

**РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**  
**UDK**  
*Стручни рад*

---

Технички факултет у Бору – Универзитет у Београду, В.Ј. 12, 19210 Бор, Србија  
Катедра за минералне и рециклажне технологије  
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

---

**МЕТАЛУРГИЈА БАКРА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**  
**COPPER METALLURGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Паун Јанковић, Топлица Марјановић<sup>#</sup>, Блажо Лековски**  
Топионица и рафинација бакра, 19210 Бор, ул. Ђ. Вајферта 18 – 22

---

**ИЗВОД**

Стални пораст потреба за багром у свету, повећање потрошње и велико загађење животне средине из металуршких погона за његову производњу условили су развој нових технологија. Њихов циљ је повећање искоришћења материја из сировина, смањење потрошње енергије и емисије отпадних гасова, вода и чврстог отпада.

У раду је приказано стање металургије бакра у Бору и свету, као и светски трендови примене најбоље расположивих технологија и изградње индустријских екосистема, односно стремљење металургије бакра ка одрживом развоју.

Дати су предлози принципа и могућности модернизације металургије бакра у Бору у циљу побољшања стања животне средине и одрживог развоја локалне заједнице.

**Кључне речи:** металургија бакра, животна средина, одрживи развој, индустријски екосистеми, Бор

**ABSTRACT**

Constant rise of the need for copper in the world, increase of consumption and huge environmental pollution from metallurgical plants for its production, caused the development of new technologies. Their purpose is the increase of matters utilization from the raw material, reduction of energy consumption and emission of waste gases, water and solid waste.

In the manuscript is presented the status of copper metallurgy in Bor and in the world as well as the world trends of the best available technologies application and construction of eco-systems, i.e. aspiring of the copper metallurgy towards the sustainable development.

The suggestions are given concerning the principles and possibilities of copper metallurgy in Bor modernization for the purpose of improving the situation as regards the environment and sustainable development of local community.

**Key words:** copper metallurgy, environment, sustainable development, industrial eco-systems, Bor

---

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: [tirekologija@ptt.yu](mailto:tirekologija@ptt.yu)

## УВОД

Металургија је велики загађивач животне средине. Стварање великих количина отпадних гасова, вода и чврстог отпада и ниско искоришћење материје и енергије у технолошким процесима узрок су загађивању животне средине око ових индустријских комплекса. Развој технологија и примена нових техничких решења у пирометалургији има за циљ повећање искоришћења материја из улазних сировина, побољшање енергетске ефикасности, економичније пословање и заштиту животне средине. Развој металуршких процеса иде ка примени најбољих расположивих технологија које омогућују смањење отпада на самом месту настајања, коришћење насталог отпада у истом технолошком процесу, рециклажу отпада, замену опасних мање опасним материјама, безбедно депоновање

опасног отпада, коришћење отпадне топлоте. Тако око металуршких постројења настају читави индустријски комплекси у којима се поред металуршких граде хемијска и енергетска постројења и системи за управљање отпадом. Савремени трендови и стандарди заштите животне средине пирометалуршка постројења трансформишу у такозваних индустријско – еколошке комплексе. Ови комплекси су пример одрживог развоја јер се тежи штедњи и рационалном коришћењу природних ресурса како би они остали и за будуће генерације (што је основни смисао одрживог развоја), односно постиже се висока економска ефикасност, заштита животне средине и помаже социјалном развоју заједнице.

## МЕТАЛУРГИЈА БАКРА У БОРУ

Иако се у појединим компанијама одвија масовна производња бакра применом хидрометалуршких метода, карактеристично је да се ова метода масовно примењује само за специфичне сировине. За сулфидне минерале бакра, који су, још увек, доминантне сировине у светским размерама, доминантна је примена пирометалуршких процеса, иако почиње и примена хидрометалургије за добијање бакра из сулфидних сировина.

Обзиром да је РТБ Бор упућен дугорочно на сулфидне сировине, као доминантне, пирометалургија у Бору остаје дугорочно као основна технологија за производњу бакра.

Пирометалуршка производња бакра у Бору започела је 1905. године. Технологија топљења која се данас променајује – пламене пећи, датира од 1961. године када је пуштена у погон линија бр. 1. пржења и топљења, три конвертора типа PIERCE – SMITH и две анодне пећи за пламену рафинацију бакра. Изградња топионице

завршена је 1971. године када почела са радом линија бр. 2. пржења и топљења и дограђен је четврти конвертор и трећа анодна пећ.

За прераду гасова реактора за пржење и конвертора изграђене су три фабрике сумпорне киселине са једноструком катализом и једноструком апсорпцијом, следећих капацитета:

- K1 – 90 000 m<sup>3</sup>/h гаса са 5% SO<sub>2</sub>;
- K2 – 100 000 m<sup>3</sup>/h гаса са 5% SO<sub>2</sub> и
- K3 – 150 000 m<sup>3</sup>/h гаса са 6,5 SO<sub>2</sub>.

Гасови пламене пећи се у укупној количини испуштају у атмосферу.

Електролитичка рафинација анодног бакра обавља се у:

- електролизи бр. 1. , капацитата 75 000 t катодног бакра годишње;
- електролизи бр. 2. , капацитата 65 000 t катодног бакра годишње.

Анодни муљ се прерађује у погону за производњу племенитих метала а електролит у погону за производњу бакар сулфата.

Отпадне воде се испуштају без пречишћавања, а шљака пламене пећи одлаже на депонију.

Просечно искоришћење бакра из концентрата креће се од 93 до 94%.

Последњих десетак година топионицу и фабрике сумпорне киселине карактерише рад под технолошки неповољним условима, уз честа заустављања, као и веома рестиктивно одржавање опреме.

Последица таквог рада, поред повећаних технолошких губитака, смањеног искоришћења сумпора, повећаног специфичног утрошка енергената је и потпуно заустављање појединих производних јединица.

Актуелно стање производних капацитета је следеће:

- линија 1. пржења и топљења – радно активна;
- линија 2. пржења и топљења – не ради од 2001. године,
- Фабрика сумпорне киселине К1 – заустављена и највећи део опреме демонтиран,
- фабрика сумпорне киселине К2 – радно активна, потребан делимичан ремонт;
- фабрика сумпорне киселине К3 – заустављена 1999. године и део опреме демонтиран,
- електролиза бр. 1. – заустављена,
- електролиза бр. 2. – радно активна;
- погон за прераду анодног муља – радно активан.

- Погон за производњу бакарсулфата – радно активан,

Пројектовани капацитат прераде у топионици од 600 000 t концентрата годишње, остварен је 1990. и 1991. године. После тога наступа тренд опадања прераде концентрата.

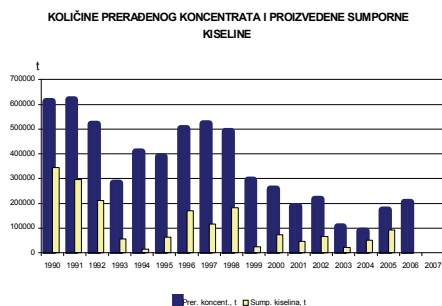
На слици 1 приказане су годишње количине прерађеног концентрата и произведене сумпорне киселине за период 1990 – 2007. године.

Металрушку производњу бакра у Бору карактерише висок ниво загађивања радне и животне средине преко емисије отпадних вода и гасова. У топионици при раду са пуним капацитетом емитује следећа количина гаса:

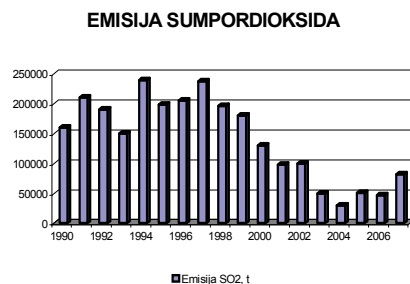
- из реактора за пржење – 40 000 m<sup>3</sup>/h са 7-9% SO<sub>2</sub>
- из пламене пећи – 60 000-70 000 m<sup>3</sup>/h са 0,5 SO<sub>2</sub>
- из конвертора – 90 000 m<sup>3</sup>/h са 4-7% SO<sub>2</sub>
- фугитивни гасови – недефинисана количина и квалитет.

При раду пуним капацитетом, фабрика сумпорне киселине бр. 2. може да преради до 100 000 m<sup>3</sup>/h гаса. Због недовољних капацитета за прераду топионичког гаса, у постојећим условима, у атмосферу се емитује 70 000 до 100 000 m<sup>3</sup>/h гаса.

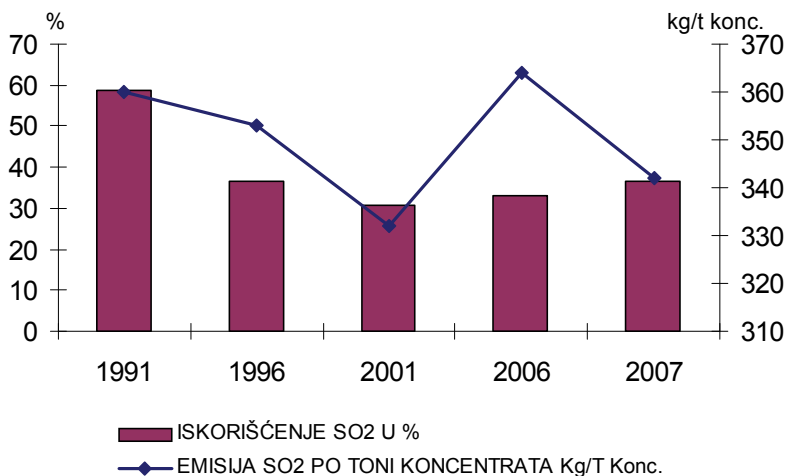
На слици 2 приказана је емисија сумпордиоксида у атмосферу у периоду од 1990. до 2007. године.



Слика 1. Количине прерађеног бакра и произведене сумпорне киселине од 1990 – 2007. године



Слика 2. Емисије сумпордиоксида од 1990 – 2007. године



Слика 3. Технолошко искоришћење сумпора и емисија сумпордиоксида по тони прерађеног концентрата

На слици 3 приказано је технолошко искоришћење сумпора за добијање сумпорне киселине и емисија сумпордиоксида по тони прерађеног концентрата.

Оволика емисија сумпордиоксида из топионице узрок је повећаној концентрацији сумпордиоксида у животној средини изнад дозвољених вредности.

Отпадне воде, које чине: расхладне воде фабрике кисеоника и топионице, отпадне воде фабрике сумпорне киселине и отпадне воде електролизе, се у укупној количини без икаквог третмана испуштају у Борску реку.

Поред отпадних вода и топионичког гаса, еколошко оптерећење представља и индустријски отпад из производних погона:

- шљака пламене пећи,
- трафо уља – опасан отпад,
- уља из агрегата – опасан отпад,
- истрошена ватростална опека – опасан отпад,
- испуна из торњева фабрика сумпорне киселине – опасан отпад,
- муљ из резервоара сумпорне киселине – опасан отпад.

Металуршки процеси у Бору карактерише ниска енергетска ефикасност. Еквивалнт потрошње енергије у периоду од 1994. – 2007. године кретао се од 24,683 – 76,643 GJ/t анодног бакра (5).

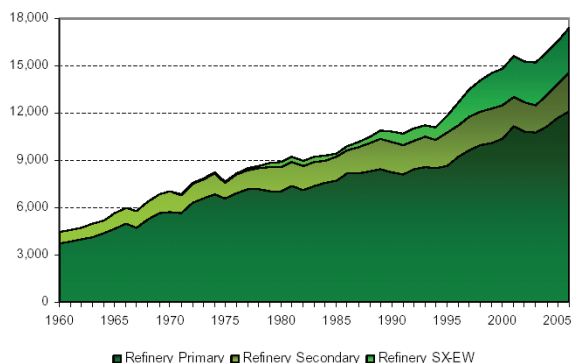
### МЕТАЛУРГИЈА БАКРА У СВЕТУ

Производња бакра у свету од 1900. године бележи стални раст у просеку за око 4% годишње. Производња је порасла са 495000 тона 1900. године на око 17000000 тона 2006. године (слика 4) (9). Разлог је сталан раст потреба становништва за овим металом које су у 2006. године износиле 2,6 kg по становнику годишње (слика 5).

Основна подела пиromеталуршких процеса добијања бакра у свету издваја:

- класичне и
- аутогене процесе.

У класичне процесе се убрајају: пламене пећи, шахтне пећи и електро пећи.

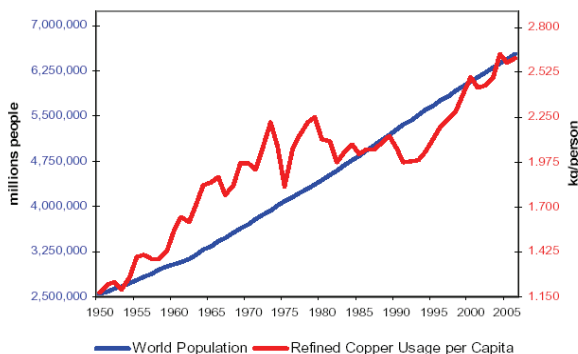


Слика 4. Производња бакра у свету од 1900. до 2006. године у хиљадама тона (9)

Аутогени процеси топљења сулфидних концентрата бакра, у зависности од услова одвијања процеса топљења могу се поделити на две групе:

Процеси топљења у лебдећем стању (“Flash” топљење) у којима се процеси оксидације сулфида И њихово топљење одвијају у гасовитој фази, а раздвајање течних фаза, бакренца и шљаке, у посебном купатилу. У ову групу спадају: Outokumpu (Финска), Mitsui (Јапан), који представља модификацију Outokumpu процеса, Contor (Немачка), и Inco (Канада).

Процеси топљења у растопу, у којима се процеси оксидације, топљења и формирања шљаке и бакренца одвијају непосредно у раствору који барботира. Најчешће примењивани процеси из ове групе су: Isasmelt (Аустралија), Ausmelt(Аустралија), Mitsubishi (Јапан), Teniente (Чиле), Noranda (Канада).



Слика 5. Коришћење бакра по становнику (9)

Први аутогени процес који је индустријски примењен је Outokumpu, 1949. године, а у “најмлађе” спадају Isasmelt и Contor – 1993. године.

Основне предности аутогених у односу на класичне процесе јесу:

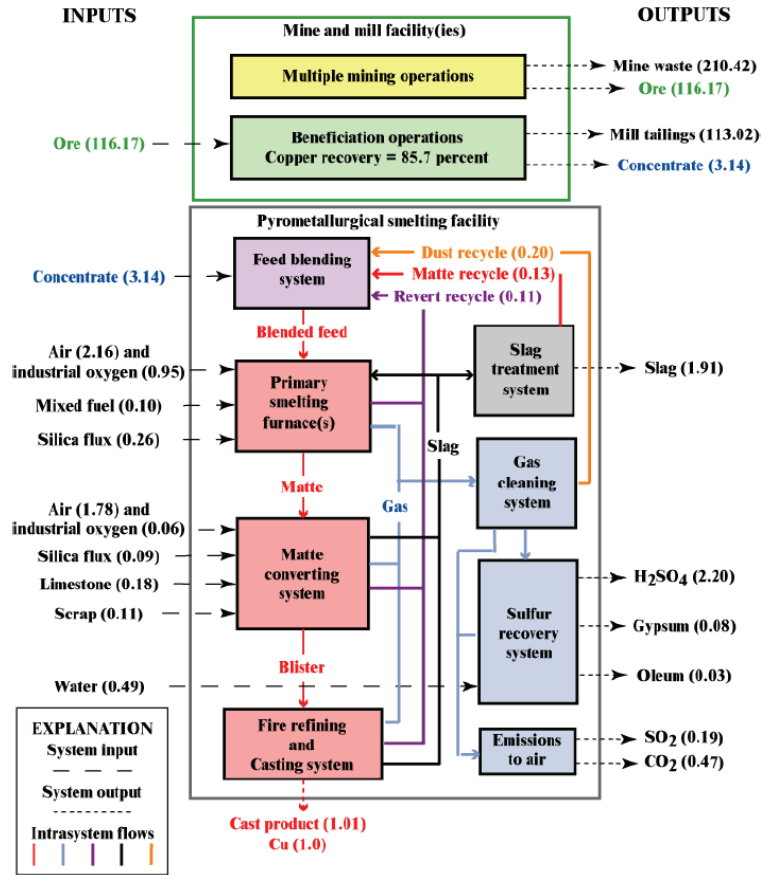
- повећање брзине хемијских реакција, односно, повећање специфичног капацитета пећи;
- повећање енергетске ефикасности, односно, смањење специфичног утршка енергије;
- смањење инвестиционих улагања по јединици производње;
- повећање нивоа аутоматизације и побољшање услова рада.

На слици 6 приказан је упросечени материјални биланс за аутогене процесе топљења.

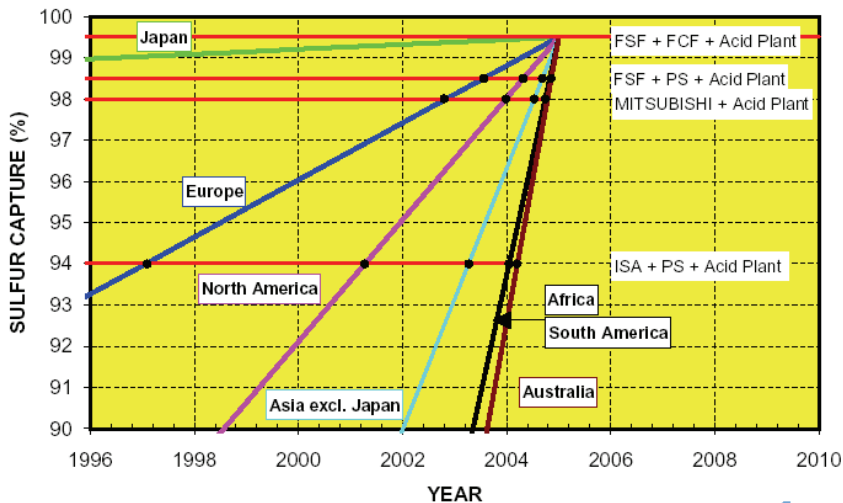
Последњих тридесетак година у свету је све израженији захтев за смањење емисије отпадних топионичких гасова у атмосфери.

Табела 1. Специфичан утршак енергије у појединим технолошким процесима у GJ/t Cu (7)

Процес	Teniente конвертор	Пламена пећ	Електро пећ	INCO flash	Outokumpu flash	Noranda	Mitsubishi
Утршак енергије	22,49	30,93	42,52	21,26	18,92	24,01	19,77



Слика 6. Упросечени материјални биланс за аутогене процесе топљења (2)



Слика 7. Степен искоросћења сумпора у појединим земљама и регионима, као и појединим технолошким процесима за период 1996. – 2006. година (3)

На слици 7 приказано је кретање степена искористишћења сумпора у појединим земљама и регионима, као и појединим технолошким процесима за период 1996. – 2006. година.

Пораст степена искористишћења сумпора растао је као последица замене класичних процеса топљења аутогеним као и модернизације постојећих аутогених процеса. Према неким подацима (1) за Чиле (највећи произвођач бакра у свету) улагања у циљу смањења емисије сумпордиоксида износила су 170 – 200 US \$ по тони  $H_2SO_4$  док се укупна улагања у заштиту животне средине процењују на 1,2 милијарди US \$. Ефекти тих улагања огледају се у смањењу емисије сумпордиоксида за 3 пута, а арсена са 4600 t у 1998. на око 2064 t.

У топионици у Хамбургу («Flash» пећ капацитета око 1.000.000 t концентрата годишње) је у програм модернизације у циљу заштите животне средине у периоду од 1985. до 2000. године уложено око 300 милиона евра, а постигнуто смањење емисије сумпордиоксида за око 80% (8).

Финска топионица у Харјавалти, где је изграђена прва «flash пећ», континуирано је радила на смањењу емисија у животну средину. Од 1990. године до 2006. емисија сумпордиоксида је смањена за око 62% и достигнуто је искористишћење сумпора од 98% (6).

Примери ових топионица показују да је могуће остварити задовољавајућу заштиту животне средине уз одговарајућа улагања у замену и/или усавршавање технолошких процеса.

Као добар пример стварања индустријског екосистема и одрживог развоја може послужити топионица у Харјавалти у Финској. На слици 8 приказана је шема материјалних и енергетских токова у индустријском парку у Харјавалти где се постиже максимално искористишћење материје и висока енергетска ефикасност.

На слици 9 приказан је ланац коришћења сумпора од рудника бакра до коначне употребе производа.

На основу анализе стања у пирометалургији бакра у свету могу се проценити трендови и потенцијалне технолошке промене:

- наставиће се трендови смањивања цене топљења и задовољавање економских критеријума;

- убрзаће се прилагођавање све захтевнијим еколошким прописима и стандардима;

- промене примарног топљења биће више фокусиране на унапређење конвертовања, увођење континуалних процеса, побољшање система за транспорт гаса и фиксације сумпора;

- «Flash» топљење као и неке од технологија топљења у растопу ће и даље доминирати и развијати се уз повећање јединичних капацитета;

- за континуирано конвертовање, посебно Outokumpu «flash» конвертовање, очекује се проширење примене;

- постоји могућност релативно једноставне модернизације неких постојећих «flash» пећи за примарно топљење у «flash» пећ за производњу белог мата;

- производња белог мата (гранулисаног) као комерцијалног међупроизвода између топионица у ужем региону може да пружи одређену предност,

- неопходно је непрестано побољшање система за транспорт гаса и фиксацију сумпора;

- растући тренд прераде богаријих бакренаца (до белог мата) и намеће потребу изградње регионалних постројења за централизовану прераду хладних материјала;

- обзиром да се шири примена континуираног конвертовања треба наћи решење за претапање интерног бакарног скрапа из топионице и рафинације;

- интензивнији процеси топљења ће генерално повећати захтеве за искористишћење бакра из шлаке;

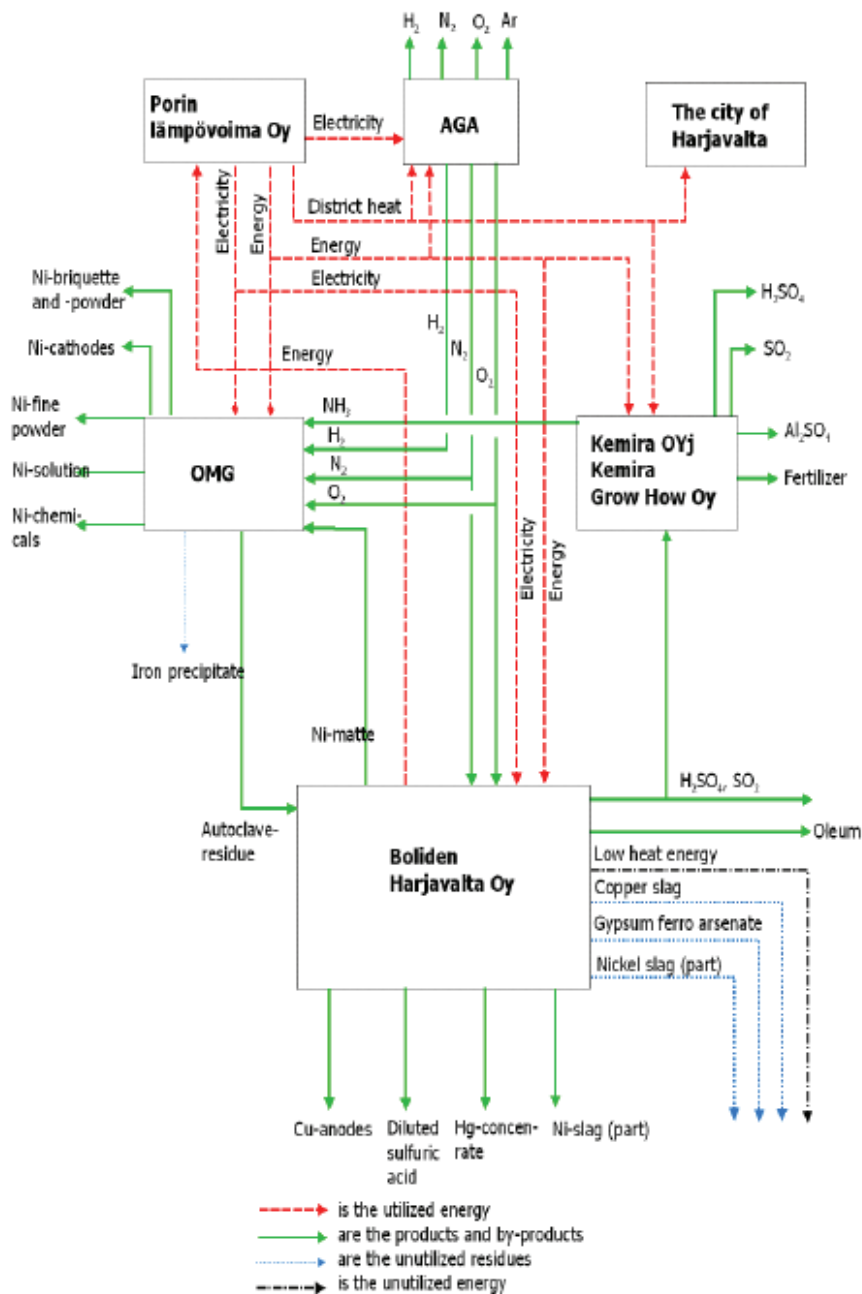
- технологија ливења анода ће задовољити повећане капацитете топљења;

- пламена рафинација, као и конвертори остају дисконтинуирани процеси због чега

ће се тражити начин за њихово превођење у континуиране процесе;

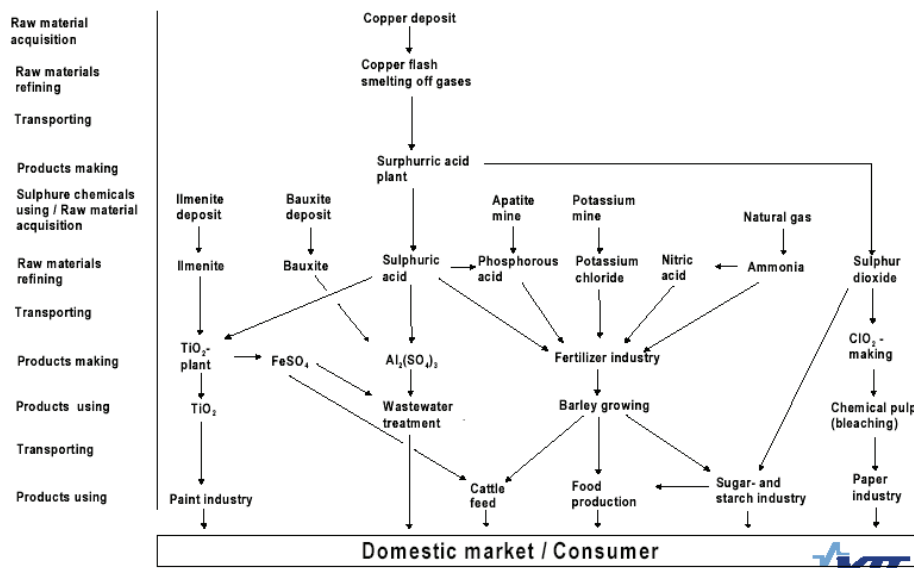
- испоручиоци технологије и опреме за производњу сумпорне киселине још увек

нису у комерцијалном обиму освојили задовољавајућа решења за прераду високо концентроване компоненте гасне фазе која се очекује у будућности.



Слика 8. Индустијски парк у Харјавалти (токови материје и енергије) (6)





Слика 9. Ланац коришћења сумпора од рудника бакра до крајњих производа и потрошача (3)

## КОНЦЕПТ ДАЉЕГ РАЗВОЈА МЕТАЛУРГИЈЕ БАКРА У БОРУ

Независно од исхода процеса власничке трансформације РТБ-а, која је у току, овде ће бити разматрани само технолошки и еколошки аспекти даље перспективе екстрактивне металургије бакра у Бору.

Анализирајући техничко – технолошке, еколошке и економске параметре који карактеришу садашњи рад топионице недвосмислено се долази до закључка да су они незадовољавајући. Два су основна разлога за такво стање:

1. Процес топљења у пламеним пећима, који је примењен у Бору, временски је превазиђен; после увођења у индустријску примену планмених пећи, још две генерације процеса, «фласх» топљење и топљење у растопу, су масовно уведене у индустријску примену. Процес топљења у пламеним пећима по већини параметара је неповољнији од савремених процеса.

2. Услови и начин експлоатације опреме и технологије већ дуже време одступа од пројектованих параметара. Због бројних спољашњих ограничавајућих

фактора (недостатак одговарајућих сировина и помоћних материјала), технологија се не води по прописаним стандардима и процедурама, што поред осталог утиче на убрзано пропадање опреме, а због недостатка финансијских средстава спроводи се њено рестриктивно одржавање што додатно угрожава њену функционалност. Због тога не могу да се остваре ни они параметри који су остваривани при нормалној експлоатацији ове технологије.

У протеклом периоду рађене су анализе могућности осавремењавања постојећег процеса топљења и побољшања његових параметара. Резултати тих анализа указују да побољшања која би се постигла на тај начин не би задовољила ни економске, а поготову еколошке критеријуме.

Такође су урађене и одговарајуће студије замене постојеће технологије топљења аутогеном технологијом. Такве студије су указивале на битно побољшање економских и еколошких показатеља и њихово довођење на прихватљиве вредности.

Последња таква студија урађена је 1999. године: «Студија услова примене појединих процеса топљења концентрата бакра у топионици у Бору» (4). Полазиште те студије је било: Замена процеса топљења у пламеним пећима једним од аутогених процеса, капацитета 650.000 t концентрата годишње, као и замена постојећих фабрика сумпорне киселине уз ревитализацију и осавремењавање осталих делова топионице који би остали у примени.

Анализирани су следећи процеси: Outokumpu flash, Mitsui flash, Isasmelt, Contop, Mitsubishi и Codelco.

У табели 2 даје се упоредни приказ вредности најзначајнијих технолошких параметара.

Упоређујући вредности параметара из табеле 2 са вредностима одговарајућих параметара који се остварују у топионици у

Бору долази се до закључка да би било који од анализираних процеса био много прихватљивији од постојећег у топионици у Бору.

На основу додатних критеријума у студији извршен је ужи избор процеса потенцијалних технологија. Нажалост, иако је у прошлости урађено доста анализа, студија, чак и конкретних решења кроз одговарајуће инвестиционе програме, није се до сада приступило реализацији.

У периоду од израде последњих поменутих студија до данас, потреба за заменом постојеће технологије у топионици у Бору се још снажније намеће. Свакако, због тога што су у овом периоду промењени улазни параметри на основу којих је урађена поменута студија, потребно је исту иновирати.

**Табела 2.** Вредности најзначајнијих технолошких параметара појединих технологија

Параметар	Јединица мере	ТЕХНОЛОГИЈА					
		Outokumpu	Mitsui	Isasmelt	Contop	Mitsubishi	Codelco Teniente
Технолошко искоришћење бакра у фази топљења	%	98,77	97,70	98,77	98,77	97,60	97,26
Специфична потрошња норматива							
Ел. Енергија (укупно)	KWh/t koncent.	230,00	195,45	195,00	169,17	150,00	195,00
Мазут / нафта (укупно)	t / 1 t koncent.	0,0163	0,0145	0,0042	0,0299	0,0220	0,9223
Ватростални материјал	t / 1 t koncent.	0,0015	0,0015		0,0015	0,0002	0,0025
Кокс / угаљ (укупно)	t / 1 t koncent.		0,0434 (кокс)	0,0167 (угаљ)		0,006 (угаљ)	0,0214 (угаљ)
Копља за пећ за топљење	Kg / 1 t konsent.			0,02375		0,42	
Садржај SO <sub>2</sub> у гасу (на суво)	%	26,4	27,7	30,7	27,2	38,2	16,4
Технолошко искоришћење сумпора	%	97	97	96	96	98	95

## ЗАКЉУЧАК

1. Постојећа технологија топљења бабра у Бору – пламене пећи, превазиђена је како са аспекта заштите животне средине тако и са економског аспекта због чега је неопходна замена неком од аутогених технологија.

2. Перспектива производње бабра из основних сировина у Бору ће и у будућности да се заснива на пирометалургији. Хидрометалургију треба сматрати применљивом за прераду евентуалних несулфидних сировина као и одређеног техногеног или одпадног материјала који садржи корисне метале.

3. Одлука о капацитету топионице ће моћи да се донесе након дефинисања дугорочног капацитета произвођаче концентрата у окружењу, при чему ће прерада концентрата из локалних извора имати економске предности у односу на прераду концентрата из удаљених извора.

4. Одрживи развој захтева:

а. Рационално коришћење воде што подразумева максималну рационализацију

потрошње, третман свих отпадних вода уз поновно коришћење пречишћене воде,

б. Високу енергетску ефикасност, односно максимално коришћење отпадне топлоте из технолошких процеса,

с. Висок степен пречишћавања отпадних гасова из металуршких, хемијских и енергетских постројења,

д. Чврсте технолошке отпаде (хладан материјал, прашине, шљаке идр.) максимално враћати у процес а за коначан отпад који не може да се врати у процес изгради безбедно складиште,

е. Успоставити ефикасан систем контроле и управљања процесима како би се ризик од хемијског удеса свео на минимум,

ф. Успоставити систем управљања заштитом животне средине (ISO 14000) и безбедношћу на раду (ISO 18000).

Било које технолошко - техничко решење које би се применило у топионици мора да задовољи наведене захтеве одрживог развоја.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Valnzuela A., Palacios D., Cordero D., Sanchez M., "The Chilean Copper Metallurgical Industry - An update", Yazawa International Simposium, San Diego, California, 2003
2. Goonan T., "Flows of Selected Materials Associated with World Copper Smelting", U.S. Geological Survey Open File Report 2004 / 1395, 2004
3. Mäkinen, J., "Eco – efficient Solutions in the Finish Metalurgical Industry", VTT Espoo, 2006
4. Јанковић, П., „Студија услова примене појединих процеса топљења концентрата бабра у топионици у бору“, ТИР, Бор, 1999.
5. Митовски, М., Ћирковић, М., „Енергија у металургији бабра“, Институт за бакар, Бор, 2007.
6. Heino J., Koskenkari T., "Industrial Ecology in the metallurgy industry The Harjavalta Industrial Ecosystem", University of Oulu
7. Warczok A., Riveros G., "Energy efficiency in batch, continous, and one – step copper pyrometallurgical processes", Uneiverzidad de Chile,
8. \*\*\* Annual report 2006/07, Noerdeutsche Affinerie
9. \*\*\*\* International Copper Study Group, The world copper factbook. Lisabon, 2007 [www.icsg.org](http://www.icsg.org)