití ako nástroja na odstránenie alebo zníženie tvorby znečistenia životného prostredia a možnosti využitia výsledkov LCA v rozhodovacom a strategickom plánovaní výrobných aktivít organizácie. Jedným z kovov, ktorý má potenciál splniť kritériá pre trvalo udržateľný rozvoj, je hliník. Pevnosť, ľahkosť, tepelná a elektrická vodivosť, odolnosť voči korózii, tvárnosť a recyklovateľnosť predurčujú hliník ako ideálny materiál najmä v stavebnom, automobilovom a obalovom priemysle.

2. Trvalo udržateľný rozvoj verzus výroba hliníka

Starostlivosť o životné prostredie v priemysle hliníka sa spája predovšetkým so znižovaním spotreby zdrojov (minimálne množstvo energie, materiálov, vody a pôdy), so zvýšením recyklovateľnosti a predĺžením životnosti výrobkov. To v konečnom dôsledku znamená zníženie vplyvov na životné prostredie nižším množstvom emisií vypúšťaných do ovzdušia a vody, zneškodňovaním odpadov a rozptylom toxických látok.

Pre väčšinu hliníkových výrobkov platí, že hliník sa vo fáze jeho používania „neopotrebuje“, ale sa len jednoducho „použije“. Je to materiál, ktorý je možné takmer bez straty kvality recyklovať pre použitie aj v rámci budúcich generácií. Jeho recyklovateľnosť a široké možnosti uplatnenia sú atribútmi, ktoré významnou mierou eliminujú značné množstvo energie potrebnej hlavne na produkciu primárneho hliníka. Preto je možné jeho životný cyklus charakterizovať nie tradičným prístupom „od kolísky po hrob“, ale skôr prístupom „od kolísky po kolísku“. Ak sa hliníkový odpad spracuje vhodným spôsobom, recyklovaný hliník sa môže použiť na takmer všetky oblasti aplikácie hliníka [1].

Keďže je hliník celosvetovou komoditou, prijal sa v hlinikárskom priemysle globálny prístup k otázkam trvalo udržateľného rozvoja, a to prostredníctvom jeho medzinárodnej inštitúcie – International Aluminium Institute (IAI). Táto inštitúcia pozostáva z 26 členských spoločností z každého kontinentu. Spolu členské spoločnosti IAI vyprodukujú približne 80 % svetovej výroby primárneho hliníka a významne sa podieľajú aj na produkcii recyklovaného kovu. V budúcnosti plánuje pokryť až 90 % svetovej produkcie hliníka. Podiel produkcie primárneho hliníka medzi krajinami OECD a mimo OECD je približne 50:50. Inštitút sleduje a zaznamenáva množstvo celosvetovo zaužívaných indikátorov trvalo udržateľného rozvoja, ako sú napr. spotreba energie, emisie skleníkových plynov a údaje o dodržiavaní bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci [1].

IAI chápe trvalo udržateľný rozvoj ako nástroj na uspokojovanie záujmu zainteresovaných strán a na meranie obchodných výsledkov. Vyvíja snahu čo možno najpresnejšie objasniť pozitívny aj negatívny vplyv hliníka na životné prostredie a ekonomický prospech jeho životného cyklu pre svetovú populáciu. Adekvátne poznatky o environmentálnom vplyve hliníka sú pre priemysel hliníka nevyhnutné pri jeho snahe neustále sa zlepšovať. V úsilí dosiahnuť vlastný trvalo udržateľný rozvoj by sa priemysel hliníka mal zamerať predovšetkým na:

- ďalšie znižovanie emisií skleníkových plynov,
- zvyšovanie podielu recyklácie použitého hliníka,
- minimalizovanie použitia nebezpečných a toxických materiálov a nájdenie alternatív pre skládkovanie opotrebovaných výmuroviek elektrolyzéra a bauxitových zvyškov,
- ďalší pokrok v úspore energie.

Viac ako polovica hliníka v súčasnosti vyprodukovaného v Európskej únii (EU) pochádza z recyklovaných surovín, pričom tento trend neustále narastá. Kvôli vysokej spotrebe energie pri výrobe primárneho hliníka a obmedzeným možnostiam ťažby bauxitu v Európe má EU veľký záujem zvyšovať podiel recyklovaného hliníka. Okrem zrejmého ekonomického prínosu sú dôležitými podnetmi pre recykláciu najmä neustále narastajúci záujem o životné prostredie a zvýšenie sociálnej zodpovednosti. Výstupom z recyklačného procesu je hotový hliníkový výrobok [2]. Môže byť rovnaký ako pôvodný produkt (napr. z hliníka z okenných rámov sa opäť môžu vyrobiť okenné rámy), častejšie však ide o iný produkt (z hlavy motora sa získa prevodová skrinka). Veľké množstvo hliníka (400 – 500 miliónov ton), ktoré sa v

súčasnosti nachádza vo fáze použitia, sa môže recyklovať a opäť použiť takmer bez straty kvality. V súčasnosti sa skoro tretina svetových požiadaviek na hliník uspokojuje recyklovaným kovom.

Hliníkový odpad má významnú trhovú hodnotu, pretože energia potrebná pre primárnu výrobu hliníka sa do veľkej miery uchováva v samotnom kove. Je „obsahom“ výrobku a v čase recyklácie sa znovu aktivuje. Preto tvorí energia potrebná na tavenie hliníkového odpadu len zlomok tej, ktorá sa spotrebuje pri primárnej výrobe. Naviac je možné hliník recyklovať bez straty kvality, pretože jeho atómová štruktúra sa pri tavení nemení.

Ekonomický význam recyklácie hliníka je zrejmý. Prvotným cieľom je recyklovať všetky zdroje hliníkového odpadu vždy, keď je to ekonomicky prijateľné a/alebo ekologicky vhodné. Recyklácia sa vo všeobecnosti považuje za ekonomicky prijateľnú vtedy, ak pridaná hodnota prevažuje náklady na recykláciu, alebo ak sa napr. uloženie na skládku ukáže ako drahšia alternatíva. Z environmentálneho hľadiska je recyklácia výhodná, ak environmentálne vplyvy zberu, separácie a tavenia hliníkového odpadu sú nižšie, ako vplyvy primárnej výroby.

3. Posudzovanie vplyvov primárnej výroby hliníka na životné prostredie

V tomto príspevku sú na základe analýzy životného cyklu procesu výroby primárneho hliníka porovnané významné environmentálne vplyvy súvisiace s jeho produkciou v spoločnosti Slovalco, a.s. a vo svete. Z metodológie posudzovania životného cyklu vyplýva, že jednou z dôležitých úloh je určiť hranice systému a funkčnú jednotku, na ktorú sa budú všetky výsledky vzťahovať. Do procesu posudzovania životného cyklu boli zahrnuté tieto čiastkové procesy:

- výroba anód (vopred vypálené anódy),
- výroba kovového hliníka elektrolýzou,
- odlievanie.

Pre každý čiastkový proces výroby primárneho hliníka je funkčnou jednotkou 1 tona. Pre proces výroby primárneho hliníka je funkčnou jednotkou 1 tona primárneho hliníka vystupujúceho z procesu odlievania.

Predmetom posudzovania životného cyklu sú látkové a energetické toky – vstupy a výstupy spojené so životným cyklom výrobku. Údaje potrebné na posúdenie environmentálnych vplyvov sú uvedené v Tab. 1 a 2. Všetky údaje sú prepočítané na funkčnú jednotku, teda na 1 tonu hliníka.

Table 1 Value of material inputs for primary aluminium production

Materiálové vstupy	Jednotka	Výroba anód		Elektrolýza		Odlievareň		Spolu	
		Slovalco	Svet	Slovalco	Svet	Slovalco	Svet	Slovalco	Svet
Kalcinovaný petrolkoks	kg/t Al	336,253	349	-	-	-	-	336,25	349
Smola	kg/t Al	69,73	92	-	-	-	-	69,73	92
Golierová hmota	kg/t Al	8,82		-		-		8,82	
Oxid hlinitý	kg/t Al	-	-	1925	1925	-	-	1665,	1925
Anódy	kg/t Al	-	-	406	441	-	-	406	441
Fluorid hlinitý	kg/t Al	-	-	13,91	17,4	-	-	13,91	17,4
Rafinač. soli	kg/t Al	-		-		60,6		60,6	
Hliník	kg/t Al	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000
Energetické vstupy									
Elektrická energia	kWh/t Al							13337	15268

Table 2 Value of outputs from primary aluminium production

Výstupy	Jednotka	Výroba anód		Elektrolýza		Odlievareň		Spolu	
		Slovalco	Svet	Slovalco	Svet	Slovalco	Svet	Slovalco	Svet
Emisie do ovzdušia									
Fluór ako HF	kg/t Al	0,0019	0,02	0,1551	0,55	-	-	0,157	0,57
SO_2	kg/t Al	0,373	0,7	6,716	13,6	0,003	0,2	7,092	14,5
NO_x	kg/t Al	0,1633	0,13	3,2508	0,35	0,054	0,12	3,468	0,6
CO	kg/t Al	3,0662	4,96	80,302	103,1	0,010	-	83,38	108,1
C	kg/t Al	0,0005	-	0,0003	-	0,007	-	0,008	
Fluór ako F v prachu	kg/t Al	0,0004	0,004	0,0326	0,5	-	-	0,033	0,504
TZL	kg/t Al	0,028	0,1	0,617	3,3	0,023	0,08	0,667	3,48
Decht	kg/t Al	0,001		-	-	-	-	0,001	
CF_4 /C_2F_6		-	-	0,2	0,241	-	-	0,2	0,241
Odpady									
Množstvo	kg/t Al							54,12	67,3

Na posúdenie environmentálnych vplyvov výroby hliníka bola použitá metóda vyvinutá v rámci dánskeho programu Environmental Design of Industrial Products (EDIP). Pôvodná verzia vznikla v roku 1996, v roku 2003 boli stanovené aktuálne charakterizačné a normalizačné faktory pre cca 41 krajín z celého sveta. Konkrétne sa posudzovali vplyvy výroby primárneho hliníka na:

- globálne otepľovanie,
- tvorbu fotochemického ozónu,
- acidifikáciu prostredia,
- eutrofizáciu a
- ľudské zdravie.

Stanovenie negatívnych vplyvov na životné prostredie podľa tejto metódy pozostáva z troch krokov: charakterizácia, normalizácia a váženie. Pre každý z týchto krokov je stanovený faktor, ktorý súvisí so spotrebou zdrojov a množstvom emisií vypúšťaných do ovzdušia [5].

2. Charakterizácia – v tomto kroku sa emisie delia do kategórií podľa ich príspevkov k jednotlivým environmentálnym vplyvom. Emisie s rovnakým environmentálnym vplyvom sú transformované na ekvivalentnú jednotku - štandard pomocou charakterizačného faktora, ktorý odráža ich vzťah k vybranému štandardu. Výstupom charakterizácie je výsledná číselná hodnota indikátora, ktorá udáva veľkosť vplyvu na životné prostredie, ale nezohľadňuje negatívne pôsobenie v danej lokalite.
3. Normalizovanie – cieľom normalizovania výsledných hodnôt indikátora je lepšie pochopenie veľkosti každej výslednej hodnoty indikátora v študovanom systéme. Jedna látka môže negatívne pôsobiť na životné prostredie v rôznych kategóriách vplyvov (v jednej oblasti môže pôsobiť na životné prostredie len veľmi nepatrne, kým v inej kategórii vplyvov môže byť jej význam omnoho väčší). V procese normalizácie sa berie do úvahy pomerná škodlivosť jednotlivých vplyvov z hľadiska danej lokality. Pre každú látku sú stanovené referenčné hodnoty vplyvov, ktoré vyjadrujú ich pomer k danému štandardu z hľadiska regionálnych preferencií. Hodnotu normalizovaného

vplyvu na životné prostredie získame vydelením výslednej hodnoty indikátora referenčnou hodnotou podľa vzťahu [3]:

$$Normalizovaný\ vplyv = \frac{vplyv\ na\ životné\ prostredie}{referenčef\ \ hodnota\ vplyvu} \quad (1)$$

Normalizovaný vplyv je udávaný v jednotkách PE (Person Equivalent), resp. mPE (mili-Person Equivalent), ktoré vyjadrujú „environmentálny vplyv pripadajúci na osobu“, t.j. podiel každej osoby v dotknutej oblasti na environmentálnom vplyve.

3. Váženie – je proces premeny výsledných hodnôt normalizovaných vplyvov s použitím číselných faktorov (váh). Je to číslo, ktorým sa vynásobí hodnota normalizovaného vplyvu, aby sa zdôraznila dôležitosť významných vplyvov a aby sa potlačil význam menej dôležitých vplyvov. Váhy sa stanovujú na základe plánovaných cieľov v oblasti redukcie znečisťujúcich látok.

$$Vážený\ vplyv = normalizovaný\ vplyv \times\ faktor\ váženia \quad (2)$$

Regionálne rozdiely v zdrojoch emisií a ich rozptyle však môžu výrazne ovplyvniť veľkosť vplyvu na životné prostredie. Rovnaké množstvo znečisťujúcej látky môže v závislosti od polohy zdroja emisie spôsobiť rôzne vplyvy na životné prostredie. Preto boli pre všetky kategórie vplyvov (okrem vplyvov globálnych – globálne otepľovanie) stanovené charakterizačné a normalizačné faktory na dvoch úrovniach:

1. Všeobecné faktory, ktoré neberú do úvahy územné rozdiely ovplyvňujúce rozptyl a distribúciu znečisťujúcich látok.
2. Faktory závislé od polohy, tieto sú územne rozlíšené na úrovniach krajín [4].

Pre globálne vplyvy nie je podstatné, z ktorej oblasti vplyv na životné prostredie pochádza. Nie je preto potrebné stanovovať faktory v závislosti od polohy zdroja. Pre stanovenie negatívnych vplyvov primárnej výroby hliníka v spoločnosti Slovalco, a.s. boli použité faktory stanovené pre Slovenskú republiku, pre svet všeobecné faktory.

Hodnoty normalizovaných vplyvov, ktoré vyjadrujú „environmentálny vplyv pripadajúci na osobu“, sú znázornené na Fig. 1, z ktorého vyplýva, že výroba primárneho hliníka najviac vplýva na tvorbu fotochemického ozónu, spôsobuje škodlivé účinky na ľudské zdravie a prispieva k acidifikácii.

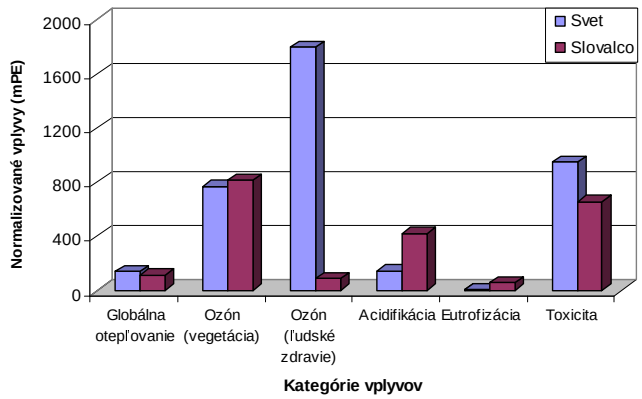

Fig.1 Comparison of normalised impacts from primary aluminium production

Pri porovnávaní environmentálnych vplyvov je veľmi dôležité zhodnotiť vplyvy nielen kvantitatívne, ale aj kvalitatívne. Jednotlivé environmentálne vplyvy majú stanovené hodnoty váh, ktoré slúžia na to, aby sa zdôraznila dôležitosť významných vplyvov a aby sa potlačil význam tých menej dôležitých. Fig. 2 prezentuje, ako sa zmenili hodnoty normalizovaných vplyvov po procese váženia.

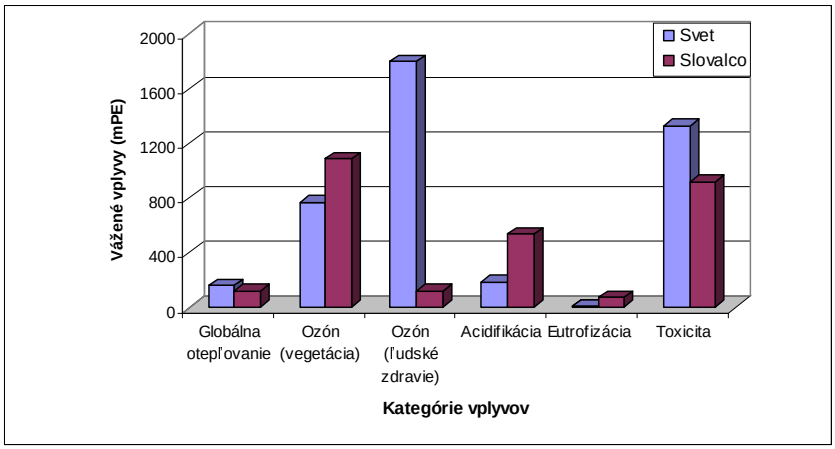

Fig.2 Comparison of weighted impacts from primary aluminium production

Záver

Výroba primárneho hliníka elektrolýzou má vplyv na životné prostredie hlavne produkciou znečisťujúcich látok do ovzdušia. Ide predovšetkým o emisie CO, ďalej sú to emisie SO_2, NO_x a HF. Ich najvýznamnejším zdrojom je čiastkový proces elektrolýza. Pokiaľ ide o množstvo emisií vyprodukovaných na tonu hliníka, spoločnosť Slovalco, a.s. zaznamenáva nižšie hodnoty (až na emisie NO_x), ako sú priemerné hodnoty z výroby primárneho hliníka udávané IAI. Napriek tomu, že spoločnosť Slovalco, a.s produkuje na tonu primárneho hliníka nižšie množstvo emisií CO ako sú priemerné hodnoty vo svete, vplyv jej výroby na tvorbu fotochemického ozónu, ktorý má škodlivé účinky na vegetáciu, je o niečo vyšší. Je to spôsobené tým, že v procese normalizácie sa berie do úvahy pomerná škodlivosť jednotlivých vplyvov z hľadiska danej lokality. Znečisťujúca látka môže pôsobiť na životné prostredie v jednotlivých oblastiach rôzne. Väčšia hodnota normalizovaného vplyvu výroby hliníka v Slovalcu na tvorbu fotochemického ozónu, ktorý má škodlivé účinky na vegetáciu je tiež spôsobená vyššou produkciou emisií NO_x. Podobné je to aj v prípade vplyvu výroby hliníka na acidifikácu. Väčšina moderných svetových spoločností tiež vyrába primárny hliník s použitím energie z vodných zdrojov, ktorá je obnoviteľná a produkuje menšie množstvo emisií.

Výroba primárneho hliníka elektrolýzou vplýva na životné prostredia aj produkciou odpadov. Ide predovšetkým o tuhé odpady z výmurovky elektrolyzérov. Elektrolyzéry vyrábajúce hliník majú obmedzenú životnosť, ktorá sa pohybuje od 4 do 7 rokov v závislosti od kvality používaných výmuroviek a kvality vedenia technologického procesu. Pri generálnych opravách elektrolyzérov vzniká odpad na báze uhlíkatých, žiaruvzdorných a izolačných materiálov, ktoré sú nasýtené fluórosoľami. Odpad je kategorizovaný ako nebezpečný, hlavne z častí bočných výmuroviek, kde uhlíková výmurovka reaguje so vzdušným dusíkom na nebezpečné kyanidy. Znečistenie kyanidmi (CN^-) v spoločnosti Slovalco, a.s. je okolo 470 mg/kg odpadových katódových blokov, ďalej sú tu prítomné nitridy (N^-) a karbidy (C^-).

Množstvo týchto odpadov je dané veľkosťou elektrolyzéra a jeho životnosťou. Odpadový materiál z elektrolyzérov môže znamenať seriózny problém pre životné prostredie, na druhej strane je však zdrojom využiteľných fluoridov a energie [5].

Na základe analýzy uvedených environmentálnych vplyvov, na základe porovnania spotreby materiálov a energie a množstva vyprodukovaných emisií je možné konštatovať, že spoločnosť Slovalco, a.s. kladie veľký dôraz na to, aby vyrábala hliník moderným spôsobom, ktorý je zároveň šetrný k životnému prostrediu.

Z analýzy vyplývajú tieto odporúčania pre Slovalco, a.s.:

- organizácia by sa mala naďalej zameriavať na znižovanie emisií do ovzdušia, predovšetkým emisií CO a NO_x,
- znižovanie objemu vyprodukovaného odpadu,
- hľadať možnosti na zvyšovanie podielu recyklácie.

Literatúra

[1] International Aluminium Institute: The aluminium industry's sustainable development report.

[2] European Aluminium Association: Aluminium recycling. The road to high quality products.

[3] Hauschild M., Potting J.: Spatial differentiation in life cycle impact assessment. The EDIP 2003 methodology, Institute for Product Development, Technical University of Denmark, 2003

[4] Potting J., Hauschild M.: Background for spatial differentiation in lifecycle impact assessment – the EDIP2003 methodology. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, 2004.

[5] Senčáková L.: Posúdenie životného cyklu primárnej výroby hliníka. Doktorandská dizertačná práca. Košice. August 2006.