

UNIVERZITET U BEOGRADU  
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

Ivan M. Najdenov

**UPRAVLJANJE PROCESIMA TOPLJENJA  
I RAFINACIJE BAKRA U FUNKCIJI  
UNAPREĐENJA ENERGETSKE  
EFIKASNOSTI I EKONOMSKE  
OPRAVDANOSTI**

doktorska disertacija

Beograd, 2013.

**Mentor,**

Dr Karlo T. Raić, redovni profesor

Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

**Komisija,**

Dr Gordana Kokeza, redovni profesor

Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Zoran Odanović, naučni savetnik

Instituta za ispitivanje materijala, Beograd

**Kandidat,**

Mr Ivan Najdenov, dipl.inž.met.

Datum odbrane doktorske disertacije: \_\_\_\_\_

Koristim priliku da izrazim posebnu zahvalnost kolegama koji rade u Topionici i rafinaciji bakra u Boru što su mi pomogli korisnim podacima iz prakse, savetima, kao i odgovarajućom literaturom u izradi ove doktorske teze.

Posebnu zahvalnost dugujem profesorima Karlu Raiću i Gordani Kokezi sa Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, kao i Dr Zoranu Odanoviću naučnom savetniku Instituta za ispitivanje materijala, takođe u Beogradu.

Takođe, želim da izrazim zahvalnost i svojim roditeljima na velikoj podršci i razmevanju koje su imali za mene.

Autor

Mr Ivan Najdenov, dipl.inž. met.

# **UPRAVLJANJE PROCESIMA TOPLJENJA I RAFINACIJE BAKRA U FUNKCIJI UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI I EKONOMSKE OPRAVDANOSTI**

## **REZIME**

Ova teza predstavlja uporednu analizu potrošnje energije u proizvodnji bakra “standardnim” postupkom (prženje u fluo-solid reaktoru i topljenje u plamenoj peći) u topinici bakra u Boru sa savremenim autogenim postupcima topljenja. Za analizu je korišćenja originalna metodologija koja podrazumeva sledeće: svi oblici utrošene energije su svedeni na primarnu energiju ili na isti oblik, tj. na ekvivalent energije procesa (EEP) sirovina i procesnih materijala. Takođe, i ekvivalent energije procesa i nus proizvoda (vodene pare, toplotna energija i slično) su bilansirani. U cilju kompletiranja potrošnje svih oblika energije koji se stvaraju u proizvodnji bakra, isti su svedeni i na uslovno gorivo (ekvivalent uglja=29,3 MJ/kg).

Ova analiza je pokazalo da će dalji razvoj pirometalurških procesa metalurgije bakra biti zasnovan na autogenosti topljenja, koji polazi od zahteva za objedinjavanjem pojedinih faza prerade (prženje, topljenje, konvertorovanje). Na taj način doprinosi se ostvarivanju sledećih ciljeva:

- efikasnije korišćenje hemijske energije koncentrata i smanjenje specifične potrošnje goriva,
- maksimalna ekološka zaštita okoline i proizvodnja gasa sa visokim sadržajem SO<sub>2</sub> u cilju proizvodnje sumporne kiseline,
- visoko iskorišćenje bakra i plemenitih metala.

Pored toga, ova teza predlaže zamenu postojeće tehnologije odgovarajućom autogenom tehnologijom topljenja, čime daje doprinos unapređenju optimizacije potrošnje energije, modernizaciji i većoj proizvodnji bakra u RTB-u Bor. Smanjenjem troškova

energije, kao važnim elemenatom ukupnih troškova, ostvaruje se značajno unapređenje efikasnosti i konkurentnosti predloženog procesa topljenja bakra.

**Ključne reči:** proizvodnja bakra autogenim postupcima, potrošnja energije, ekvivalent energije procesa (EEP), uslovno gorivo, standardni postupak topljenja u topionici u Boru.

**Naučna oblast:** metalurško inženjerstvo

**Broj UDK:** 669.333.7 : 676.012.3

# **MANAGING COPPER SMELTING AND RAFINATION PROCESSES FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC FEASIBILITY**

## **ABSTRACT**

This work presents a comparative analysis of the energy consumption during copper production by the “standard” procedure (roasting in a fluoesolid reactor and smelting in a reverberatory furnace) in the Smelting Plant in Bor with modern autogenous procedures. Za analizu je korišćenja originalna metodologija koja podrazumeva sledeće: all forms of expended energy were reduced to primary energy or to the same energy form, i.e., to the energy equivalent of the process (EEP), the raw material and the process materials. In addition, the energy equivalent of the process and waste products (water vapour, thermal energy and similar) were balanced. To complete the consumption of all energy generating products in copper production, they were reduced to conditional fuel (coal equivalent=29,3 MJ/kg).

This analysis has shown that future development of copper pyrometallurgical processes will be based on autogenous melting, requiring consolidation of certain processing stages (roasting, melting, converting). On that way, the following aims will be achieved:

- efficient use of concentrate chemical energy and reducing specific consumption of the fuel,
- maximal labour and environmental protection and production of SO<sub>2</sub> rich gas for greater use of sulfur to produce sulfur acid,
- high recovery of copper and associated metals.

Additionally, this thesis proposes replacement of existing technology with autogenous melting technology, that contributes improving of energy consumption optimization, modernization and increased copper production in RTB Bor. By reducing costs of energy, which is an important element included into total costs, significant

efficiency and competitiveness improvements of the proposed copper melting process will be realized.

**Keywords:** Autogenous copper production, Energy consumption, Energy equivalent of process (EEP), Conditional fuel, “Standard” procedure of melting plant in Bor.

**Scientific area:** metallurgical engineering

**UDK number:** 669.333.7 : 676.012.3

# SADRŽAJ

## REZIME

### I. TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZA PROIZVODNJU ANODNOG BAKRA

1. Savremni postupci za proizvodnju bakra
2. Topljenje u lebdećem stanju
  - 2.1. Outotec tehnološki postupak topljenja
  - 2.2. INCO tehnološki postupak topljenja
3. Procesi topljenja u tečnom kupatilu
  - 3.1. Noranda tehnološki postupak topljenja
  - 3.2. Micubiši tehnološki postupak topljenja
  - 3.3. Vanjukov tehnološki postupak topljenja
  - 3.4. Isasmelt/Ausmelt tehnološki postupak topljenja
  - 3.5. Teniente konvertor tehnološki postupak topljenja
4. "Standardni" tehnološki postupak za proizvodnju anodnog bakra u topionici Boru

### II. TEHNIČKO-EKONOMSKI POKAZATELJI AUTOGENIH POSTUPAKA TOPLJENJA U SVETU

1. Intenzitet procesa topljenja i iskorišćenje kiseonika u tečnom kupatilu
2. Specifična brzina potrošnje kiseonika
3. Tehničko-ekonomski pokazatelji autogenih procesa topljenja bakarnih koncentrata

### III. EKVIVALENT ENERGIJE PROCESA PROIZVODNJE ANODNOG BAKRA U TOPIONICI U BORU

1. Ekvivalent energije procesa prženja "standardnim" postupkom u fluo-solid reaktoru tipa "Dorr-Oliver"



2. Ekvivalent energije procesa topljenja prženca “standardnim” postupkom u plamenoj peći
3. Ekvivalent energije procesa konvertorovanja bakrenca “standardnim” postupkom
4. Ekvivalent energije procesa plamene rafinacije blister bakra “standardnim” postupkom
5. Ekvivalent energije pirometalurškog procesa u proizvodnji bakra “standardnim” postupkom

#### IV. EKVIVALENT ENERGIJE PROCESA PROIZVODNJE KATODNOG BAKRA U TOPIONICI I RAFINACIJI BAKRA U BORU

1. Ekvivalent energije procesa proizvodnje sumporne kiseline
2. Ekvivalent energije procesa elektrolitičke rafinacije bakra
3. Ekvivalent energije proizvodnje katodnog bakra

#### V. UPOREDNA ANALIZA TEHNIČKIH POKAZATELJA RADA PLAMENIH PEĆI U SVETU I U TOPIONICI U BORU

1. Step en iskorišćenja toplote goriva u plamenim pećima
2. Primena kiseonika u cilju intezifikacije procesa u plamenim pećima u proizvodnji anodnog bakra u svetu
3. Efekti uvođenja kiseonika u plamenim pećima u topionici u Boru
4. Specifična potrošnja goriva u plamenim pećima u svetu

#### VI. SEKUNDARNA ENERGIJA U METALURGIJI BAKRA

1. Iskorišćenje sekundarne energije u metalurgiji bakra
2. Iskorišćenje sekundarne energije u topionici bakra u Boru
3. Iskorišćenje energije u proizvodnji anodnog bakra u topionici u Boru

#### VII. ISKORIŠĆENJE SEKUNDARNE (OTPADNE) TOPLOTNE ENERGIJE

## VIII. MODERNIZACIJA TOPIONICE I IZGRADNJA NOVE FABRIKE SUMPORNE KISELINE U BORU

1. Parni sušač
2. Konstrukcija parnog sušača
3. Topljenje u fleš peći
4. Kontrola sulfatizacije dimne prašine
5. Konstrukcija fleš peći
6. Kotao otpadne toplote
7. Elektrostatički filter
8. Fugitivni gasovi
9. Konvertorovanje
10. Anodna rafinacija i livenje

## IX. EKOLOŠKE POSLEDICE U PROIZVODNJI BAKRA U BORU

1. Aerozagađenje
  - 1.1. Topionica
  - 1.2. Rudarstvo
  - 1.3. Energana
  - 1.4. Monitoring kvaliteta vazduha
2. Stanje zemljišta
3. Nastajanje otpada
4. Otpadne vode iz metalurških postrojenja i rudarskog dela

## X. UPOREDNA ANALIZA EKOLOŠKOG STANJA POSTOJEĆE “STANDARDNE“ TEHNOLOGIJE SA NOVOM TEHNOLOGIJOM

1. Trenutno stanje
2. Uticaj postojećih postrojenja na životnu sredinu i mere za smanjenje štetnih uticaja

3. Uticaj modernizovane topionice i nove fabrike sumporne kiseline na životnu i radnu sredinu u Boru uključujući i mere za smanjenje njihovog uticaja

## XI. EKONOMSKI ASPEKTI PROIZVODNJE BAKRA U SVETU

1. Produktivnost rada u proizvodnji bakra

2. Troškovi proizvodnje u rudarstvu i metalurgiji u svetu

2.1. Karakteristike troškova proizvodnje bakra

2.2. Raspored proizvodnje bakra prema nivou troškova

3. Efekti i uticaji promena prirodnih i tehničko-tehnoloških faktora na proizvodnju bakra u svetu

4. Potrošnja bakra u svetu

5. Regionalni raspored potrošnje rafinisanog bakra

5.1. Promene u regionalnoj strukturi potrošnje bakra

5.2. Raspored potrošnje i proizvodnje bakra u svetu

5.3. Finalna potrošnja bakra

6. Supstitucija bakra

7. Karakteristike cene bakra na svetskim berzama metala

8. Troškovi proizvodnje bakra u rekonstruisanoj topionici i novoj fabrici sumporne kiseline u Boru

ZAKLJUČAK

LITERATURA

# I. TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZA PROIZVODNJU ANODNOG BAKRA

## 1. Savremeni postupci za proizvodnju bakra

Tehnološki postupci za proizvodnju bakra se dele na pirometalurške i hidrometalurške. Pirometalurški postupci za proizvodnju bakra mogu se klasifikovati na autogene (topljenje u lebdećem stanju i topljenje u rastopu) i "standardne" (topljenje u plamenoj peći, elektro peći, šahtnoj peći). Ovi postupci učestvuju sa više od 80 % svetske proizvodnje bakra.[1]

Karakteristika "standardnih" procesa za preradu sulfidnih bakarnih koncentrata je ta što obuhvata fazu prženja u kojoj se oslobađa i nepovratno gubi velika količina toplote, dok naredna faza topljenja zahteva potrošnju velike količine dodatne skupe toplote (nafta, mazut, ugalj ili prirodni gas). Zbog toga su ovi postupci za proizvodnju bakra postali nerentabilni. Takođe, dodatno nepovoljne okolnosti kao što su nagli porast cene energenata u svetu i rigorozni zakoni o zaštiti životne sredine, sredinom prošlog veka uticale su da se razviju i primene modernija i racionalnija tehnološka rešenja bazirana na principima autogenosti topljenja, tj. korišćenje hemijske energije sumpora iz sulfidnih bakarnih koncentrata.

Autogenost u pirometalurškoj proizvodnji bakra je poznata duže od jednog veka i to kod: prženja sulfidnih koncentrata, topljenja piritnih ruda i konvertorovanja bakrenca. Za autogeno topljenje bakarnih koncentrata najveći deo toplote se dobija na račun egzotermnih reakcija sulfida gvožđa i bakra: pirita ( $\text{FeS}_2$ ) i halkopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ).[2,3,4] To znači da sadržaj sulfidne komponente u koncentratima bakra definiše parametre oksidacionog agensa, i to: stepen obogaćenja vazduha kiseonikom, temperaturu obogaćenog vazduha i količinu dopunskog goriva.[3] Sulfidi imaju prilično visoku hemijsku energiju koja se treba maksimalno iskoristiti u procesu topljenja koncentrata bakra. Na taj način se smanjuju

troškovi korišćenja dodatne energije u vidu uglja ili gasa i poboljšava ekonomija celokupnog tehnološkog procesa.[5]

Dalji razvoj pirometalurških procesa je zasnovan na autogenosti topljenja koji polazi od zahteva za objedinjavanjem pojedinih faza prerade (prženje, topljenje, konvertorovanje) sa sledećim ciljevima: [6]

- efikasnije korišćenje hemijske energije koncentrata i smanjenje specifične potrošnje goriva,
- maksimalna ekološka zaštita okoline i proizvodnja gasa sa visokim sadržajem SO<sub>2</sub> u cilju proizvodnje sumporne kiseline,
- visoko iskorišćenje bakra i plemenitih metala.

Polazeći od ovih osnovnih principa, mnoge svetske kompanije razvile su sopstvene autogene procese topljenja bakarnih koncentrata koji su tehnološko i operaciono različiti. U tehnološkom pogledu ti procesi se razlikuju po načinu sagorevanja sulfida i topljenja.[7] Danas postoje dva dominantna načina sagorevanja i topljenja sitnozrnih bakarnih koncentrata: topljenje u lebdećem stanju (plamenu) i topljenje u tečnom kupatilu (rastopu).

## **2. Topljenje u lebdećem stanju**

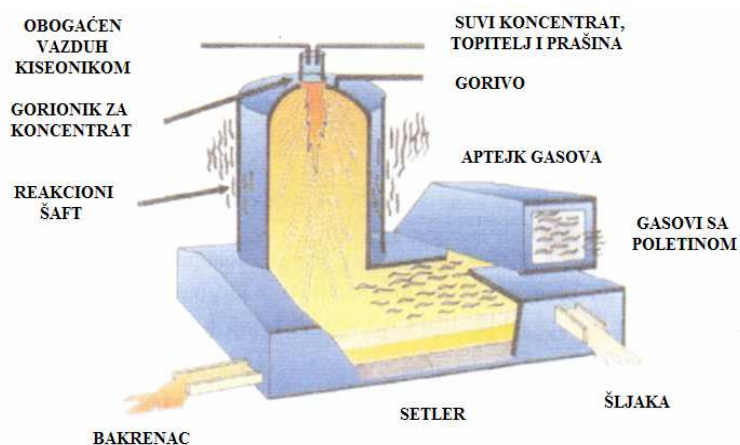
### **2.1. Outotec tehnološki postupak topljenja**

U topionici Harjavalta u Finskoj je prvi put primenjen proces topljenja bakarnih koncentrata u lebdećem stanju 1949. godine. Outotec proces je u poslednjih pedeset godina imao vrlo uspešan razvitak, a danas je najrasprostranjeniji proces u proizvodnji bakra i nikla. Danas se oko 50 % svetske proizvodnje bakra i nikla dobija ovim tehnološkim postupkom. Ova tehnologija topljenja je u ekološkom i operativnom smislu najprihvatljivija jer omogućava proizvođačima da zadovolje i najstrožije ekološke standarde. Takođe, Outotec tehnologija topljenja ima vodeću poziciju u proizvodnji bakra po osnovu svoje

ekonomičnosti, prilagodljivosti, niske potrošnje energije, i visokog iskorišćenja sumpora.[8]

Proces autogenog topljenja bakarnih koncentrata ovim postupkom u odnosu na plamene peći ima znatno bolje tehničko-ekonomske pokazatelje što se ogleda u sledećem: efikasnije korišćenje energije sulfida iz koncentrata, višim iskorišćenjima metala i sumpora i daleko boljom zaštitom atmosfere od zagađenja  $\text{SO}_2$  i drugih štetnih materija.

Finska tehnologija je usavršavana vremenom, razrađena su i primenjena nova rešenja u cilju poboljšanja procesa, ekologije, ekonomije, tehnike i smanjenja potrošnje energije. Zahvaljujući tome, proces Outotec je ispoljio fleksibilnost, kako u pogledu topljenja koncentrata različitog sastava tako i u pogledu kapaciteta prerade koji se kreće od 400 do 3000 tona na dan.[8] Ovaj postupak je tehnički i aparativno najusavršeniji autogeni proces topljenja sulfidnih bakarnih koncentrata. Šematski prikaz Outotec procesa je dat na sl. 1.



Sl. 1. Šematski prikaz Outotec procesa[8]

Peć Outotec se sastoji iz tri dela: reakcionog šahta (reaktora), odvajča, i aptejka (dimnjaka). Spojevi vertikalne kupole, setlera (šljaka i bakrenac) i kotla otpadne toplote se

hlade bakarnim elementima (žaketima) za hlađenje. U komori za razdvajanje tj. u setleru Outotec peći se odvijaju sledeći procesi:

- sulfidiziranje bakarnih i drugih oksida, koji su stvoreni u reaktoru,
- rastvaranje teškotopivih komponenti (CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO) u primarno stvorenoj fajalitnoj šljaci (2 FeO·SiO<sub>2</sub>), i stvaranje šljake konačnog sastava,
- redukcija magnetita sa sulfidima i SiO<sub>2</sub>,
- stvaranje bakrenca konačnog sastava sa 60 % - 65 % Cu, kao i ukupnjavanje sitnih sulfidnih čestica,
- razdvajanje bakrenca i šljake i
- odvođenje struje gasa iz peći kroz kotao i elektrostaticki filter pre odlasku u fabriku sumporne kiseline.

Nečistoće koje se nalaze u rudi bakra su prisutne i u koncentratima koji se tope u fleš peći pri čemu se one izdvajaju u procesu topljenja i anodne rafinacije. Tabela 1 pokazuje da je to delimično postignuto u procesu topljenja u fleš peći tako što delovi nečistoća odlaze sa bakrencem, šljakom i gasovima. U tabeli 1 se vidi da se bakar najviše izdvaja u bakrencu (97 %) uključujući i zlato (95 %), srebro (90 %-95 %).[1]

Tabela 1. Raspodela elemenata u Outotec procesu topljenja[1]

Element	% u bakrenac	% u šljaku	% u gasove topljenja
Cu	97	2	1
Ag	90-95	2-5	3-8
Au	95	2	3
As	15-40	5-25	35-80
Bi	30-75	5-30	15-65
Cd	20-40	5-35	25-60
Co	45-55	45-55	0-5
Ni	70-80	20-25	0-5
Pb	45-80	15-20	5-40
Sb	60-70	5-35	5-25
Se	85	5-15	0-5
Te	60-80	10-30	0-10
Zn	30-50	50-60	5-15

Raspodela nečistoća u Outotec procesu topljenja je često složena zbog pretapanja različitih materijala (po veličini i hemijskom sastavu) kao što su: prašine iz procesa topljenja i konvertorovanja, koncentрати koji se dobijaju preradom šljaka iz fleš peći i konvertora, i talozi iz procesa proizvodnje sumporne kiseline. Međutim, tri topionice (Chuquiqamata-Čile, Kennecott-Amerika i Kosaka-Japan) dobijaju bakar iz prašina hidrometalurškim putem što je naročito efikasan postupak za izdvajanje As, Bi i Cd dok se Pb izdvaja u manjoj količini.[1]

Stepen obogaćenja vazduha kiseonikom i povećanje sadržaja bakra u bakrencu predstavljaju najvažnija procesna unapređenja. Ova tehnološka poboljšanja imaju direktan uticaj na smanjenje troškova celokupnog procesa topljenja, konvertorovanja, gasnog trakta i proizvodnje sumporne kiseline. Obogaćivanje vazduha kiseonikom i sadržaj bakra u bakrencu imaju isti cilj a to je smanjenje ukupne potrošnje energije.

Proces rada Outotec fleš peći je visoko automatizovan što podrazumeva održavanje konstantne temperature i hemijskog sastava bakrenca i šljake, kao i kapacitet sa minimalnom potrošnjom energenta u procesu topljenja. Sastavi bakrenca i šljake se kontrolišu podešavanjem odnosa kiseonik/koncentrat i topitelj/koncentrat. Temperature bakrenca i šljake se kontrolišu podešavanjem ulaznog odnosa  $N_2/O_2$  i potrošnje energenta.[1]

Šljake iz Outotec peći se ispuštaju periodično. One sadrže oko 1,5 % Cu zbog čega se moraju dodatno prerađivati zajedno sa konvertorskim šljakama koje imaju 5 %-6 % bakra. U svetu se koriste dve metode za preradu ovih šljaka: metoda redukcije u elektropečima i metoda flotacije.[9] Metodom flotacije šljaka se izliva u jame, hladi vodom, melje i flotira i vraća se u proces topljenja kao koncentrat sa sadržajem bakra od 35 %-45 % bakra.

Poboljšanje tehnoloških parametara rada celokupne tehnološke linije rezultiralo je i povećanim iskorišćenjem sumpora iz gasovitih produkata, a nivo ukupnog iskorišćenja



sumpora iz šarže iznosi 98-99 procenata. Primenom vazduha obogaćenog kiseonikom dobija se manja zapremina gasova sa višim sadržajem SO<sub>2</sub>, pa je njihova prerada i dobijanje sumporne kiseline daleko ekonomičnije.

Outotec postupak topljenja je u svom dugogodišnjem razvoju pretrpeo niz tehnoloških unapređenja, počevši od primena predgrejanog vazduha na temperaturu od 400 °C-1050 °C kao i primene vazduha obogaćenog kiseonikom (30-90 procenta kiseonika).[10]

Kompanija Outotec u novije vreme je počela da koristi parne sušnice, koje imaju rotacione cilindrične cevi, koje su se pokazale kao najbolje za peći za topljenje u lebdećem stanju. Ove sušnice mogu da koriste zasićenu paru, koja se dobija u kotlu utilizatoru spojenim sa peći za topljenje. Na taj način se deo hemijske energije iz koncentrata, koja se oslobađa za vreme autogenog procesa topljenja koristi za sušenje. Mali gubici toplote, i relativno mala zapremina gasova, omogućavaju da se dobije najbolji toplotni koeficijent korisnog dejstva sušenja.

Prednosti Outotec tehnologije topljenja bakarnih koncentrata se ogledaju u sledećem:

- niski investicioni i proizvodni troškovi,
- mogućnost prerade sirovine/materijala različitih kvaliteta sa menjanjem kapaciteta prerade,
- visoko iskorišćenje metala,
- zadovoljenje rigoroznih ekoloških standarda,
- bezbedni i higijenski uslovi rada,
- dugačak vremenski period rada između glavnih remonta.[8]

Jedino ograničenje u radu ove peći je nemogućnost za pretapanje bakarnog skrapa.[1]

## 2.2. INCO tehnološki postupak topljenja

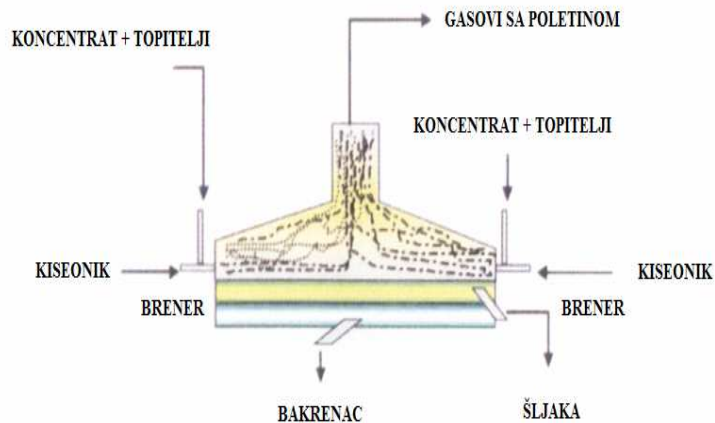
Puštanjem u rad INCO peći za topljenje 1952. godine eliminisani su nedostaci dominantnih plamenih peći u cilju boljeg iskorišćenja energije sulfidnih minerala iz koncentrata. Na taj način se smanjuje potrošnja energije, poboljšavaju ekološki uslovi okoline, a samim tim povećava i iskorišćenje bakra. INCO proces je instaliran u tri topionice (Copper Cliff, Hayden i Chino).

Proces topljenja se vrši u peći sa horizontalnim radnim prostorom uz korišćenje tehničkog kiseonika (95 %  $O_2$ -98 %  $O_2$ ), što omogućava da se procesi oksidacije sulfida odigravaju velikom brzinom i sa malim brzinama gasnih struja koje su posledica manjih količina gasovitih produkata stvorenih u peći zbog odsustva balastnog azota. Ovaj način topljenja zahteva dobro pripremljenu šaržu koja mora biti usitnjena i osušena do 0,5 % vlage. Šarža se obično suši u jednom ili dva stepena u rotacionim ili fluidizacionim sušnicama.[11]

Glavni kontrolni parametar rada INCO peći je odnos dodavanja kiseonika i koncentrata. Od ovog odnosa zavisi količina oksidisanih Fe i S, temperatura u peći, kao i sadržaj bakra u bakrencu. Ovaj odnos se ne sme menjati u širem opsegu jer može ugroziti stabilnost peći. Zbog toga ni bakrenac iz INCO peći ne sadrži visok sadržaj bakra (40 %-60 % Cu). Sastav šljake se odabira tako što ista treba da bude tečna i da se dobro odvaja od bakrenca pri čemu optimalni sadržaj  $SiO_2$  treba da bude 34 procenta. To se dobija podešavanjem količine topitelja i osušene šarže.[1]

Radna temperatura u peći je veoma bitna da bi se dobila tečna šljaka i dobro raslojavanje bakrenca i šljake. Temperatura šljake je obično 1250 °C. Na temperaturu u peći se može uticati pretapanjem povratnog materijala i korišćenjem odgovarajućeg energenta (prirodnog gasa ili uglja). Za spuštanje ili podizanje temperature u peći bitan je odnos povratni materijal/osušena šarža. Sagorevanjem energenta zagreva se peć a samim tim i produkti u njoj a to se postiže povećanjem odnosa prirodni gas ili ugalj/osušena šarža.[1] INCO peć je prikazana na sl. 2.

Uvođenjem ovog procesa u industrijsku primenu ostvareno je sledeće:



Sl. 2. Šematski prikaz INCO procesa[12]

- korišćenje toplotne energije oslobođene oksidacijom sulfida iz bakarnih koncentrata primenom tehničkog kiseonika (95 %  $O_2$ -98 %  $O_2$ ) objedinjuje faze prženja i topljenja.
- upotrebom tehničkog kiseonika umesto vazduha, količina gasova nastalih u procesu i do 40 puta je manja nego kod plamenih peći, što omogućava znatno smanjenje veličine sistema za hlađenje i prečišćavanje gasova. Time se poboljšava ekonomija njegovog rada a i zaštita atmosfere je skoro potpuna.
- povećana koncentracija  $SO_2$  u gasovitim produktima peći (70 %  $SO_2$ -80 %  $SO_2$ ) omogućuje jeftinije dobijanje tečnog  $SO_2$ , elementarnog sumpora ili sumporne kiseline.

Nedostaci ovog procesa su:

- složena i skupa priprema šarže,
- povećan sadržaj bakra u šljaci (0,75 % Cu-1,6 % Cu) zbog čega se ista mora dodatno prerađivati,

- velika potrošnja električne energije koja prati proizvodnju kiseonika čije je učešće u ukupnim troškovima 50 %,
- nedovoljno iskorišćenje pratećih metala.

### 3. Procesi topljenja u tečnom kupatilu

Oksidacija sulfida i topljenje sulfidnih bakarnih koncentrata u tečnom kupatilu (rastopu), predstavlja procese topljenja nove generacije koji su uvedeni u metalurgiji bakra 1973. godine. Do kraja XX veka razvijeno je i u industrijsku praksu uvedeno nekoliko procesa ove vrste i to po sledećem hronološkom redosledu: Noranda 1973., Micubiši 1974., Teniente konvertor 1977., proces Vanjukova 1982. i Isasmelt 1992.

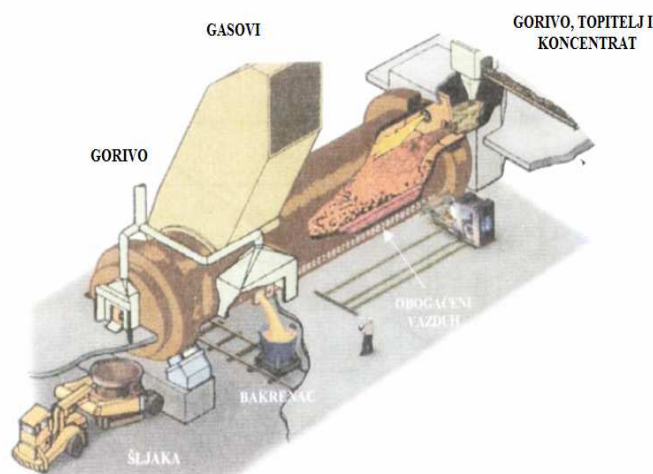
#### 3.1. Noranda tehnološki postupak topljenja

Noranda je proces kontinualnog autogenog topljenja bakarnih sulfidnih koncentrata do bogatog bakrenca ili blister bakra. Proces se odvija u horizontalnom cilindričnom reaktoru prečnika 4,5 m-5,5 m i dužine 18-26 metara. [13] Omotač je napravljen od čelika a iznutra obložena hrom-magnezitnom vatrostalnom ciglom debljine 0,5 metara. Takođe, po dužini peći je raspoređeno 35-65 duvnica koje su 5 cm-6 cm u prečniku.[1]

Prvi Noranda reaktor je pušten u rad u Topionici Horne, Kvebek, Kanada 1973. godine, sl. 3. Kapacitet topionice je 1973. godine iznosio 725 t/dan, a 1989. godine, upotrebom vazduha obogaćenog kiseonikom i drugim tehničkim poboljšanjima, kapacitet prerade šarže je povećan na 2700 tona na dan. Princip rada ovog reaktora se zasniva na uduvanju vazduha obogaćenog kiseonikom kroz duvnice u sloj bakrenca koji se u tim uslovima nalazi u barbotaznom stanju. Na taj način se postižu temperature od 1150 °C-1200 °C. Šarža, sačinjena od vlažnog koncentrata bakra i topitelja, uvodi se u reakcioni prostor pomoću šaržirnog uređaja na čelu peći. Zahvaćena rastopom u peći, šarža se kontinualno topi. Sva količina toplote za grejanje i topljenje šarže oslobađa se oksidacijom Fe i S po sledećoj hemijskoj reakciji (1):



Mešanje materijala prilikom prodivavanja vazduha obogaćenim kiseonikom kroz duvnice u Noranda peći omogućava brzo topljenje i dovodi do toga da se plementi metali apsorbuju u bakrencu. Takođe, visoka temperatura i intenzivno mešanje mogu uticati na stvaranje štetnih organskih jedinjenja koja mogu u potpunosti da oksidišu do  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Sastav bakrenca se kontroliše odnosom kiseonik/šarža dok se temperatura bakrenca i šljake ( $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ) kontroliše regulisanjem odnosa energent/šarža.[1]



Sl. 3. Noranda reaktor [13]

Šljaka iz procesa topljenja koja sadrži 5 %-6 % Cu se izliva iz reaktora u lonce i transportuje do mesta za hlađenje i pri tom se hladi vodom 30-40 časova. Očvrsnuta šljaka se drobi, melje i flotira i na taj način se dobija koncentrat sa 40 % Cu koji se ponovo vraća u proces topljenja.

Noranda proces je stalno usavršavan. Upotrebom vazduha obogaćenog kiseonikom sa 34 % ( $30\% \text{O}_2 - 35\% \text{O}_2$ ) ostvaren je skoro autogeni proces uz korišćenje male količine goriva, dok je sa sadržajem kiseonika od 40 % ostvareno potpuno autogeno topljenje. Međutim, ovakvo obogaćenje kiseonikom predstavlja gornju granicu kada je primećeno naglo trošenje vatrostalnog ozida reaktora, čime je bila ugrožena stabilnost čitavog

agregata.[14] Upravo iz ovih razloga šarža za proces topljenja ovim postupkom u firmi Noranda (Quebec-Kanada) uključuje i 20 % skrapa koji se sastoji od: šljaka, čvrstih ostataka (do 14 % vlage), žice i kablova od bakra, ingota od plemenitih metala, delova automobila (hladnjaci), elektronskog i računarskog otpada i dr.[1]

Proces topljenja u Noranda reaktoru se kontroliše na osnovu sledećih pokazatelja:

- podešavanjem odnosa kiseonik/koncentrat reguliše se sadržaj bakra u bakrencu i temperatura u reaktoru,
- odnosom topitelj/koncentrat reguliše se sadržaj FeO i SiO<sub>2</sub> u šljaci (obično odnos FeO/SiO<sub>2</sub> iznosi 1,8-1,85).

Temperatura bakrenca i šljake može da se kontroliše i podešavanjem odnosa N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, dok se hemijski sastav šljake podešava pomoću odnosa topitelj/šarža. Za optimalan rad peći treba postići odnos SiO<sub>2</sub>/Fe=0,65[1]

Sa porastom sadržaja kiseonika u uduvanom vazduhu raste kapacitet prerade sarže u reaktoru i sadržaj SO<sub>2</sub> u gasovitim produktima, a potrošnja goriva opada. Tabela 2 pokazuje raspodelu nečistoća u procesu topljenja. Štetne komponente uglavnom odlaze sa šljakom (Zn) i izlaznim gasovima (As,Bi,Pb). Ni se najviše izdvaja u bakrencu (77 %) i prati bakar i u procesu elektrolitičke rafinacije gde se izdvaja i dobija kao niklsulfat.[1]

Tabela 2. Raspodela elemenata u Noranda procesu topljenja[1]

Element	% u bakrenac	% u šljaku	% u gasove topljenja
As	8	12	80
Bi	9	12	79
Ni	77	22	1
Pb	13	13	74
Sb	15	31	54
Zn	6	84	10

Osnovni tehno-ekonomski pokazatelji na primeru topionice Horne u Kanadi su:

- kapacitet prerade iznosi 2700 t/dan bakarnog koncentrata,

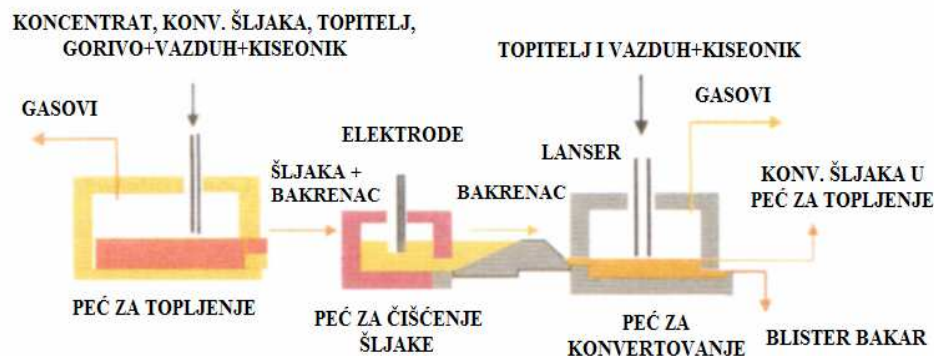
- specifični kapacitet topljenja, do 10 t/(m<sup>2</sup>·dan),
- specifična potrošnja toplote goriva iznosi 2321 MJ/t-2954 MJ/t koncentrata,
- sadržaj bakra u procentima: šarža-21,7 %, bakrenac-73 %, šljaka-5,5 %, otpadna šljaka (flotacijska jalovina)-do 0,35 %, anodni bakar-99,4 %,
- sadržaj kiseonika u uduvanom vazduhu iznosi 35 %-36 %,
- iskorišćenje bakra-95,2 %,
- iskorišćenje sumpora-86 %,
- visok intenzitet topljenja-286 m<sub>n</sub><sup>3</sup> O<sub>2</sub>/(h·m<sup>3</sup> vol. peći).

Imajući u vidu da su kod Noranda reaktora bila izražena određena tehnološka ograničenja (stepen obogaćenja vazduha kiseonikom, kratak vek trajanja agregata pri proizvodnji blister bakra, nisko iskorišćenje sumpora) ova tehnologija nije našla masovnije primenu u praksi.

### **3.2. Micubiši tehnološki postupak topljenja**

Micubiši proces predstavlja proces autogenog kontinualnog topljenja bakarnih sulfidnih koncentrata. Specifičnost ovog tehnološkog postupka je u tome što se operacija topljenja, prečišćavanje šljake, konvertorovanje i anodna rafinacija obavljaju u posebnim pećima koje su postavljene u red, kaskadno, sa visinskom razlikom od 1,5 m. Pri tome rastop neprekidno teče iz jedne u drugu peć, počevši od peći za topljenje do anodne peći i mašine za livenje anoda. Dispoziciona šema peći u Micubiši procesu je prikazana na sl. 4.

U peć za topljenje u rastop ulazi vazduh obogaćen kiseonikom, suv koncentrat, kvarcni topitelj i povratni materijali preko vertikalnih koplja koja se nalaze na krovu peći. Prilikom topljenja u ovom procesu oksidiše Fe i S iz koncentrata i dobija se bakrenac sa 68 % Cu i fajalitna šljaka koji preko kanala prelaze u elektro peć.[1]



Sl. 4. Dispoziciona šema peći u Micubiši procesu kontinuiranog topljenja bakarnih koncentrata[15]

U elektro peći se vrši uklanjanje šljake od bakrenca tako što bakrenac odvojen od šljake preko kanala ide dalje u peć za konvertovanje. Šljaka koja ovde nastaje ima 0,7 %-0,9 % Cu i kontinuirano se odvodi i granulise uz pomoć vode.[1]

U procesu konvertovanja se dodaje vazduh obogaćen kiseonikom, krečnjak kao topitelj i granulisana konvertorska šljaka preko vertikalnih koplja koja se nalaze na krovu peći. Iz bakrenca oksidišu Fe i S. Bakar kontinuirano izlazi iz procesa konvertovanja i odlazi u peć za anodnu rafinaciju. Šljaka koja sadrži 14 % Cu granulise se vodom i granulat se ponovo vraća kao povrani materijal u peć za topljenje.[1]

Ovaj postupak karakteriše visoko iskorišćenje  $SO_2$  koji se izdvaja iz procesa topljenja i konvertovanja i preko elektrofiltera dalje usmerava u proces proizvodnje sumporne kiseline ili tečnog  $SO_2$ . Takođe, smanjena je emisija štetnih gasova zbog toga što se istopljeni materijal (rastop) ne transportuje loncima iz jednog agregata u drugi.[1]

Micubiši proces kontinualnog topljenja bakarnih koncentrata je stalno modernizovan i usavršavan. Ovaj postupak je zastupljen u topionici u Naošimi u Japanu



kapaciteta 240000 t/god. bakra i Kid Kriku u Kanadi kapaciteta 120000-150000 tona godišnje.

Micubiši proces je fleksibilniji od konvencionalnih procesa topljenja koncentrata, jer isti može da prerađuje sekundarne i povratne materijale raznih vrsta i sastava. Tome doprinosi relativno mala količina tečnog rastopa u peći, a njegovom brzom analizom omogućene su brze intervencije u sastavu šarže i brze promene operacionih parametara.

Male veličine peći, kontinualan i autogen proces, maksimalno iskorišćenje toplote sulfida iz koncentrata, i dobra izolacija čine da proces ima dobre tehničko-ekonomske karakteristike. Optimalni rezultati rada sa ovom tehnologijom se postižu pri radu sa bakrencem koji ima od 68 % do 72 % bakra.[16]

Takođe, treba napomenuti da je kompanija Micubiši radila i na unapređivanju tehnološkog procesa u cilju valorizacije bakra iz topioničkih šljaka. Sadržaj bakra u tim šlakama se kreće od 0,6 % do 0,8 % tako da se procesima usitnjavanja i flotiranja reciklira velika količina šljake na godišnjem nivou i na taj način se smanjuju gubici bakra.

Nakon puštanja prve peći u rad 1974. godine, u topionici Naošima u Japanu Micubiši proces je stalno unapređivan. Specifičnosti kontinuiranog procesa topljenja Micubiši su:

- topljenje šarže, osušene do 0,5 % vlage, vrši se njenim injektiranjem kroz vertikalne duvnice, velikom brzinom, u rastop tečnog kupatila koje je zagrejano na 1230 °C-1250 °C,
- topljenje može biti, u zavisnosti od sastava šarže, sadržaja kiseonika u uduvanom vazduhu i dodatka goriva, poluautogeno ili autogeno. Sadržaj kiseonika u uduvanom vazduhu iznosi 40-50 procenata,
- proces je kontinualan i obuhvata: topljenje, razdvajanje bakrenca od šljake, konvertovanje, anodnu rafinaciju i livenje anoda.

U odnosu na "standardni" postupak topljenja u plamenoj peći i konvertovanja bakrenca. Micubiši proces ima niz prednosti i to:

- predstavlja autogeni kontinualni proces koji ima 3-5 puta veći specifični kapacitet topljenja,
- približno dva puta manju potrošnju goriva,
- visoko iskorišćenje sumpora od 99,5 %,
- visoko iskorišćenje bakra od 97 %,
- ima smanjena investiciona ulaganja oko 15 % i smanjene proizvodne troškove 15 do 20 procenata.

Produktivnost Micubiši postupka je skoro udvostručena za period od 1980-1990.godine zahvaljujući sledećim poboljšanjima:

- povećan sadržaj kiseonika u vazduhu koji se uduvava u procesu topljenja i konvertorovanja,
- povećana trajnost vatrostalnog materijala u svim agregatima, poboljšano hlađenje vodom i bolje pozicionirana koplja na vrhu peći,
- poboljšana kontrola procesa u svim delovima procesa proizvodnje.[1]

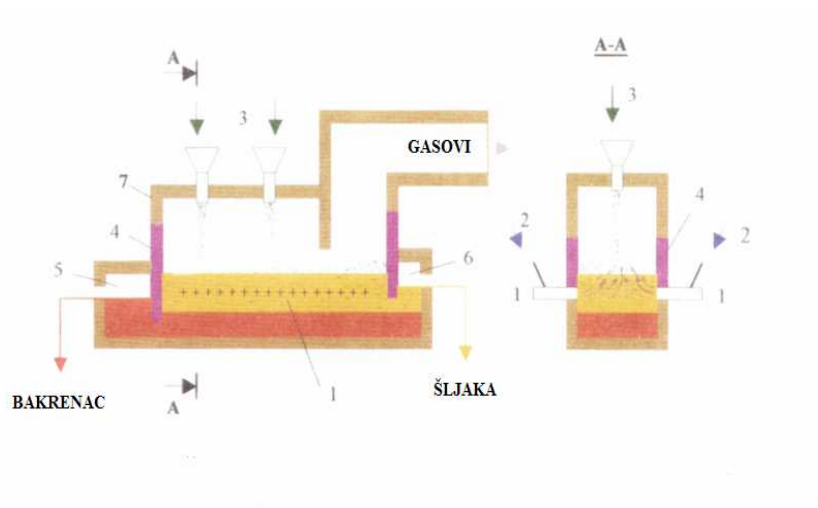
Takođe, ovaj postupak ima prednosti u odnosu na postupke topljenja u lebdećem stanju koji se ogledaju kroz: veći specifični kapacitet topljenja i manje gubitke bakra i pratećih metala. Nedostatak predstavlja neophodnost sušenja šarže do 0,5 % vlage.[9]

### **3.3. Vanjukov tehnološki postupak topljenja**

Proces Vanjukova je intenzivan autogeni proces topljenja bakarnih sulfidnih koncentrata u barbotaznom kupatilu. Nakon opsežnih ispitivanja u poluindustrijskim i industrijskim uslovima prva peć je puštena u rad 1982. godine u topionici Norilsk (Rusija). U bivšem Sovjetskom savezu je instalisano šest ovakvih peći. Ovaj proces je dobio naziv po autoru, akademiku prof. A. V. Vanjukovu, 1988. godine.

Peći Vanjukova su šahtnog tipa, delimično žaketirane i različite su veličine: dužine 10 m-30 m, širine 2,5 m-3 m, visine 6 m-6,5 m, sa duvnicama postavljenim 1,5 m-2 m

iznad poda. U ovoj peći mogu se topiti, autogeno ili poluautogeno, siromašni i bogati bakarni koncentracije sa raznim dodacima (vlažnosti 6 %-8 %), krupnokomadaste i selektivno iskopane bogate rude bakra, povratni materijali (krupnoće do 50 mm), gorivo (uglavnom komadasti ugalj), topitelji tako da je postupak daleko fleksibilniji od postupaka topljenja u lebdećem stanju.[17] Šema ove peći prikazana je na sl. 5.



Sl. 5. Šema peći Vanjukova za topljenje u rastopu[13]

1-duvnice za kiseonik, 2-vazduh i kiseonik. 3-šarža i komadni ugalj, 4-vodeno hladeni žaket, 5-sifon za bakrenac,6-sifon za šljaku, 7-ozid peći.

Šaržiranje peći se obavlja sa svoda, ravnomerno, kroz otvore postavljene na međusobnom rastojanju 2 m-3 m od čela peći. Proces topljenja se odvija u tečnom kupatilu i to tako što se u peć uvodi šarža i gorivo, a kroz duvnice se uvodi vazduh obogaćen kiseonikom stvarajući barbotiranje šljake, i u tom emulziono-barbotirajućem rastopu odvija se proces topljenja visokog intenziteta. Tom prilikom se postiže veliki kapacitet topljenja, koji iznosi  $55 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{dan})$ - $80 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{dan})$ , odnosno  $70 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{dan})$ - $75 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{dan})$ . Za autogeno topljenje suve šarže (1 %-2 % vlage) potrebno je da vazduh sadrži 40 %-50 %  $\text{O}_2$  a za topljenje vlažne šarže (6 %-8% vlage) neophodno je da vazduh sadrži 55-70 procenata kiseonika. Pored dobrih strana proces Vanjukova ima i nedostataka u funkcionisanju pojedinih faza i uređaja. U nedostatke ovog procesa spadaju:

- problem gasnog sistema i dogorevanja sumpora koji nije dovoljno rešen,
- duvnice koje se nalaze na krovu peći ne mogu se podići iznad nivoa šljake što u nekim hitnim intervencijama u radu može predstavljati veliki problem.[1]

Ostali parametri topljenja su:

- sadržaj bakra u bakrencu je 40 % - 55 %,
- sadržaj bakra u šljaci je 0,5 % - 0,7 %,
- sadržaj SO<sub>2</sub> u gasovima je 20 % - 35 %,
- iskorišćenje bakra je 98 % - 98,5 %,
- iskorišćenje sumpora je 90 %,
- gubici sa prašinom su oko 1 %.

### **3.4. Isasmelt/Ausmelt tehnološki postupak topljenja**

Isasmelt/Ausmelt proces autogenog kontinualnog topljenja sulfidnih bakarnih i drugih koncentrata i materijala je najnoviji od autogenih procesa topljenja i zastupljen je u devet topionica u svetu. Razvijen je u Australiji od strane Mount Isa Mines Limited i Australian Commonwealth Scientific and Research Organisation (CSIRO) i u industrijsku praksu je uveden 1992. godine.

Osnovu tehnologije topljenja Isasmelt/Ausmelt čini koplje koje se uranja u rastop sa vrha peći (TSL-Top Submerged Lance). Ova tehnologija zauzima jednu od vodećih pozicija u svetu zbog niskih troškova proizvodnje i zadovoljenja strogih ekoloških standarda.[18]

Ovaj proces (tehnologija) može da radi sa širokim spektrom materijala uključujući siromašne koncentrate, kompleksne polimetalne rude, materijale sa visokim sadržajem nečistoća kao i druge industrijske otpadne materijale. Ovi materijali su često problematični za konvencionalne tehnologije, a sa druge strane postaju veoma važan izvor sirovina za Isasmelt/Ausmelt tehnologiju.[18]

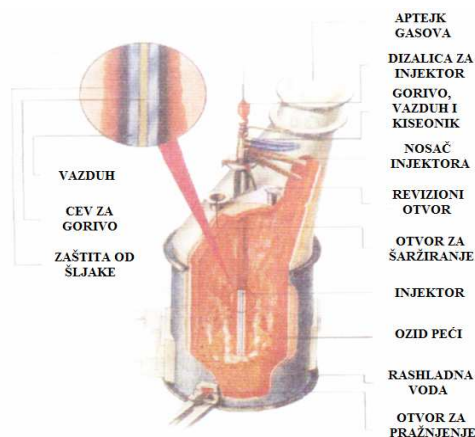
Isasmelt/Ausmelt TSL peć može prerađivati koncentrate bakra sa različitim sadržajem istog. Trenutno, najveći kapacitet ove tehnologije omogućava preradu više od 1,5 miliona tona koncentrata godišnje.[18]

Sa povećanjem tražnje za visoko kvalitetnim koncentratima, proizvođači traže i tehnologije za preradu sekundarnog bakra. Isasmelt/Ausmelt tehnologija je pogodna za topljenje širokog spektra materijala od sekundarnog bakra, počevši od šljake i materijala sa nižim sadržajem bakra, do materijala sa visokim sadržajem nečistoća i organskih jedinjenja, elektronskog otpada pa do visoko kvalitetnog bakarnog skrapa.[18]

Isasmelt/Ausmelt proces objedinjuje operacije prženja i topljenja i primenljiv je za topljenje koncentrata bakra kao i sekundarnih sirovina na bazi bakra. Glavne karakteristike procesa su visoka koncentracija SO<sub>2</sub> u izlaznim gasovima, visoka produktivnost i smanjena potrošnja energenata. Ove peći su fleksibilne i po pitanju korišćenja energenata i mogu da koriste uglj, koks, naftu prirodni gas ili kombinaciju navedenih goriva.

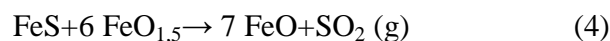
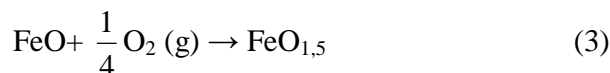
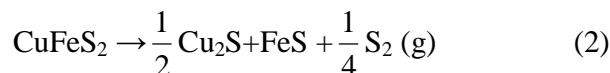
Ovaj proces se odvija u vertikalnom reaktoru za topljenje šarže i odvojenoj peći za raslojavanje rastopa na šljaku i bakrenac. Reaktor za topljenje šarže je cilindričnog oblika, prečnika 3,5 m-3,6 m i visine 12-14 metara. Šarža je u obliku peleta, a sastoji se od bakarnog koncentrata, topitelja i uglja. Ovako pripremljena šarža uvodi se kroz svod reaktora u reakcioni prostor. Kroz svod reaktora je postavljeno koplje za prodivavanje rastopa, po principu cev u cev. Ono je prilikom topljenja prekriveno slojem očvrsele šljake na vrhu, koji ga štiti od hemijske i fizičke abrazije. Visina koplja u rastopu se podešava tako da u izlaznim gasovima ima manje od 1 % prašine u odnosu na šaržu. Spoljašnja cev je prečnika oko 460 mm i ona je uronjena u rastop 400 mm, a uža (unutrašnja) cev je postavljena iznad rastopa na oko 1000 milimetara. Kroz kanal, između unutrašnje i spoljašnje cevi uduvava se vazduh obogaćen kiseonikom (do 50 % O<sub>2</sub>) a kroz unutrašnju cev uduvava se gorivo (prirodni gas).[19]

Visoki intenzitet topljenja u Isasmelt reaktoru se ostvaruje tako što se u tečno kupatilo (rastop šljake i bakrenca), temperature 1165 °C, velikom brzinom injektuje zagrejan obogaćeni vazduh kiseonikom koji barbotira rastop. Pod tim uslovima se stvaraju jake turbulencije koje izazivaju intenzivno mešanje tečnog rastopa a samim tim i topljenje šarže. Šematski prikaz Isasmelt/Ausmelt reaktora je dat na sl. 6.



Sl. 6. Isasmelt reaktor za topljenje bakronosne šarže[9]

Isasmelt/Ausmelt proces topljenja se razlikuje od topljenja u fleš pećima jer se hemijske reakcije topljenja najvećim delom odigravaju u rastopu. Rezultat toga, je drugačiji hemizam reakcija od (2) do (5) koje se odigravaju u procesu topljenja: [1]



Rezultat ovih reakcija je prisustvo oko 5 % magnetita u šljaci što je veoma važno jer isti potpomaže odvijanje skoro svih procesa. Za optimalan rad peći temperatura mora biti

od 1150 °C-1200 °C i nizak odnos Si/Fe od 0,7-0,8 za Isasmelt, odnosno 0,6-0,7 za Ausmelt proces topljenja. Produkti topljenja su bakrenac sa 60 % Cu i šljaka sa 0,7 % bakra.[1]

U šljaku i izlazne gasove iz procesa topljenja se izdvajaju nečistoće sa sledećim procentualnim učešćima: 91 % As, 85 % Cd, 75 % Bi, 68 % Zn, 60 % Sb, 60 % Tl, 45 % Pb i 30 % Te. Bolje uklanjanje As, Bi, Pb i Sb se postiže smanjenjem sadržaja kiseonika.[1]

Rastop bakrenca i šljake, proizveden u reaktoru za primarno topljenje, periodično se ispušta i odvodi u posebnu peć na raslojavanje. Za raslojavanje bakrenca i šljake može da posluži holding peć, plamena peć ili elektropeć. Isasmelt/Ausmelt je autogeni proces topljenja visokog intenziteta i ima sledeće tehničko-ekonomske pokazatelje:

- specifični kapacitet topljenja 80 t/(m<sup>2</sup>·dan)-90 t/(m<sup>2</sup>·dan),
- sadržaj bakra u bakrencu 55 %-60 %,
- sadržaj bakra u šljaci 0,5 %,
- iskorišćenje bakra 97 %-98 %,
- iskorišćenje sumpora 97 %-98 %,
- sadržaj SO<sub>2</sub> u gasovima 7,5 %-11 %,
- gubici sa prašinom 1 %-3 %.

**Prednosti ove tehnologije su:**

- niski investicioni i proizvodni troškovi,
- mogućnost prerade sirovine/materijala različitih kvaliteta (metalurške šljake i drugih otpadnih materijala,
- smanjenje količine otpadnog gasa i emisije SO<sub>2</sub>, što predstavlja značajnu štednju koja se ogleda kroz manji sistem za preradu otpadnih gasova.
- smanjenje potrošnje energije,
- mogućnost prerade otpadnog materijala i ostataka teških metala,
- mogućnost prerade sekundarnih materijala.[18]

Nedostaci ovog postupka topljenja su u tome što se u Isasmelt/Ausmelt peći ne dobijaju kao u drugim pećima bakrenac i šljaka nego njihov rastop, što zahteva drugu (holding ili elektro peć) za njihovo razdvajanje.

### **3.5. Teniente konvertor tehnološki postupak topljenja**

Povećanje rudarskih kapaciteta u Čileu zahtevalo je povećanje i topioničkih kapaciteta, modernizaciju procesa topljenja, bolje korišćenje energije i ekonomičniju proizvodnju.

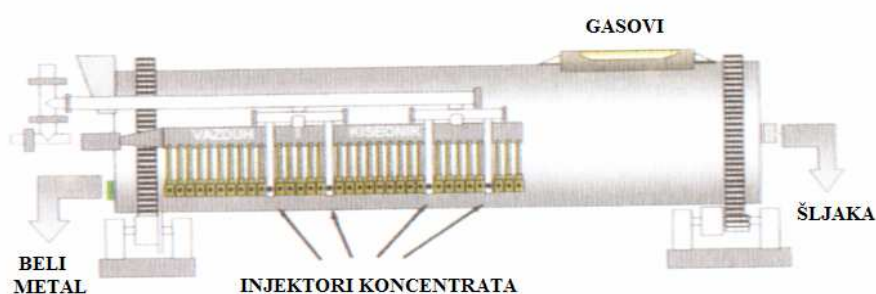
Teniente peći imaju prečnik 4 m-5 m u i dužinu 14-22 metara. Omotač peći je od čelika debljine 5 cm, obložen hrom-magnezitnom opekom debljine 0,5 metara. Ove peći imaju 35-50 duvnica (prečnika 5 cm-6 cm) koje se raspoređene na oko 65 % njihove dužine. Na ostalih 35 % dužine peći se nalazi zona za odvajanje bakrenca i šljake (setler). Suv koncentrat se ubacuje u peć preko duvnica dok se topitelj, povratni materijali i vlažan koncentrat šaržiraju direktno u rastop bakrenca i šljake. Hemijske reakcije su slične kao kod Noranda peći. Proizvodi procesa topljenja su: bakrenac sa 72 %-75 % Cu, fajalitna šljaka sa 6 % Cu i izlazni gasovi sa 12 %-25 % sumpor dioksida. Kvalitet bakrenca se kontroliše odnosom kiseonik/koncentrat.[1]

Glavni pravci istraživanja su bili usmereni ka boljem korišćenju hemijske energije sulfidnih minerala, a naročito upotrebi vazduha obogaćenog kiseonikom u procesima topljenja i konvertovanja sa ciljem postizanja njihove autogenosti. U okviru rezultata planiranih istraživanja u period od 1974. do 1976. godine razvijen je originalni "modifikovani konvertor Teniente" i uveden je u šemu topljenja i konvertovanja 1977. godine u topionici Kaletones. Danas se Teniente konvertor koristi u 11 topionica bakra u svetu.

Dalji razvoj se odvijao u pravcu povećanja dimenzija agregata i kapaciteta topljenja koncentrata i konvertovanja bakrenca. Najveći i najvažniji tehnički napredak je učinjen 1988. godine kada je na Teniente konvertorima uveden proces injektiranja suvog



koncentrata kroz duvnice koje su uronjene u rastop. Ova faza rada je obuhvatila povećanje dimenzija konvertora (prečnik 5 m, dužina 22 m), topljenje i konvertorovanje vlažnog bakarnog koncentrata, bakrenca iz plamenih peći i suvog bakarnog koncentrata. Autogenost procesa je regulisana odnosom: količina bakrenca, količina suvog i vlažnog koncentrata i sadržajem kiseonika u uduvanom vazduhu. Međutim, dalja istraživanja su bila usmerena ka definisanju parametara procesa koji će omogućiti pretapanje isključivo vlažnih i suvih koncentrata bakra bez dodatka bakrenca. Na taj način određeni su uslovi i kapaciteti topljenja, sa i bez dodatka bakrenca i vlažnog koncentrata. Rezultat ukupnih istraživanja je postizanje kapaciteta prerade koncentrata od 1600 t/dan-2000 t/dan i mogućnost pretapanja povratnih materijala.[20] Šematski prikaz Teniente konvertora je dat na sl. 7.



Sl. 7. Teniente konvertor za topljenje u tečnom kupatilu[12]

Efekte smanjenja potrošnje energije u topionici Kalatones u Čileu, kao i rezultat permanentne modernizacije za topljenje do blister bakra, izraženo mogu se hronološki prikazati na sledeći način:

- potrošnja energije za vreme topljenja prženca i vlažnog koncentrata u plamenoj peći, u periodu od 1970. do 1973. godine iznosila je 7990 MJ po toni koncentrata. Uvođenjem Teniente konvertora prečnika 5 m i dužine 18 m, potrošnja je smanjena na 5170 MJ/t koncentrata, tj. 35,3 procenata.
- primenom Teniente konvertora, šaržiranjem vlažnog i injektovanog suvog koncentrata potrošnja energije je smanjena na 3620 MJ po toni koncentrata.

- uvođenjem druge fluidizacione sušnice i porastom udela suvog koncentrata (0,2 %-0,5 % vlage) 1993. godine, potrošnja energije je smanjena na 2820 MJ po toni koncentrata.

Pri radu Teniente konvertora sa injektovanjem suvog koncentrata, bez dodatka bakrenca, projektovana potrošnja energije iznosi 2380 MJ po toni koncentrata. Ovoj količini energije treba dodati i 436 MJ/t koncentrata za proizvodnju sumporne kiseline iz gasovitih produkata koji sadrže oko 14 %-17 % sumpor dioksida.

Ovim postupkom se As, Bi, Pb, Sb i Zn najviše uklanjaju u šljaci i izlaznom gasu iz procesa topljenja (tabela 3).[1]

Tabela 3. Raspodela elemenata u Teniente procesu topljenja[1]

Element	% u bakrenac	% u šljaku	% u gasove topljenja
As	6	7	87
Bi	23	40	37
Ni	80	19	1
Pb	22	25	53
Sb	19	30	51
Se	58	39	1
Zn	11	85	4

Uzimajući u obzir sve efekte modernizacije topionice Kaletones u Čileu došlo se do tehnologije koja spada u grupu pirometalurških procesa sa najmanjom potrošnjom energije, što Teniente konvertor svrstava u savremene tehnologije za topljenje bakarnih koncentrata. Za odvijanje tehnološkog procesa predviđena je potrošnja energije od 2816 MJ po toni koncentrata.[9]

#### **4. "Standardni" tehnološki postupak za proizvodnju anodnog bakra u topionici Boru**

Ruda u Boru koja služi za proizvodnju bakra i koja sadrži manje od 0,5 % bakra, najpre se, nakon otkopavanja, podvrgava obogaćenju. Obogaćenje se sastoji iz sledećih

operacija: drobljenje i mlevenje, flotacijsko obogaćenje samlevene rude, zgušnjavanje, filtracija i sušenje proizvedenog koncentrata.

Doprema koncentrata u topionicu vrši se drumskim i železničkim transportom, dok se topitelji (kvarc i krečnjak) dopremaju drumskim transportom. Šarža za topljenje se formira u bedingu pri čemu se koncentrat i topitelji mešaju u određenom odnosu prema unapred urađenom proračunu. Zatim se tako pripremljena šarže iz bedinga transportuje sistemom transportnih traka u bunker za šaržiranje reaktora.

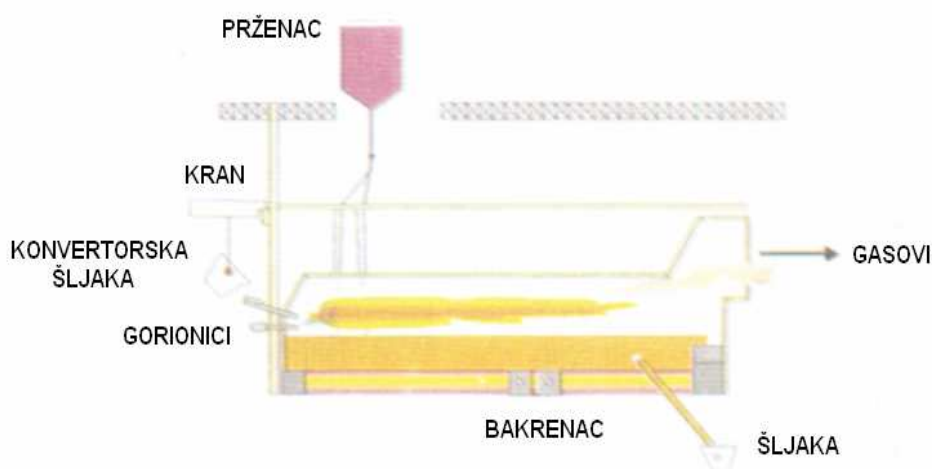
Proces prženja šarže je egzoterman proces i odvija se kao delimična oksidacija sulfida, pri čemu se smanjuje količina sumpora do granice koja obezbeđuje topljenje bogatog bakrenca. U toku ovog procesa na temperaturi od 650 °C-700 °C dolazi do reakcije disocijacije viših sulfida na niže, oksidacije sumpornih para do SO<sub>2</sub> i delimične oksidacije nižih sulfida do oksida.[21]

Brzina prženja i stepen oksidacije zavise od viška vazduha. Veliki višak vazduha ubrzava oksidaciju sulfida, ali istovremeno dovodi do razblaživanja gasova prženja. Uspešnost procesa prženja meri se stepenom desulfurizacije (stepen odsumporavanja) koja predstavlja odnos odstranjenog sumpora prema ukupnoj količini sumpora iz šarže. Stepenn odsumporavanja u topionici u Boru iznosi 50 procenata.

Produkti procesa prženja su prženac koji dalje uz pomoć fluosila (oko 20 %) i ciklonskih grupa (oko 80 %) i bunkera ide u proces topljenja, dok gasovi koji sadrže 8 %-9 % SO<sub>2</sub> iz reaktora idu na hlađenje (sprej kula), prečišćavanje (elektrofiltri) pa dalje gasovodom do fabrike sumporne kiseline.

Prethodno pržena šarža (prženac) se šaržira teleskopski u plamenu peć. U toku procesa topljenja koje se izvodi na visokim temperaturama (1550 °C u žiži plamena) u manje ili više oksidacionoj atmosferi, dolazi do disocijacije viših sulfida, topljenja sulfida (Cu<sub>2</sub>S, FeS i dr.) uz stvaranje bakrenca kao i stvaranja i odvajanja šljake. Izvori toplote plamene peći su gorivo (ugljena prašina ili mazut), toplota predgrejanog vazduha (oko 350

°C) kao i toplota egzotermnih reakcija. Sa obe bočne strane plamene peći nalaze se žaketi (hlađenje zidova peći) dok se na otvorima za ispuštanje bakrenca nalaze tapping blokovi.[22,23] Peć ima ukupno šest otvora za ispuštanje bakrenca i dva otvora za ispuštanje šljake sa obe bočne strane i dva kanala za ulivanje konvertorske šljake sa čeonu stranu iznad gorionika. Produkti procesa topljenja su bakrenac koji sadrži 35 %-45 % bakra, šljaka sa 0,5 %-1% bakra i gasovi sa 0,5 % -1,5 % sumpor dioksida. Na sl. 8 je dat šematski prikaz plamene peći.



Sl. 8. Plamena peć za topljenje prženca[13]

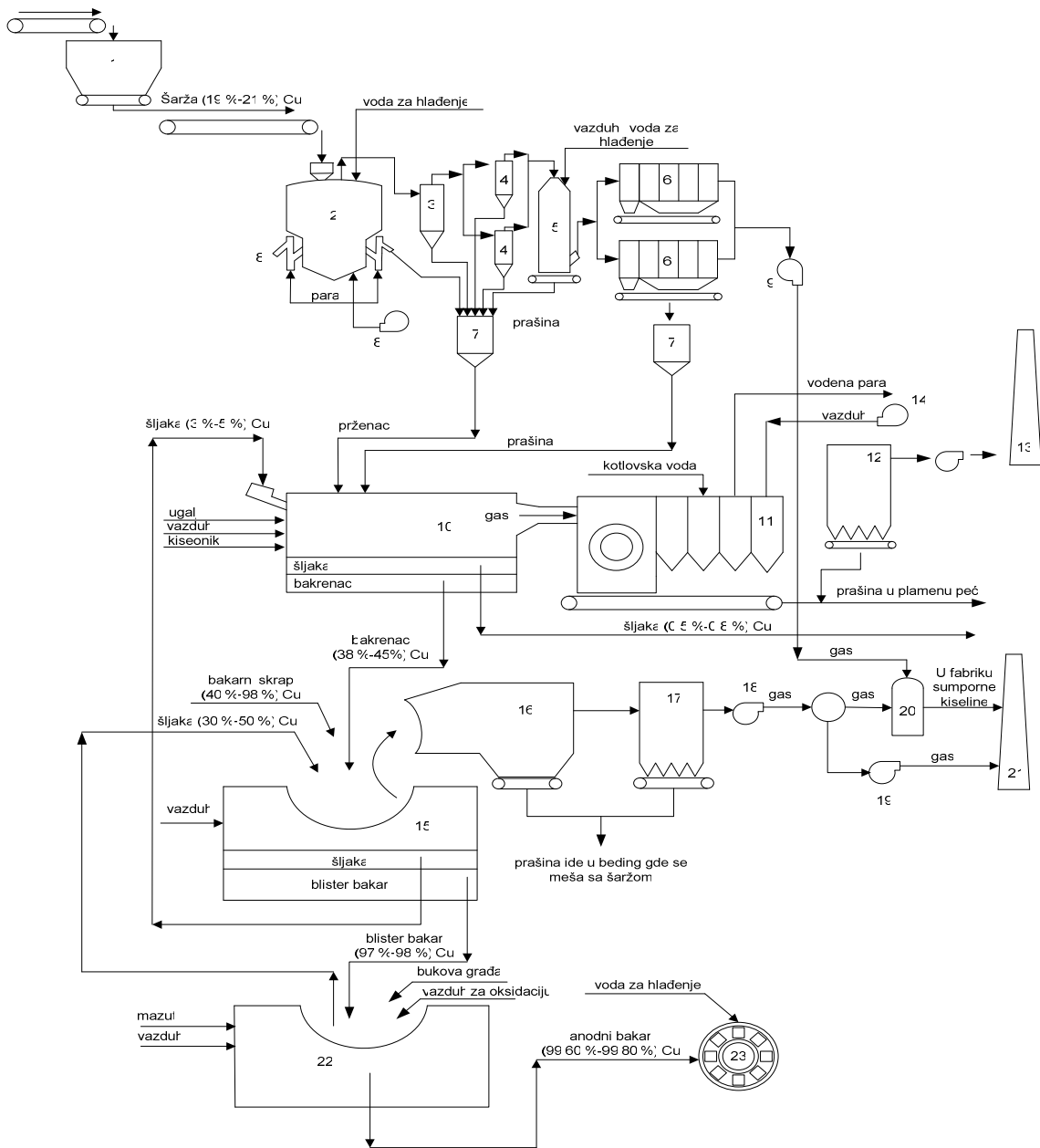
Proizvedeni bakrenac u plamenim pećima uliva se u konvertor i isti se produvava vazduhom. Produvavanje rastopa odvija se u dva perioda. U toku prvog perioda (rad na šljaku) oksidiše železo-sulfid i formira se bakar-sulfid koji sadrži 78 %-80 % bakra.

U drugom periodu (rad na bakar) nakon odvajanja gvožđe-oksida i odšljakivanja, bakar-sulfid se prerađuje u blister bakar sa sadržajem 96 %-98 % bakra. Konvertorska šljaka sa sadržajem bakra od 3 %-5 % se vraća u plamenu peć. Gasoviti produkti procesa konvertorovanja koji sadrže 3 %-5 %  $SO_2$  se hlade (rashladna komora) a zatim prečišćavaju (elektrofilter) i sistemom gasovoda idu u fabriku sumporne kiseline.

Blistar bakra u tečnom agregatnom stanju se uliva u anodnu peć da bi se dalje prečistio od primesa (0,6 % - 1 %). Proces rafinacije se vrši u dve faze i to: oksidacija i redukcija (polovanje bukovom građom). Anodna peć se loži mazutom ili lož uljem. Šljaka iz anodne peći se vraća u proces konvertovanja jer ista sadrži 30 %-50 % bakra. Nakon plamene rafinacije liju se anode težine cca 235-240 kilograma.

Gasovi prženja i konvertovanja služe za proizvodnju sumporne kiseline. Gasovi nakon otprašivanja idu u mešnu kulu gde se mešaju (prosečan sadržaj  $\text{SO}_2$  je oko 5%) a zatim prolaze kroz sledeće faze u fabrici sumporne kiseline: hlađenje, pranje, prečišćavanje (mokri elektrofiltri), predsušenje, sušenje, oksidacija  $\text{SO}_2$  u  $\text{SO}_3$  u kontaktnom kotlu, apsorpcija  $\text{SO}_3$  i dobijanje sumporne kiseline.

Anodni bakar posle livenja podvrgava se elektrolitičkoj rafinaciji radi izdvajanja primesa i plemenitih metala. Proizvedeni katodni bakar sadrži 99,99 % bakra i uglavnom se koristi u proizvodnji žice, trupaca i drugih profila. Tehnološka šema proizvodnje anodnog bakra, u Topionici bakra u Boru, je prikazana na sl. 9.



Sl. 9. Tehnološka shema proizvodnje anodnog bakra u Topionici[24]

Legenda:

1-bunker za šaržu, 2-fluosolid reaktor, 3-primarni cikloni, 4-sekundarni cikloni, 5-sprej kula, 7-bunker za prženac i prašinu, 6,12,17-elektrofilter, 8,9,14,18,19-duvaljke za vazduh, 10-plamena peč, 11-utilizacioni parni kotao, 13-dimnjak, 15-Pierce-Smith konvertor, 16-dimhvatač i komora za hlađenje, 20-mešna kula, 21-dimnjak, 22-anodna peč, 23-livni točak.

## **II. TEHNIČKO-EKONOMSKI POKAZATELJI AUTOGENIH POSTUPAKA TOPLJENJA U SVETU**

### **1. Intenzitet procesa topljenja i iskorišćenje kiseonika u tečnom kupatilu**

Procesi topljenja u tečnom kupatilu su vrlo intenzivni i brzina procesa topljenja je u direktnoj vezi sa korišćenjem kiseonika iz vazduha, vazduha obogaćenog kiseonikom ili tehničkog kiseonika. Ovi procesi se izvode u pećima, reaktorima ili konvertorima, pri čemu oni mogu biti diskontinualni ili kontinualni.

Uvođenje agenasa (koncentrata, goriva, smeša gorivo-vazduh, kiseonik–koncentrat) velikom brzinom u tečno kupatilo koje je prethodno zagrejano na visokim temperaturama (1200 °C-1300 °C) prouzrokuje čitav niz fizičko-hemijskih procesa. Nastaje intenzivno, vrtložno barbotажno mešanje tečnog rastopa, njegovo kretanje kao i odgovarajuća razmena mase i toplote. Na taj način se povećava reakciona površina, a proporcionalno tome i oksidacija sulfida iz koncentrata, količina oslobođene toplote, povećanje ili smanjenje zapremine rastopa kao i brže razdvajanje bakrenca, šljake i gasova.

Proučavajući proces topljenja u tečnom kupatilu H. Kellog i C. Diaz su zaključili da se visok intenzitet (visok specifični kapacitet) topljenja u rastopu može najbolje izmeriti brzinom kojom proces troši kiseonik. Potrošnja kiseonika, iz vazduha, vazduha obogaćenog kiseonikom, ili "čistog" kiseonika ima direktan uticaj na brzinu topljenja u rastopu.[25,26]

U tabeli 4 su dati procesi topljenja u tečnom kupatilu koji se međusobno razlikuju po načinu unošenja koncentrata, šarži, goriva, smeša gorivo-kiseonik, vazduh-kiseonik, koncentrat-kiseonik ili tehničkog kiseonika u tečno kupatilo. Šarža i agensi se velikim brzinama uz pomoć duvnica, gorionika ili lansirnih cevi može uduvavati sa čela, sa strane ili sa vrha peći ili reaktora, i to u različite delove tečnog kupatila. Duvnice, gorionici ili

lanseri u zavisnosti od procesa topljenja mogu biti neuronjeni ili uronjeni u rastop tečnog kupatila, u sloj šljake ili bakrenca.[9]

Tabela 4. Intenzitet topljenja, specifična brzina topljenja u kupatilu (SBTK), zapremina peći prema zapremini kupatila (V/K), efekat iskorišćenja kiseonika (EIK) i sadržaj kiseonika u vazduhu kod autogenih procesa topljenja u tečnom kupatilu (% O<sub>2</sub>).

Proces	SBTK	V/K	EIK	% O <sub>2</sub>
Konvertorovanje čelika-Besemerov postupak	900–1000		100,0	
<b>Visok intenzitet</b>				
Pierce-Smith konvertor	270-285	2,9	90,0	21-30
Noranda-proces topljenja	286	3,6	97,5	36
Vanjukov-proces topljenja	244-369	3,2	100,0	68-75
Proces fjumingovanja-proizvodnja cinka	318-404	6,8-8,3	92-98	21
Isa Smelt-peć za topljenje	400	3,8	100	25
Isa Smelt-oksidacija olova	504	3,8	95	27
INCO proces topljenja	252	4,0	85	96
<b>Srednji intenzitet</b>				
El Teniente konvertor	159	2,7	95	30
QSL-oksidacija olova	157	3,8	98	96
Micubiši topljenje	184-189	3,0	99	45-47
Micubiši konvertorovanje	143-164	4,0	83-92	30-32
<b>Mali intenzitet</b>				
QSL-redukcija olova	33	6,2	98	58
Isa Smelt-redukcija olova	84	5,1	100	21

S obzirom da se u procesu topljenja ne iskoristi sav kiseonik uveden u rastop, to je usvojen termin efektivnost iskorišćenja kiseonika (EIK). Vrednost za EIK se kreće od 70 %-100 %, što znači da se procesi topljenja u rastopu odlikuju visokim iskorišćenjem kiseonika.

## 2. Specifična brzina potrošnje kiseonika

Brzina potrošnje kiseonika, određuje intenzitet topljenja u tečnom kupatilu, i može se izraziti, kao odnos potrošnje kiseonika prema veličini zapremine peći, ili zapremini tečnog rastopa, koji je u kontaktu sa uduvanim kiseonikom. Ona se određuje na dva načina i to:

- specifična brzina topljenja u kupatilu-SBTK, Nm<sup>3</sup>O<sub>2</sub> na h/m<sup>3</sup> zapremine kupatila.



- specifična brzina topljenja u zapremini peći-SBTZP,  $\text{Nm}^3\text{O}_2$  na  $\text{h}/\text{m}^3$  zapremine peći.

U pogledu intenziteta topljenja, H. Kellog je procese topljenja u tečnom kupatilu podelio na tri grupe (tabela 4), i to:[26,27]

- veliki-SBTK>250,
- srednji-SBTK 100-200,
- mali-SBTK<100.

U tabeli 4 su navedene vrednosti veličina koje karakterišu procese topljenja u rastopu tečnog kupatila: SBTK, V/K tj. odnos zapremine peći prema zapremini kupatila, koji varira od 2,7-8,3 i treba da bude što manji u cilju smanjenja gubitaka i manje cene peći odnosno reaktora za topljenje. EIK efekat iskorišćenja kiseonika varira od 70 %-100 %, a najčešće iznosi oko 95 %-100 %. Iz tabele 4 se vidi da procesi topljenja u rastopu (Pierce-Smith konvertor, Noranda, proces Vanjukova, Isasmelt) spadaju u grupu visokog intenziteta. Međutim, visok sadržaj kiseonika u obogaćenom vazduhu nije uslov za visok intenzitet topljenja (Pierce-Smith konvertor i Isasmelt imaju manje od 30 %  $\text{O}_2$  u vazduhu). Svi procesi imaju veliki EIK, i V/K koji se kreće od 2,7-4,0.

Procesi topljenja u lebdećem stanju imaju EIK, takođe oko 100 %, ali im je specifična brzina topljenja manja. Proces topljenja u Besemerovom konvertoru ima EIK 100 %, a SBTK  $900 \text{ Nm}^3 / \text{h}/\text{m}^3$ - $1100 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{m}^3$  kupatila, što je 2,5-2,7 puta veće od najvećih vrednosti za bakar (proces Vanjukova, Isasmelt-SBTK oko 400). To se objašnjava specifičnošću procesa u proizvodnji čelika i bakra.

### **3. Tehničko-ekonomski pokazatelji autogenih procesa topljenja bakarnih koncentrata**

Vrednosti specifične brzine topljenja u tečnom kupatilu SBTK, specifična brzina topljenja u zapremini peći-SBTZP, odnos V/K i efekat iskorišćenja kiseonika (EIK) predstavljaju bitnu karakteristiku autogenih procesa topljenja bakra, ali nisu jedini

kriterijumi za njihov izbor. Postoje i mnogi drugi faktori koji utiču na kvalitet vođenja tehnološkog postupka među kojima su: kvalitet ulaznih sirovina i njihova priprema, hemijski sastavi bakrenca i šljake uključujući i njihove temperature, sadržaj O<sub>2</sub> u vazduhu koji se uduvava u peć, sadržaj SO<sub>2</sub> za preradu gasova u sumpornu kiselinu, iskorišćenja na bakru, sumporu i dr. Deo komparativnih podataka, potrebnih pri izboru procesa topljenja dati su u tabeli 5.

Tabela 5. Tehničko-ekonomski pokazatelji autogenih procesa topljenja bakarnih sulfidnih koncentrata[24]

Pokazatelj		Proces topljenja					Plamena peć	Vanjukov
		Outotec	INCO	Noranda	Mitsubishi	IsaSmelt		
Specifični kapacitet	t/m <sup>2</sup> dan	10-12	10-12	10	20-24	86-90	4,2-4,7	70-75
Koncentrat	% Cu	24-30	25-30	35	34,2	27-29	19-30	19-23
Bakrenac	% Cu	65-70	55-60	73	67-72	55-60	36-45	40-55
Šljaka	% Cu	0,5-0,65	0,8-1,6	5-6	0,6-0,9	0,5	0,5-0,8	0,5-0,7
Sadržaj O <sub>2</sub> u vazduhu	% O <sub>2</sub>	45-70	95-98	35-36	45-49	42-50	21-25	50-70
Sadržaj SO <sub>2</sub> u gasu	% SO <sub>2</sub>	33-45	75-80	6	29,0	7,5-11	1,5-2,5	20-35
Temperatura bakrenca	°C	1250	1170	1250	1210	1165	1150	1210
Temperatura šljake	°C	1300	1250	1300	1250	1175	1200	1250
Iskorišćenje bakra	% Cu	98	97,5	95	97	97-98	93	98-98,5
Iskorišćenje sumpora	% S	94-99	93,6	94,0	99,5	97-98	50	90

Vrednosti pokazatelja datih u tabeli 5 su navedene približno kao srednje vrednosti iz nekoliko topionica u kojima je proces primenjen. Očigledno je da karakteristike procesa topljenja i tehničko-ekonomski pokazatelji dati u tabeli 4 i tabeli 5 kao i navedeni brojni uslovi, društveni zakoni i finansijski uslovi, pružaju mogućnosti za izbor postupka topljenja u uslovima svake konkretne topionice.

Razvojem ovih savremenih procesa nastale su velike promene u strukturi primenjenih tehnologija u metalurgiji bakra. Prema podacima časopisa Internacional Copper Study, topionički kapaciteti u svetu u 2000. godini iznosili su 14235000 t sa procentualnim učešćima osnovnih tehnologija koje su date u tabeli 6.[28]

Tabela 6: Procentualno učešće osnovnih tehnologija u preradi koncentrata i primarnih sirovina u 2000. godini[24]

<b>Tehnologije</b>	<b>Učešće u preradi koncentrata bakra (%)</b>	<b>Učešće u preradi primarnih sirovina (%)</b>
Autogeni procesi	75,1	68,5
Plamene peći	13,5	18,6
Elektro peći	5,6	5,0
Ostale tehnologije	5,8	7,9
<b>Ukupno</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

U okviru autogenih tehnologija, u preradi primarnih sirovina najzastupljenija je tehnologija Outotec, a zatim El Teniente konvertor, i to prvenstveno u zemljama Latinske Amerike.[29,30] Ostali procesi imaju relativno malo učešće u preradi ovih sirovina (tabela 7).

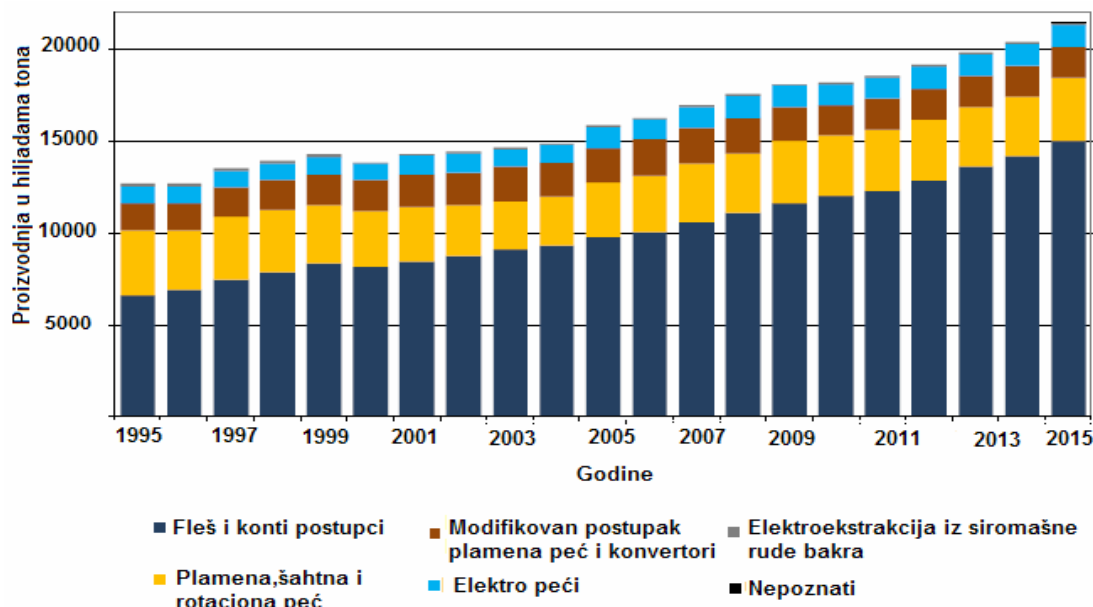
Tabela 7: Procentualno učešće autogenih tehnologija u preradi primarnih sirovina (koncentrata bakra) u 2000. godini[24]

<b>Procesi topljenja</b>	<b>Broj aktivnih topionica u 2000. god.</b>	<b>Godišnji kapacitet proizvodnje bakra iz primarnih sirovina u hiljadama tona</b>	<b>Procenat učešća, %</b>
Outotec	26	4671	51,4
El Teniente konvertor	8	1634	18,0
Isa Smelt	6	763	8,4
Micubiši	4	804	8,8
Noranda	3	400	4,4
Inco	3	536	5,9
Vanjukov	2	285	3,1
<b>Ukupno</b>	<b>52</b>	<b>9093</b>	<b>100,0</b>

Kapaciteti topionica sa autogenim procesima topljenja su povećani poslednjih 15 godina prošlog veka za skoro 4,7 miliona tona ili blizu 117 procenata. Time je kompenzirano smanjenje kapaciteta topionica sa plamenim i elektro pećima i obezbeđen potreban prirast metalurških kapaciteta u skladu sa razvojem rudničke proizvodnje. Posle intenzivne zamene, učešće topionica sa plamenim pećima u ukupnim kapacitetima za preradu primarnih sirovina je u 2000. godini iznosilo 3,5 % sa tendencijom daljeg smanjenja. U 2004. godini samo 10 topionica bakra u svetu je koristilo plamene peći i to: Cananea-Mexico, Flin Flon-Canada, La Oroya-Peru, Alaska-Zimbabve, Bor-Srbija, Luanshya-Zambia, O'Okiep-Južna Afrika, Palabora-Južna Afrika, Sar Chesmeh-Iran,

Tsumeb–Namibia, a dve plamene peći su radile povremeno u Srednjeuralsku i Krasnouralsku u Rusiji.[31]

Kapaciteti topionica sa elektro pećima su smanjeni od 1070000 t u 1985. godini na 706000 t u 2000. godini, a njihovo učešće u ukupnim metalurškim kapacitetima je smanjeno od 9,4 na 5 procenata. Na sl. 10 su dati trendovi povećanja kapaciteta topionica sa autogenim i kontinualnim postupcima topljenja kao i trendovi smanjenja kapaciteta topionica sa plamenim, šahtnim i rotacionim pećima u periodu od 1995. do 2015. godine. Trendovi modifikovanih postupaka (plamena peć i konvertori), elektro-peći i postupak elektroekstrakcije iz siromašne rude bakra su u ovom periodu do 2012. godine zadržali isti nivo.[31]



Sl. 10. Trendovi zastupljenosti tehnologija u zavisnosti od proizvodnje anodnog bakra u svetu[31]

Primena novih tehnologija topljenja dovela je do smanjenja potrošnje energije u svim oblicima za 35 % do 45 %, a iskorišćenje bakra je povećano na 97 do 98 procenata. Nivo iskorišćenja sumpora iz topioničkih gasova kreće se od 98 % do 99 %, čime se mogu zadovoljiti i najstrožiji zahtevi zaštite životne sredine, a rešeni su i mnogi drugi problemi u ovoj oblasti. Međutim, nove tehnologije su samo osnovna pretpostavka za uspešno

rešavanje ove problematike. Potrebno je izgraditi odgovarajuće kapacitete za proizvodnju sumporne kiseline, objekte za prečišćavanje gasova i neutralizaciju otpadnih voda i brojne druge uređaje, obezbediti odgovarajuću organizaciju i strogu kontrolu tehnološkog procesa. Stanje zaštite životne sredine u nekim zemljama, koje su primenile ove tehnologije, upravo na to ukazuje. Dobar primer zaštite životne i radne sredine je svetska kompanija (Norddeutsche affinerie AG-sadašnji AURUBIS) iz Hamburga koja se bavi proizvodnjom bakra, plemenitih metala, sumporne kiseline i dr. U poslovanju ove kompanije se jasno vidi da rešavanje ekoloških problema predstavlja imperativ, ali i da zahteva i visoka finansijska ulaganja. U periodu od 1981. do 2007. god. u zaštitu životne sredine je uloženo € 269 miliona ili u proseku oko € 10 miliona na gdišnjem nivou. Na rešavanju ovih problema ova kompanija je intenzivnije radila u periodu od 1990. do 2007. godine i postigla izuzetno dobre rezultate u smanjenju emisije štetnih gasova i metala u atmosferu (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Cu, Pb i As), kao i smanjenju štetnih metala koji se ispuštaju sa otpadnim vodama u reku Elbu.[32] To znači da će problemi životne sredine i dalje biti u centru pažnje u metalurgiji bakra, utoliko pre što su zahtevi sve veći pod uticajem domaće i međunarodne javnosti.

### **III. EKVIVALENT ENERGIJE PROCESA PROIZVODNJE ANODNOG BAKRA U TOPIONICI U BORU**

U ovom radu je urađena analiza potrošnje energenata po fazama procesa proizvodnje (prženje, topljenje, konvertorovanje i anodna rafinacija) u topionici u Boru koji se odvija po "standardnom" postupku. U poslovnoj 1996. godini topionica je preradila 502118 t suvog koncentrata preko obe linije sa sledećim prosečnim hemijskim sadržajem: Cu=21,9 %, Fe=27 %, S=31,5 %, SiO<sub>2</sub>=9,50 %, CaO=0,4 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=1,2 %, H<sub>2</sub>O=8,5 procenta. U procesu konvertorovanja je prerađeno 127696 t blister bakra a na odeljenju anodne rafinacije je odliveno 125154 t anodnog bakra. Pogon elektrolitičke rafinacije je proizveo 104000 t katodnog bakra dok je fabrika sumporne kiseline proizvela 169134 t monohidrata.[33]

Za ovaj proračun su uzete sledeće pretpostavke:

- dnevna prerada suvog koncentrata iznosi 800 t,
- sadržaj bakra u bakrencu je 40 %,
- neobogaćeni vazduh za sagorevanje mazuta je predgrejan na temperaturu od 220 °C.

Energetske potrebe za proizvodnju anodnog bakra u topionici su sledeće: električna energija, gorivo (mazut, ugalj, i lož ulje) i bukovo drvo za redukciju (polovanje). Za određivanje ekvivalenta energije u procesu proizvodnje anodnog bakra (EEP) uzeti su sledeći polazni podaci:

- ekvivalent energije za suvi koncentrat iznosi 115 MJ/t[34], dok ekvivalent energije za proizvodnju kvarcnog peska koji se dodaje prilikom formiranja šarže i u procesu konvertorovanja iznosi 116 MJ/t[34].
- električna energija za pogon kranova, duvaljki, kompresora za instrumentalni i tehnološki vazduh, ventilatora i ostalih uređaja je svedena na primarnu energiju, i pri tom je koriscen odnos 11 MJ/kWh, tj. uzeto je da stepen iskorišćenja termoelektrane iznosi 0,33.[34]
- donja toplotna moć uglja za loženje plamene peći broj 1 je 26 MJ/kg, mazuta koji se koristi za loženje anodnih peći iznosi 41,5 MJ/kg, lakog tečnog goriva 43 MJ/kg, a bukovog drveta za redukciju (polovanje) blister bakra 10 MJ/m<sup>3</sup>.
- energija pare proizvedene u utilizacionim parnim kotlovima plamene peći, iznosi 2,87 MJ/kg, a energija pare koja se isporučuje pogonu za elektrolitičku rafinaciju za grejanje elektrolita iznosi 2,66 MJ/kg.[34]
- za proračun i svođenje potrošnje energije važe sledeći odnosi: 4,01 t suvog koncentrata/t anodnog bakra, 1,35 t sumporne kiseline/t anodnog bakra, 1,02 t blister bakra/t anodnog bakra i 0,83 t katodnog bakra/t anodnog bakra.

## 1. Ekvivalent energije procesa prženja “standardnim” postupkom u fluo-solid reaktoru tipa “Dorr-Oliver”

Osnovni tehno-ekonomski pokazatelji procesa prženja šarže koji se odvija u fluo-solid reaktoru su:

kapacitet reaktora, t šarže/h	30-40
vazduh, Nm <sup>3</sup> /h	21000-23000
voda, m <sup>3</sup> /h	3-4
temperatura prženja, °C	650-700
temperatura prženca, °C	550-650
desulfurizacija, %	45-55
sadržaj SO <sub>2</sub> u gasovima, %	9-10

Ekvivalent energije procesa prženja šarže u fluo-solid reaktoru (EEP), prikazan je u tabeli 8. Električna energija u procesu prženja se troši za rad duvaljki, elektromotora i pumpi za vodu (hlađenje reaktora i sprej kula), a proizvedena para iz procesa topljenja u plamenim pećima se koristi za rad fluosila na reaktoru i grejanje vodovodne instalacije u zimskom periodu.

Ekvivalent energije prženja šarže u fluo-solid reaktoru (EEP) iznosi 275 MJ/t suvog koncentrata, odnosno 1103 MJ po toni anodnog bakra (37,6 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra).

Tabela 8. Ekvivalent energije procesa (EEP) prženja fluo-solid reaktoru "Dorr-Oliver" "standardnim" postupkom svedeno po toni suvog koncentrata[24]

Energent	Normativ po toni suvog koncentrata	Jedinična energija	Ukupno MJ/t suvog koncentrata	Ukupno MJ/t anodnog bakra
1.Električna energija	25	11 MJ/kWh	275	1103
<b>Ukupan ulaz energije</b>			<b>275</b>	<b>1103</b>
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>			<b>275 ili 9,4 kg uslovnog goriva/t suvog koncentrata</b>	<b>1103 ili 37,6 kg uslovnog goriva/t suvog koncentrata</b>

## **2. Ekvivalent energije procesa topljenja prženca “standardnim” postupkom u plamenoj peći**

Za određivanje ekvivalenta energije procesa (EEP) za topljenje prženca na plamenoj peći[35] broj 2 uzeti su sledeći polazni podaci: kapacitet topljenja 800 t suvog koncentrata na dan, potrošnja uglja 142 kg/t suvog koncentrata, sadržaj bakra u bakrencu 40 %, temperatura prženca 620 °C, temperatura vazduha za sagorevanje goriva 220 °C. Vazduh za sagorevanje goriva nije obogaćen kiseonikom. Ekvivalent energije procesa (EEP) za plamenu peć, za navedene uslove, prikazan je u tabeli 9.

Prosečna proizvodnja pare koja se dobija iz ulizacionog parnog kotla iznosi 20-25 tona po času. Ista se koristi za sledeće potrebe u Topionici: grejanje primarnog vazduha mlinova za uglj (do 80 °C), predgrevanje sekundarnog vazduha (350 °C), grejanje rezervoara za mazut (anodna peć) kao i svih pratećih vodova za mazut, grejanje vodovodne instalacije sprej kule (zimski period), za pražnjenje fluosila na reaktoru. U Elektrolizi para se koristi za grejanje elektrolita na temperaturu od 55 °C-60 °C.

Električna energija se u procesu topljenja koristi za rad duvaljke, mlinova za mlevenje uglja (dve grupe), sekundarni ventilator mlinova i napojne pumpe za rad ulizacionog parnog kotla.

Šljaka plamenih peći odnosi oko 30 %, a gasoviti produkti 45 % ukupne ulazne toplotne energije.[35] Osnovni tehno-ekonomski pokazatelji procesa topljenja šarže u plamenim pećima u topionici u Boru su:

bakrenac, t/dan	250-300
šljaka, t/dan	600-650
sadržaj bakra u bakrencu, %	35-45
sadržaj bakra u šljaci, %	0,5-0,8



ugalj	130-160
vazduh, Nm <sup>3</sup> /h	18000-20000
gasoviti kiseonik, Nm <sup>3</sup> /h	2400-2800
pregrejana para, t/dan	280-320

Ekvivalent energije procesa topljenja prženca u plamenoj peći (EEP), na osnovu tabele 9, iznosi 2983 MJ/t suvog koncentrata, tj. 11961 MJ po toni anodnog bakra (408,2 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra). Najveće učešće u ukupnom ulazu energije ima ugalj što iznosi 84,7 procenta.

Tabela 9. Ekvivalent energije procesa (EEP) topljenje prženca u plamenim pećima “standardnim” postupkom, svedeno po toni suvog koncentrata[24]

Energent ili materijal	Količina/t suvog koncentrata	Jedinična energija, MJ	Ukupno MJ/t suvog koncentrata	Ukupno MJ/t anodnog bakra
1.Suvi koncentrat	1,000 t	115 MJ/t s. k.	115	461
2.Ugalj	142 kg	26 MJ/kg	3694	14812
3.Električna energija	28 kWh	11 MJ/kWh	308	1235
4.Para za predgrevanje vazduha i mazuta		2,870 MJ/kg	230	922
5.Topitelji	0,116 t	116 MJ/t	14	56
<b>Ukupan ulaz energije</b>			<b>4361</b>	<b>17486</b>
6. Para za tehnološki proces u topionici		2,870 MJ/kg	-230	-922
7.Proizvedena para za energanu		2,870 MJ/kg	-1148	-4603
<b>Ukupna energija proizvedene pare</b>			<b>-1378</b>	<b>-5525</b>
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>			<b>2983 ili 101,8 kg uslovnog goriva/t suvog koncentrata</b>	<b>11961 ili 408,2 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra</b>

### 3. Ekvivalent energije procesa konvertorovanja bakrenca “standardnim” postupkom

Proces konvertovanja bakrenca odvija se u Pierce-Smith konvertorima. Uklanjanje železa se vrši dodavanjem kvarcnog topitelja sledećeg hemijskog sastava: SiO<sub>2</sub>>90 %, CaO<5%, H<sub>2</sub>O<4%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><1 procenta. Na taj način se formira fajalitna šljaka (FeO·SiO<sub>2</sub>) koja sadrži 3-5 procenata bakra. Energija koja se troši u rudarstvu za proizvodnju kvarcnog peska i za njegov transport do konvertora iznosi 116 MJ po toni topitelja.

Sam proces konvertovanja bakrenca je izrazito egzoterman i omogućava korišćenje sekundarne (otpadne) toplotne energije. Gasoviti produkti odnose i do 35 % unete energije.[1] Konvertorski gasovi koji sadrže 3 %-5 % SO<sub>2</sub> se prethodno moraju ohladiti i prečistiti u elektrofilteru a zatim preko duvaljke se usmeravaju u mešnu kulu gde se mešaju sa gasovima iz reaktora i idu dalje u fabriku sumporne kiseline. Proces konvertovanja za jednu operaciju karakteriše se sledećim tehno-ekonomskim pokazateljima:

količina bakrenca, t	170
količina hladnog materijala-rad na "šljaku", t	50-70
potrošnja kvarca (topitelj), t	30-40
količina bakarnog skrapa-rad na "bakar", t	20-30
potrošnja vazduha-rad na šljaku, Nm <sup>3</sup> /h	30000
potrošnja vazduha-rad na bakar, Nm <sup>3</sup> /h	36000
sadržaj bakra u blister bakru, %	97-98,5
sadržaj bakra u konvertorskoj šljaci, %	3-5
količina blister bakra, t	105-125
količina konvertorske šljake, t	120-135

Iskorišćenje kiseonika u fazi rada konvertora "na šljaku" iznosi 90 %, a u fazi rada "na bakar" 95 %, pri čemu se računa da višak vazduha iznosi 10 procenata.[36] "Višak" toplote procesa konvertovanja[4] se koristi za topljenje povratnih materijala koji se stvaraju u tehnološkom procesu, bakarnog skrapa i povratnog materijala (anoda) iz pogona za elektrolitičku rafinaciju. U procesu konvertovanja se proizvode 150 t-190 t blister bakra dnevno po jednom konvertoru.

Električna energija za proces konvertovanja se troši za rad duvaljki, ventilator, tehnološki vazduh (rad konvertora "na šljaku" i "na bakar"), instrumentalni vazduh (bušenje duvnica), kran (transport materijala u loncima-bakrenca, kvarca, šljake i blister bakra).

Za održavanje temperature konvertora u vreme zastoja i za njegovo dovođenje do radne temperature nakon remonta potrebna je toplota od 110-337 MJ po toni bakrenca. Za ovo razmatranje, usvojeno je da potrošnja toplote za održavanje temperature konvertora iznosi 247 MJ po toni bakrenca.[37]

U tabeli 10 je prikazan ekvivalent energije procesa konvertovanja bakrenca za sadržaj bakra u bakrencu od 40 procenta. Ekvivalent energije procesa konvertovanja bakrenca, sa sadržajem bakra od 40 %, u Pierce Smith konvertoru (EEP) je dat u tabeli 10 i iznosi 3776 MJ/t blister bakra odnosno 3852 MJ po toni anodnog bakra (131,5 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra).

Tabela 10. Ekvivalent energije procesa (EEP) konvertovanja “standardnim” postupkom sveden po toni blister bakra[24]

<b>Energent</b>	<b>Količina</b>	<b>Jedinična energija</b>	<b>Ukupno MJ/t blister bakra</b>	<b>Ukupno MJ/t anodnog bakra</b>
1. Električna energija	300 kWh/t blistera	11 MJ/kWh	3300	3366
2. Gorivo (247 MJ/t bakrenca)			426	435
3. Topitelj	0,435 t/t blistera	116 MJ/t	50	51
<b>Ukupan ulaz energije</b>			<b>3776</b>	<b>3852</b>
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>			<b>3776 ili 128,9 kg uslovnog goriva/t blister bakra</b>	<b>3852 ili 131,5 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra</b>

#### **4. Ekvivalent energije procesa plamene rafinacije blister bakra “standardnim” postupkom**

Plamena rafinacija blister bakra se obavlja u rotacionoj cilindričnoj peći. Za loženje peći koristi se tečno gorivo (mazut ili lož ulje), a za proces redukcije (polovanja) bukova građa. Šljaka iz anodne rafinacije sadrži 30 %-50 % bakra i ista se vraća u konvertor.[38,39] U topionici u Boru se proizvodi 110 t-150 t anodnog bakra dnevno po jednoj anodnoj peći. Tehno-ekonomski pokazatelji u proizvodnju anodnog bakra za jednu operaciju su:

anodni bakar, t	160-220
sadržaj bakra u anodnom bakru, %	99,60-99,80
šljaka, t	5-6

Ekvivalent energije za proces plamene rafinacije bakra (EEP) prikazan u tabeli 11 iznosi 1295 MJ/t anodnog bakra odnosno 44,2 kg uslovnog goriva po toni anodnog bakra.

Tabela 11. Ekvivalent energije procesa (EEP) za plamenu rafinaciju i livenje “standardnim” postupkom sveden po toni anodnog bakra [24]

Energent	Količina	Jedinična energija	Ukupno, MJ/t anodnog bakra
1. Mazut	28 kg	41,500 MJ/kg	1162
2. Bukovo drvo	0,04 m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	10 MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,4
3. Električna energija	12	11 MJ/kWh	132
<b>Ukupan ulaz energije</b>			<b>1295</b>
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>			<b>1295 ili 44,2 kg uslovnog goriva/tona anodnog bakra</b>

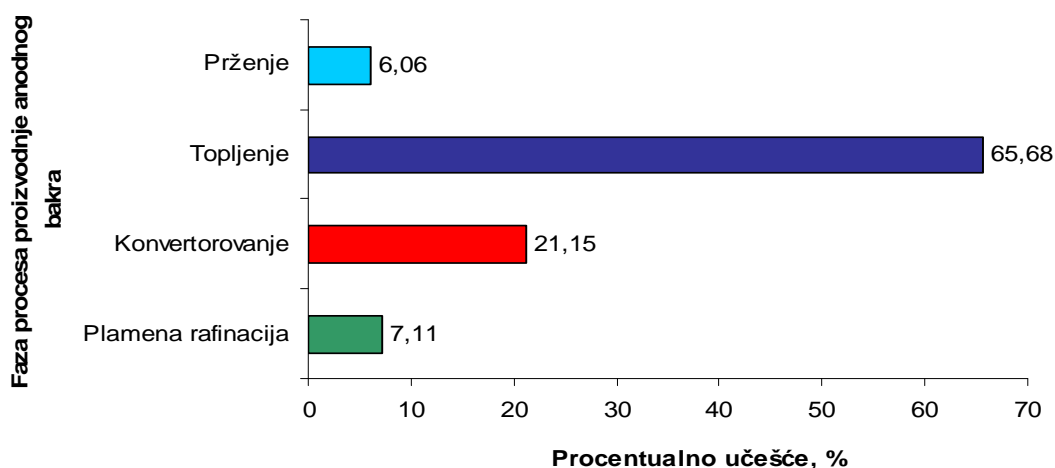
## 5. Ekvivalent energije pirometalurškog procesa u proizvodnji bakra “standardnim” postupkom

Ekvivalent energije pojedinih procesa (EEP) za “standardni” postupak proizvodnje bakra, koji se sastoji od prženja šarže u fluo-solid reaktoru, topljenja prženca u plamenoj peći, konvertovanja bakrenca u Pierce-Smith konvertorima, plamene rafinacije blister bakra u obrtnoj anodnoj peći i proizvodnje sumporne kiseline je prikazan u tabeli 12. Ekvivalent energije procesa proizvodnje anodnog bakra po "standardnom" postupku iznosi 20183 MJ/t, odnosno 688,8 kg uslovnog goriva[24,40,41,42] po toni anodnog bakra. Ekvivalent energije pare (Ep) koja se javlja kao nusproizvod u procesu topljenja prženca u plamenoj peći iznosi 5525 MJ po toni anodnog bakra (tabela 12). Na sl. 11 je dat uporedni prikaz procentualnog učešća količine neto energije po fazama procesa proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru po “standardnom” postupku. Proces sa najvećim procentualnim

učešćem u potrošnji energije je proces topljenja i iznosi 65,68 % a najmanje faza prženja šarže sa 6,06 procenta (sl. 11).

Tabela 12. Ekvivalent energije proizvodnje (EEP) anodnog bakra “standardnim” postupkom[24]

Proces	Ekvivalent energije (EEP), MJ/t anodnog bakra	Procentualno učešće po fazama proizvodnje, %
<b>1. Prženje (Tabela 8):</b>		
Ukupan ulaz energije	1103	6,06
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>	<b>1103</b>	<b>6,06</b>
<b>2. Topljenje (Tabela 9):</b>		
Ukupan ulaz energije	17486	
Energija proizvedene pare	-5525	
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>	<b>11961</b>	<b>65,68</b>
<b>3. Konvertorovanje (Tabela 10):</b>		
Ukupan ulaz energije	3852	21,15
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>	<b>3852</b>	<b>21,15</b>
<b>4. Plamena rafinacija (Tabela 11):</b>		
Ukupan ulaz energije	1295	7,11
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>	<b>1295</b>	<b>7,11</b>
<b>Ukupno (ekvivalent energije proizvodnje anodnog bakra)</b>	<b>18211</b>	<b>100</b>
<b>5. Proizvodnja sumporne kiseline</b>		
Ukupan ulaz energije	1972	9,77
<b>Neto ulaz energije (EEP)</b>	<b>1972</b>	<b>9,77</b>
<b>Ukupno (ulaz energije)</b>		
<b>UKUPNO (Ekvivalent energije EEP)</b>	<b>20183 MJ/t a.b. ili 688,8 kg u.g./t a.b.</b>	

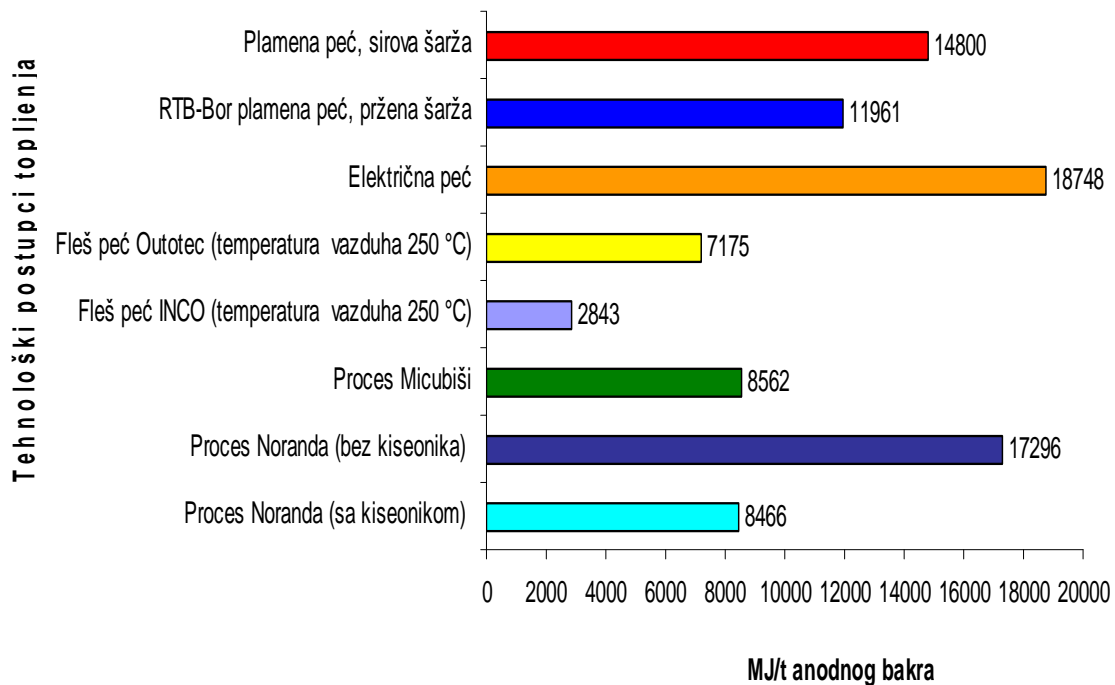


Sl. 11. Procentualno učešće količine neto energije po fazama procesa proizvodnje anodnog bakra po “standardnom” postupku[24]

Na osnovu ekvivalenata energije procesa (EEP) napravljena je uporedna analiza pirometalurških postupaka za proizvodnju anodnog bakra (tabela 13). Ekvivalent energije (EEP), određen je za sve faze proizvodnje bakra razmatranih postupaka, a kolona za sekundarnu energiju procesa predstavlja zbir sekundarnih energija svih faza. Kod topionica sa procesima topljenja pod rednim brojevima od 5 do 9 uzeti su u obzir osiromašenje šljaka iz procesa topljenja u elektropećima (4, 7), mlevenje šljake procesa topljenja (5, 8, 9) i mlevenje šljake procesa konvertovanja (5, 6). Gasoviti produkti koji sadrže SO<sub>2</sub> se koriste za proizvodnju sumporne kiseline, osim postupaka od 1-3 (tabela 13) gde je sadržaj SO<sub>2</sub> nizak (manji od 1 %) i isti nije ekonomično prerađivati. Takođe, u obzir je uzeta i energija pare (Ep) koja se stvara u procesu proizvodnje a služi za predgrevanje vazduha i goriva.

Tabela 13: Uporedni pregled ekvivalenata enrgije u proizvodnji anodnog bakra u Topionici u Boru (“standardni” postupak) sa autogenim postupcima[24]

Pirometalurški postupak proizvodnje anodnog bakra	Sušenje	Prženje	Topljenje	Konvertorovanje	Anodna rafinacija	Proizvodnja sumporne kiseline	Sek. energija (-) Ev	Ekvivalent energije, EEP, MJ/t anodnog bakra	Ekvivalentni ugalj, kg uslovnog goriva/t anodnog bakra
1.Plamena peć, sirova šarža			14800	1876	1564	2646	3454	<b>20886</b>	<b>712,8</b>
2. Plamena peć, pržena šarža-Topionica Bor		1103	11961	3852	1295	1972	5525	<b>20183</b>	<b>688,8</b>
3.Električna peć	1708		18748	1876	1564	3764	3454	<b>27660</b>	<b>944,0</b>
4.Fleš peć Outotec (temperature vazduha 250 °C)	1917		7175	1302	1564	3282	3877	<b>15240</b>	<b>520,1</b>
5.Fleš peć, INCO (temperatura vazduha 250 °C)	1834		2843	1784	1564	2952	1801	<b>10977</b>	<b>374,6</b>
6.Proces Micubiši	2148		8562		1564	3366	4614	<b>15640</b>	<b>533,8</b>
7.Proces Noranda (bez kiseonika)			17296		1564	5150	8029	<b>24010</b>	<b>819,5</b>
8.Proces Noranda (sa kiseonikom)			8466	607	1564	3056	3133	<b>13693</b>	<b>467,3</b>
9.Vanjukov, topljenje suve šarže								<b>13300</b>	<b>453,9</b>
10.Vanjukov, topljenje sirove šarže								<b>10900</b>	<b>372,0</b>



Sl.12. Uporedni prikaz potrošnje energije za različite tehnološke postupke[24]

Uporedni prikaz ekvivalenata energije za različite tehnološke postupke topljenja je prikazan na sl. 12, gde se jasno vidi da je “standardna“ tehnologija topljenja jedan od najvećih potrošača energije svedene po toni anodnog bakra.



# IV. EKVIVALENT ENERGIJE PROCESA PROIZVODNJE KATODNOG BAKRA U TOPIONICI I RAFINACIJI BAKRA U BORU

## 1. Ekvivalent energije procesa proizvodnje sumporne kiseline

Za proizvodnju sumporne kiseline u RTB-u Bor izgrađena su tri kontaktna postrojenja sa jednostrukom adsorpcijom i katalizom od kojih je danas samo jedno u radu. U kontaktnom postrojenju K2 se prerađuju topionički gasovi iz procesa prženja šarže i konvertorovanja bakrenca. Dnevni kapacitet proizvodnje monohidrata ovog postrojenja iznosi 350 t/dan-450 t/dan (protok suvog gasa oko 80000 Nm<sup>3</sup>/h) sa stepenom konverzije od 97 procenata. Zapreminski sadržaj SO<sub>2</sub> u gasu, potreban za normalan rad postrojenja za proizvodnju sumporne kiseline iznosi od 5,0-6,5 procenata.

Odnos proizvedene sumporne kiseline i anodnog bakra u zavisnosti od korićenja kapaciteta kreće se od 0,8 t-1,6 t sumporne kiseline (monohidrata) po toni anodnog bakra. Realna vrednost ekvivalenta električne energije za svodenje na primarnu energiju iznosi 6,7 KJ/kWh[34] jer se pogoni fabrike sumporne kiseline i elektrolitičke rafinacije snabdevaju iz sistema Elektroprivrede Srbije (tabela 14).

Tabela 14. Ekvivalent energije procesa (EEP) proizvodnje sumporne kiseline

Energent	Količina	Ekvivalent energije ( EEP )	
		MJ/t anodnog bakra	%
1.Električna energija	184 kWh/t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1664	84,38
2.Lako tečno gorivo	5,3 l/t H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	308	15,62
<b>Ukupno</b>		<b>1972 ili 67,3 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra</b>	<b>100,00</b>

Ekvivalent energije procesa proizvodnje sumporne kiseline iznosi 672 MJ/t sumporne kiseline ili 1972 MJ/t anodnog bakra (67,3 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra), a čine ga ekvivalent električne energije sa 84,38 % i ekvivalent energije lakog tečnog goriva sa 15,62 procenata (Tabela 14). Ekvivalent energije procesa

proizvodnje anodnog bakra i sumporne kiseline, na osnovu tabele 12 i tabele 14, iznosi 20183 MJ po toni anodnog bakra (ili 688,8 kg uslovnog goriva/t anodnog bakra).

## 2. Ekvivalent energije procesa elektrolitičke rafinacije bakra

Kapacitet pogona elektrolitičke rafinacije u Boru iznosi 165000 t/god. katodnog bakra. Ukupan broj kada u pogonu elektrolitičke rafinacije iznosi 1376. Elektrolit sadrži  $45 \text{ g/dm}^3$ - $50 \text{ g/dm}^3$  bakra i  $180 \text{ g/dm}^3$ - $200 \text{ g/dm}^3$  sumporne kiseline, a njegova temperatura je cca  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Izvori električne energije su četiri silicijumska ispravljača jačine električne energije 14000 A i napona 180 volti. Tehno-ekonomski pokazatelji rada procesa elektrolitičke rafinacije su:

instalirana jačina električne energije, A	14000-16000
radna jačina električne struje, A	13600
napon na kadi, V	0,25-0,30
katodna gustina električne struje, $\text{A/m}^2$	260
katodno iskorišćenje električne energije, %	89,5
gustina elektrolita, $\text{kg/dm}^3$	1,18-1,20

Ostvarena specifična potrošnja električne energije pri odvijanju procesa elektrolitičke rafinacije bakra iznosi 463 kWh/t katodnog bakra a pare za zagrevanje elektrolita 0,51 tona po toni katodnog bakra. Odnos katodnog i anodnog bakra se kreće od 0,83 t-0,87 t katodnog bakra za 1 tonu anodnog bakra. Ekvivalent energije procesa elektrolitičke rafinacije bakra koji je prikazan u tabeli 15, iznosi 4459 MJ/t katodnog bakra ili 152,2 kg uslovnog goriva po toni katodnog bakra a čine ga ekvivalent električne energije sa 69,57 % i ekvivalent energije pare za zagrevanje elektrolita sa 30,43 procenata.

Tabela 15. Ekvivalent energije procesa (EEP) elektrolitičke rafinacije bakra

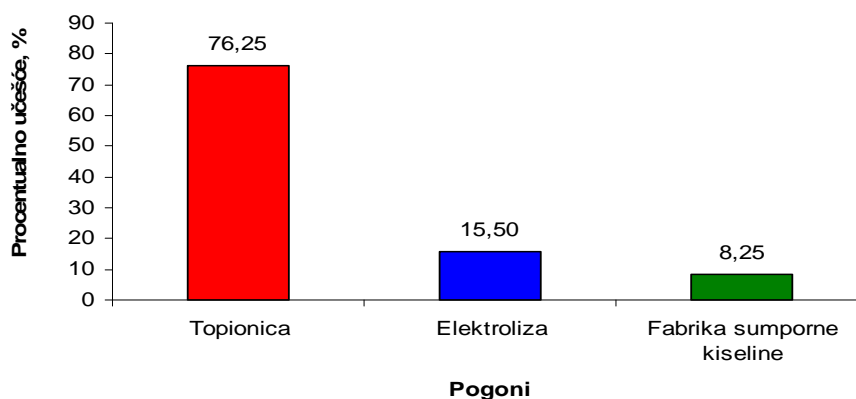
Energent	Količina	Ekvivalent energije ( EEP )	
		MJ/t katodnog bakra	%
1.Električna energija	463 kWh/t katodnog bakra	3102	69,57
2.Para za zagrevanje elektrolita	0,51 t/t katodnog bakra	1357	30,43
<b>Ukupno</b>		<b>4459 ili 152,2 kg uslov. goriva/t katodnog bakra</b>	<b>100,00</b>

### 3. Ekvivalent energije proizvodnje katodnog bakra

Ukupna potrošnja energenata, svedena na ekvivalent energije procesa (EEP) po fazama proizvodnje katodnog bakra (topionica, elektrolitička rafinacija i fabrike sumporne kiseline) prikazana je u tabeli 16. Učešće specifične potrošnje energenata po fazi proizvodnje bakra iznosi: 76,25 % u topionici, 15,50 % u elektrolitičkoj rafinaciji bakra i 8,25 % u proizvodnji sumporne kiseline (sl. 13).

Tabela 16. Ekvivalent energije procesa (EEP) u proizvodnji katodnog bakra sa procentualnim učešćima pogona

Pogoni	MJ/t katodnog bakra	Učešće pogona, %
Topionica	21941	76,25
Elektroliza	4459	15,50
Fabrika sumporne kiseline	2376	8,25
<b>Ukupno</b>	<b>28776</b>	<b>100,00</b>



Sl. 13. Procentualno učešće pogona svedeno na ekvivalent energije procesa u proizvodnji katodnog bakra

## **V. UPOREDNA ANALIZA TEHNIČKIH POKAZATELJA RADA PLAMENIH PEĆI U SVETU I U TOPIONICI U BORU**

### **1. Stepen iskorišćenja toplote goriva u plamenim pećima**

Donja toplotna moć, kalorimetrijska temperatura i entalpija produkata sagorevanja su pokazatelji koji mogu definisati kvalitet goriva, ali ne mogu pokazivati kvalitativnu radnu sposobnost goriva u peći.[41,43,44] Najpouzdanija veličina je stepen iskorišćenja toplote goriva  $\eta_{ig}$  jer isti objedinjuje termodinamičke, tehničke i ekonomske strane iskorišćenja toplote. On ne uzima u obzir iskorišćenja goriva u peći ali na bazi njega mogu se sagledati: nepotpuno sagorevanje, obogaćenje vazduha kiseonikom, višak vazduha i podsisavanje vazduha. Iskorišćenje toplote goriva pokazuje mogućnost povraćaja toplote u radni prostor peći za zagrevanje goriva i vazduha sekundarnom toplotom gasovitih produkata.

Stepen iskorišćenja toplote goriva ( $\eta_g$ ) se može poboljšati ukoliko se koristi gorivo koje ima veću donju toplotnu moć. Takođe, ovaj efekat se može postići predgrevanjem goriva i vazduha na ulazu u peć ili uvođenjem vazduha sa povećanim sadržajem kiseonika.[45,46] Stepen iskorišćenja toplote goriva u peći dostiže vrednost 50 %-65 % dok 35 %-50 % odlazi nepovratno kao gubitak.

Na smanjivanje vrednosti za  $\eta_g$  utiče višak vazduha (koji se uvodi u peć) i nepotpuno sagorevanje goriva. Višak vazduha je neophodan za sagorevanje međutim isti napušta procesni prostor sa visokom temperaturom koja se kreće od 1000 °C-1100 °C i na taj način povećava količinu izlazne toplote i pri tom snižava vrednost stepena iskorišćenja toplote goriva. Kod nepotpunog sagorevanja disocijacija produkata sagorevanja je zanemarljiva zbog niskih temperatura.

U procesu topljenja u plamenim pećima podsisava i određena količina vazduha iz okoline koja iznosi 15 %-20 % od ukupno dovedene količine istog. To prvenstveno zavisi od same konstrukcije peći i pritiska u procesnom prostoru koji se u normalnim uslovima

rada plamene peći u Boru kreće oko 0,2 milibara. Podsisani vazduh se zagreva do određene temperature i iz plamene peći iznosi određenu količinu toplote i na taj način snižava vrednost za stepen iskorišćenja toplote goriva. Stepenn iskorišćenja goriva u plamenim pećima koje se lože mazutom iznosi 35 %, a gasovitim gorivom 37 procenata. Na plamenim pećima u Boru stepenn iskorišćenja toplote se kreće od 20-30 procenata.

## **2. Primena kiseonika u cilju intezifikacije procesa u plamenim pećima u proizvodnji anodnog bakra u svetu**

Prva upotreba kiseonika u plamenim pećima u proizvodnji bakra ostvarena je 1963. godine u Balhaškom kombinatu u Kazahstanu, i to u plamenim pećima koje se lože ugljenim prahom.[47] Sadržaj kiseonika u struji vazduha kreće se od 22 do 29 procenata. Ispitivanja su pokazala da je uvođenjem kiseonika, specifični kapacitet plamene peći povećan sa 3,28 t/(m<sup>2</sup>·dan) na 3,80 t/(m<sup>2</sup>·dan), specifična potrošnja uslovnog goriva je smanjena sa 186 kg/t na 161 kg/t šarže, količina gasova je smanjena sa 1760 m<sup>3</sup>/t na 1270 m<sup>3</sup>/t šarže, stepenn iskorišćenja toplote je povećan sa 33 % na 37 % i smanjena je količina poletine sa 1,4 % na 0,8 % mase šarže. Parametri su upoređivani kod sadržaja kiseonika u vazduhu od 21 % i 25 % kiseonika.

Od kraja 1970. godine vazduh se obogaćuje kiseonikom u plamenim pećima za topljenje prženca u Srednjeuralskom zavodu (Rusija).[48,49] Obogaćivanje vazduha je od 25 % do 27 % O<sub>2</sub>, pri čemu je kapacitet peći je povećan za 20 % tj sa 5 t/(m<sup>2</sup>·dan) na 6 t/(m<sup>2</sup>·dan) i smanjena je potrošnja uslovnog goriva za 25 procenata. Pri sadržaju kiseonika u vazduhu do 30 %, kapacitet plamene peći raste za 25-30 procenata. Stepenn iskorišćenja toplote plamenih peći raste sa 30 %, pri sadržaju od 21 % O<sub>2</sub> u vazduhu, na 37 %, pri sadržaju od 26 % O<sub>2</sub>, i 46 % pri sadržaju od 29 % kiseonika. Gubitak toplote sa dimnim gasovima opada sa 64 % pri sadržaju od 21 % O<sub>2</sub> u vazduhu na 50 %, pri sadržaju od 29 % kiseonika.

U topionici Copper Cliff u Kanadi[50] vršena su industrijska ispitivanja na plamenoj peći koja se loži ugljenim prahom, pri jednakom toplotnom opterećenju od 49 MW u oba slučaja, pri sadržaju kiseonika u vazduhu od 21 % O<sub>2</sub> i 25 % O<sub>2</sub>, specifični kapacitet peći raste sa 3,26 t/(m<sup>2</sup>·dan) na 3,80 t/(m<sup>2</sup>·dan), specifična potrošnja uslovnog goriva opada sa 183 kg/t na 158 kg/t šarže i količina gasova, takođe, opada sa 1760 m<sup>3</sup>/t na 1270 m<sup>3</sup> po toni šarže. Obogaćivanjem vazduha kiseonikom postignut je ekvivalent potrošnje goriva od 0,5 tona uglja po toni kiseonika.

U kombinatu Almalik[51], sadržaj kiseonika u vazduhu za plamene peći dostigao je vrednost do 45 %, pri čemu je postignut specifični kapacitet plamene peći od 7,5 t/(m<sup>2</sup>·dan)-8 t/(m<sup>2</sup>·dan), uz utrošak prirodnog gasa od 104-108 m<sup>3</sup> po toni šarže. Toplotno opterećenje plamene peći je smanjeno sa 76,99 na 67,92 megavata, odnosno 11,8 %. Primenom kiseonika u plamenopečnom topljenju sirove šarže u Almaliku (Uzbekistan), na svaki procenat obogaćenja vazduha kiseonikom povećava se srednja vrednost proizvodnosti za 0,16 t/(m<sup>2</sup>·dan) i smanjuje se potrošnja uslovnog goriva za 4 % kod koncentracije kiseonika u vazduhu od 21 %-30 % i za 2,75 % kod 21 %-40 % O<sub>2</sub> u vazduhu.

Specifična potrošnja mazuta, donje toplotne moći 42,7 MJ/kg, kod plamene peći za topljenje prženca u topionici Caletones u Čileu, pri korišćenju vazduha sa 21 % O<sub>2</sub>, iznosi 0,101 kg/kg šarže, pri 26 % O<sub>2</sub> 0,083 kg/kg šarže, a kod 30 % O<sub>2</sub> 0,082 kg/kg šarže. Kapaciteti topljenja prženca su 47, 54 i 56,4 tona po času.

### **3. Efekti uvođenja kiseonika u plamenim pećima u topionici u Boru**

Fabrika kiseonika proizvodnog kapaciteta 120 t/dan (čistoće 95 %) puštena je u rad 1978. godine u cilju intenzifikacije procesa topljenja u plamenim pećima.[52] Kao i u procesu konvertovanja plamena peć broj 1 je krenula da koristi vazduh obogaćen kiseonikom 1979. godine dok je plamena peć broj 2 počela da koristi isti 1995.

godine.[34,53] Obogaćenje vazduha kiseonikom se kretalo od 25-30 procenata. Potrošnja tehničkog kiseonika za plamenu peć broj 1 je iznosila 2000 Nm<sup>3</sup>/h a za plamenu peć broj 2 1500 Nm<sup>3</sup>/h.

U tabeli 17 je data analiza pokazatelja rada plamene peći broj 1, u periodu pre uvođenja kiseonika 1961-1977. godine i posle uvođenja kiseonika 1978-1994. godine može se videti da je smanjena specifična potrošnja uglja od 173,5 kg/t na 163,1 kg/t suvog koncentrata ili 6,4 % dok je proizvodnost plamene peći povećana od 203096 t na 251191 t ili 26,1 procenata. Kod plamene peći broj 2 u istim vremenskim periodima pre i posle uvođenja kiseonika vidi se da je specifična potrošnja goriva smanjena sa 126,7 kg/t na 103,9 kg/t suvog koncentrata ili 21,94 %, dok je proizvodnost peći povećana sa 201161 t na 283480 t ili 40,92 procenata. Takođe, povećano je i toplotno opterećenje plamene peći br. 1 na 8 % a plamene peći br. 2 na 11 procenata. Ovde treba napomenuti i kvalitet energenata koji se koristio u navedenim vremenskim periodima. Donja toplotna moć korišćenih ugljeva se kretala od 26 MJ/kg-27 MJ/kg a mazuta 40 MJ po kilogramu (tabela 17).

Tabela 17. Srednje godišnje vrednosti parametara rada plamenih peći u Boru[34]

<b>Parametar</b>	<b>Plamena peć br. 1</b>		<b>Plamena peć br. 2</b>	
	1961-1977.	1978-1994.	1961-1977.	1978-1994.
Period rada plamenih peći, godina	203096	256191	201161	283480
Prerada suvog koncentrata, t	173,500	163,100	126,700	103,900
Potrošnja goriva, kg/t suvog koncentrata	33,840	36,560	37,300	41,370
Toplotno opterećenje plamene peći, MW	26,00	27,00	40,00	40,00
Donja toplotna moć goriva, MJ/kg	0	0,064	0	0,058
Specifična potrošnja kiseonika, t/t suvog koncentrata				

#### **4. Specifična potrošnja goriva u plamenim pećima u svetu**

Potrošnja goriva u plamenim pećima zavisi od kvaliteta šarže i goriva, organizovanosti vođenja procesa, vremenskog iskorišćenja i slično. Potrošnja goriva (svedeno na uslovno) kod topljenja prženca kreće se u granicama od 10 % do 14 % od količine šarže, a kod topljenja sirove šarže 17 % do 20 % od količine šarže.

Potrebna toplota za topljenje pržene šarže u plamenim pećima iznosi 2931 MJ/t, a za topljenje sirove šarže 7327 MJ/t, kod stepena iskorišćenja toplote peći od 33 procenta. U kombinitu SUMZ (Rusija), za topljenje pržene šarže (sa 20 % SiO<sub>2</sub>) temperature 475 °C, potrebna količina toplote iznosi 1382 MJ/t (eksperimentalni podatak), a u topionici Caletones (Čile) za topljenje pržene šarže (sa 8 % SiO<sub>2</sub>) temperature 550 °C potrebna je toplota od 795 MJ po toni.

U Haydenu, Arizona u Americi[54] za plamenu peć, kapaciteta 910 t koncentrata na dan, utrošena je toplota od 3783 MJ po toni koncentrata. Za topljenje šarže u plamenoj peći u topionici Naošima (Japan) trošena je toplota od 16810 MJ/t bakra ili 3362 MJ/t suvog koncentrata pri čemu nije korišćen kiseonik za obogaćivanje vazduha.

## **VI. SEKUNDARNA ENERGIJA U METALURGIJI BAKRA**

### **1. Iskorišćenje sekundarne energije u metalurgiji bakra**

U proizvodnji anodnog bakra u Topionici u Boru proizvodi koji se stvaraju u pojedinim tehnološkim fazama (prženac, bakrenac, blister bakar, šljake konvertora i anodne peći) napuštaju procesni prostor sa temperaturama od 1150 °C-1250 °C. Deo te toplotne energije se koristi u istoj ili narednim fazama proizvodnje. Takođe, fizička toplota gasovitih produkata koja iznosi 4782,916 MJ/t suvog koncentrata, može se koristiti u tehnološkom procesu (predgrevanje vazduha, sušenje šarže) ili za proizvodnju električne energije. Bolje korišćenje sekundarne energije smanjuje potrošnju energenata, povećava stepen iskorišćenja toplote i snižava cenu proizvoda. To znači da stepen iskorišćenja toplote plamene peći se može povećati sa 25 %-30 % na 55-65 procenata.

Kombinat bakra Outokumpu u Kokkoli (Finska), korišćenjem sekundarne energije procesa, pokriva sve potrebe za energijom u proizvodnji, a 300 GWh ostaje kao višak električne energije. U proizvodnji ovog kombinata potrošnja električne energije čini 30 % potrošnje svih energenata.[34] U Japanskom zavodu Onahama, 75 % potreba za energoresursima pokriva se korišćenjem sekundarne energije pojedinih procesa.



Na vaerbarskoj peći Alaverdskog kombinata bakra AGMK (Jermenija), za hlađenje gasova, izgrađen je utilizacioni parni kotao sa termosifonima. Utilizacioni parni kotao je konstruisan za količinu gasova od 13200 m<sup>3</sup>/h, ulazne temperature 1350 °C. Temperatura gasova na izlazu iz kotla je oko 425 °C. Produkcija pare je 7,8 t/h, pritiska 6 bara i temperature 150 °C.

Krasnouralski kombinat bakra u Rusiji[55,56] raspolaže sekundarnom energijom (toplotom) u vrednosti od 128 MW-139 MW i to sa sledećim produktima: gas plamenih peći 60 %, konvertora 28 % i otpadnom šljakom plamenih peći 12 procenata. Od tehnički moguće iskoristive toplote, u Kombinat u se koristi oko 58 %, čime se pokriva 60 % potreba za toplotnom energijom. Za hlađenje 100000 m<sup>3</sup>/h gasova plamenih peći ugrađen je utilizacioni parni kotao produkcije 35 t/h pritiska 40 bara i temperature pregrejane pare od 420 °C. Proračunska temperatura gasova na ulazu u parni kotao je 1260 °C i količina vazduha 75000 m<sup>3</sup>/h–80000 m<sup>3</sup>/h zagrejanog u zagrejaču do 320 °C-350 °C. U praksi, parni kotao proizvodi 22-24 tona po času pare. Korišćenjem toplote iz granulacije šljaka proizvodi se toplota u iznosu od 380 GJ godišnje.

Za hlađenje konvertorskih gasova kombinata u Srednjejorju (Bugarska) ugrađen je utilizacioni parni kotao sa produkcijom od 30 t/h zasićene pare pritiska 52 bara. Količina gasova je 140000 m<sup>3</sup>/h, ulazne temperature od 700 °C±50 °C, a na izlazu iz parnog kotla temperatura gasova je 400 °C±20 °C. Za hlađenje gasova fleš-peći ugrađen je utilizacioni parni kotao produkcije 100 t/h zasićene pare pritiska 50 bara. Količina gasova iznosi 140000 m<sup>3</sup>/h, ulazne temperature od 1350 °C, a na izlazu iz kotla ona je 400 °C–450 °C. Temperatura napojne vode je 105 °C. Proizvedena para se koristi za tehnološke potrebe i za proizvodnju električne energije u kondenzacionoj parnoj turbini snage 12 megavata. Mesečna potrošnja električne energije kombinata iznosi oko 21 GWh, što čini 45 % potrošnje svih energenata. Jedan od najvećih problema je korozija grejnih površina parnih kotlova.

U Topionici i rafinaciji Naoshima-Mitsubishi Metal Corporation u Japanu količina gasova od 31800 m<sup>3</sup>/h iz fluo-solid reaktora, zapreminskog sastava 11,80 % SO<sub>2</sub>, 30,20 % H<sub>2</sub>O i 58 % N<sub>2</sub>, hlade se u dva utilizaciona parna kotla sa 700 °C na 350 °C. Proizvodnja pare je 7,5 t/h, pritiska 40 bara i temperature 400 °C.

## **2. Iskorišćenje sekundarne energije u topionici bakra u Boru**

Tehnološki postupak proizvodnje anodnog bakra u Topionici u Boru se svrstava u visoko temperaturne procese. Produkti iz pojedinih faza proizvodnje (prženac, bakrenac, blister bakar) sadrže veliku količinu toplotne energije koja u toplotnom bilansu iznosi 1030,258 MJ po toni suvog koncentrata. Deo sadržane toplotne energije se vraća u proces, a deo predstavlja sekundarnu toplotnu energiju koja se nepovratno gubi. Gasovi procesa prženja sadrže 793,854 MJ/t suvog koncentrata, gasovi plamene peći broj 1 sadrže 2553,995 MJ/t suvog koncentrata, gasovi konvertovanja sadrže 1286,557 MJ/t suvog koncentrata i gasovi plamene rafinacije sadrže 148,510 MJ po toni suvog koncentrata. Sa šljakom plamenih peći odlazi toplotna energija u količini od 920,858 MJ/t suvog koncentrata, a sa anodnim bakrom odlazi 104,661 MJ po toni suvog koncentrata. Deo toplotne energije prženca, bakrenca, šljake konvertovanja i plamene rafinacije i blister bakra koristi se u procesu. U postojećim uslovima, u topionici bakra u Boru, iskorišćenje toplotne energije iznosi 24 %, a samo u tehnološkom procesu 11,82 procenata. Toplotna energija utrošena za proizvodnju pregrejane vodene pare u utilizacionim parnim kotlovima plamenih peći čini 12,6 % od ukupno dovedene toplote za proizvodnju anodnog bakra.

U topionici bakra u Boru koristi se samo sekundarna toplotna energija gasova plamenih peći za proizvodnju pregrejane pare. Za hlađenje gasova plamene peći broj 1 je ugrađen jedan utilizacioni parni kotao.[57] U nastavku parnog kotla je postavljen zagrejač, sekundarnog vazduha, kojim se vazduh dodatno zagreva po izlasku iz parnog zagrejača sa temperature od 140 °C na 400 °C, a prethodno je predgrejan u parnom pregrejaču. Proizvedena para, u utilizacionom parnom kotlu plamene peći, koristi se za predgrevanje vazduha radi sagorevanja goriva, za sušenje uglja, za zagrevanje mazuta i za pogon

napojnih pumpi na paroturbinskom pogonu. Ostala količina pare (80 %-90 %) koristi se za proizvodnju električne energije i toplifikaciju.

U tabeli 18 se vidi da veliki deo količine toplote nose gasovi i za tehnološke postupke topljenja u plamenim pećima, Vanjukov, Micubiši, Noranda ta vrednost se kreće od 22,3-34,48 megavata. Takođe, nije zanemarljiva količina toplote koja se ponese sa šljakom i ona iznosi od 9,3-13,8 megavata.

Tabela 18. Parametri energoresursa u metalurgiji bakra

Peć u proizvodnji bakra	Temperatura, °C	Količina toplote, MW	Periodičnost procesa
<b>Plamena peć</b>			
gasovi	1200–1350	29-41	K
šljaka	1200	9,3-11,6	P
<b>Fleš peći</b>			
gasovi	1400	9,3	K
šljaka	1250	9,3	P
rashladna voda	50	4,6	K
<b>Konvertor za bakrenac</b>			
gasovi	1 300	7-11,6	P
<b>Reaktor Fluo-solid</b>			
gasovi	800	5,8	K
<b>Peć Vanjukova</b>			
gasovi	1200–1250	22,3	K
šljaka	1250–1300	13,8	K
<b>Micubiši topljenje</b>			
gasovi	1200	28,57	K
<b>Noranda</b>			
gasovi	1300	34,48	K

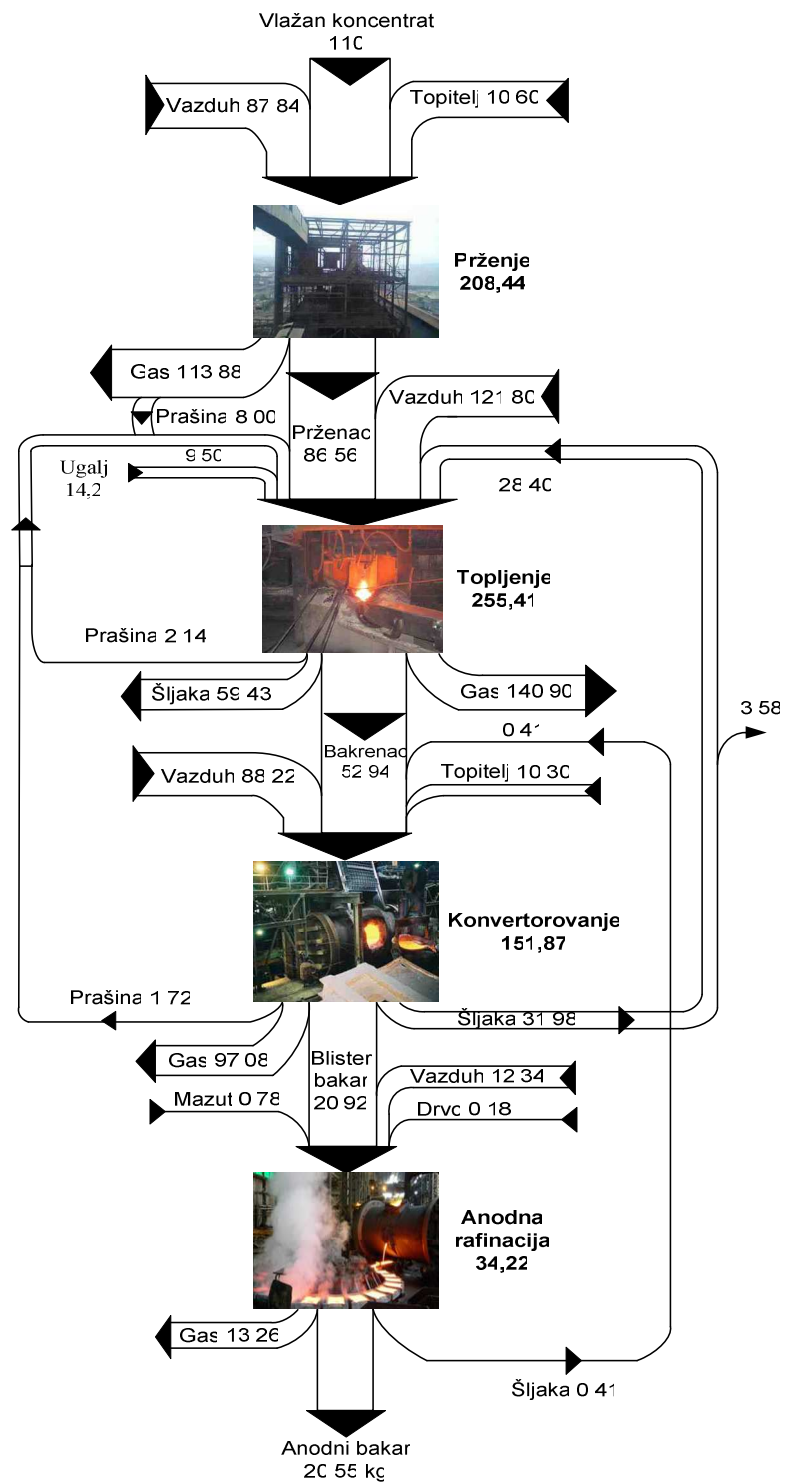
### 3. Iskorišćenje energije u proizvodnji anodnog bakra u topionici u Boru

Proizvodnja anodnog bakra je proces u kome dolazi do intenzivne razmene mase i energije. Ulazne i izlazne komponente sadrže veliku količinu hemijske i fizičke energije koja se delimično koristi u procesu, a deo ostaje neiskorićen. Upravo iz ovih razloga, pirometalurški proces proizvodnje anodnog bakra daje realne mogućnosti da se optimizacijom energetske i materijalne faktora ostvare značajne uštede koje mogu biti od

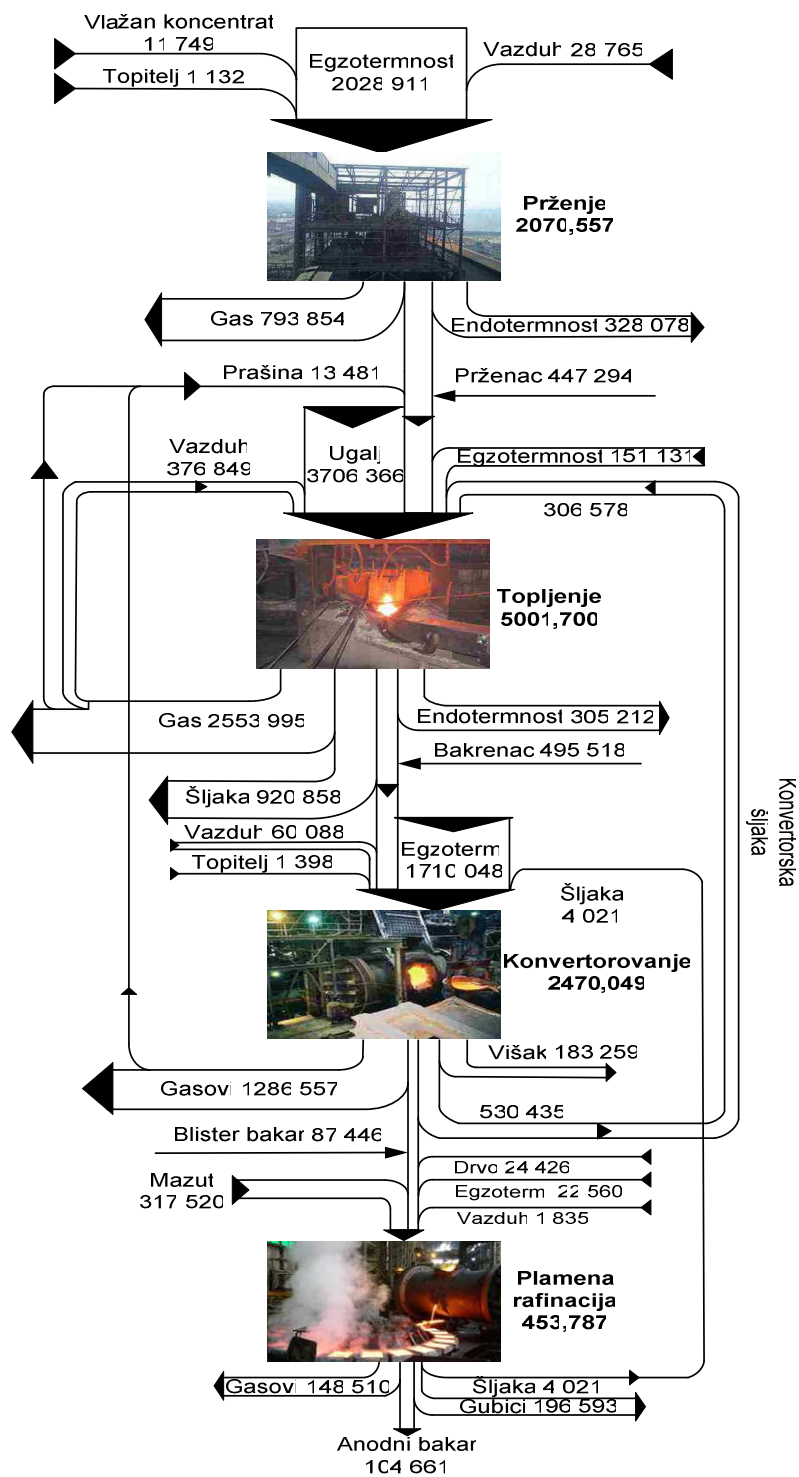
velikog uticaja na proizvodni proces, koji se ogledaju kroz bolju ekonomičnost i očuvanje radne i životne sredine.[58,59,60,61,62] Za odvijanje pirometalurškog procesa troši se velika količina energije u raznim oblicima (gorivo, električna energija, vazduh, voda i ekvivalent energije procesnih materijala), u iznosu od 20,183 GJ/t anodnog bakra ili 688,3 kg uslovnog goriva za 1 tonu anodnog bakra.

Iz procesnog prostora peći odvodi se znatna količina energije (fizička energija proizvoda, "gubitak" toplote u okolini i slično), a ona iznosi oko 125 megavata. Deo te toplotne energije predstavlja stalan izvor za proizvodnju toplotne i električne energije, toplote za sušenje uglja i nafte, kao i za toplifikaciju i tehnološke potrebe. Neto količina toplotne energije pare[57], koja se isporučuje Energani (1013,11 MJ/t suvog koncentrata) je uzeta u obzir kod određivanja ukupnog stepena iskorišćenja toplote ( $\eta_i$ ), a ne i kod stepena iskorišćenja toplote u procesu ( $\eta_{ip}$ ).

Materijalni i toplotni bilans procesa proizvodnje anodnog bakra u Boru je prikazan na sl. 14 i sl. 15. Toplotni bilans po fazama proizvodnje i korisna energija su prikazani u tabeli 19. Toplota koju je potrebno uložiti za odvijanje procesa proizvodnje po fazama iznosi: prženje 2070,557 MJ/t suvog koncentrata, topljenje 5001,700 MJ/t suvog koncentrata, konvertorovanje 2470,049 MJ/t suvog koncentrata i plamena rafinacija 453,785 MJ po toni suvog koncentrata. Za sve agregate ukupna količina toplote koja se odaje okolini iznosi 453,787 MJ po toni suvog koncentrata. Rashodi toplote se mogu prikazati kroz endoternost procesa 633,290 MJ/t suvog koncentrata, toplotu gasovitih produkata 4782,916 MJ/t suvog koncentrata i toplotu šljaka iz procesa topljenja, konvertorovanja i anodne rafinacije 1455,314 MJ po toni suvog koncentrata. Toplota sadržana u produktima je samo deo od ukupno uložene energije u proces proizvodnje i ista iznosi 8083,894 MJ po toni suvog koncentrata.



Sl. 14. Dijagram materijalnog bilansa proizvodnje anodnog bakra u kg/100 kg suvog koncentrata[24]



Sl. 15. Dijagram raspodele toplote u proizvodnji anodnog bakra u MJ po toni suvog koncentrata[24]

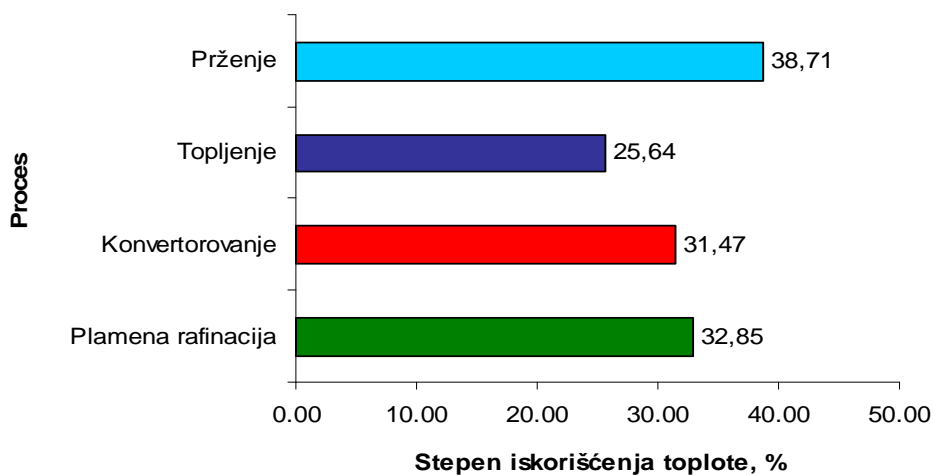
Tabela 19. Toplotni bilans po fazama proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru

Faza proizvodnje	Specifična količina, t/t suvog konc.	Količina toplotne energije, MJ/t suvog konc.	Procentualno učešće, %
<b>ULAZ:</b>			
<b>Prženje</b>			
1. Vlažan koncentrat	1,100	11,749	0,15
2. Topitelj	0,106	1,132	0,01
3. Vazduh	0,878	28,765	0,36
4. Egzotermnost	-	2028,911	25,10
<b>Topljenje</b>			
1. Ugalj	0,142	3706,366	45,85
2. Vazduh	1,218	17,951	0,22
3. Egzotermnost	-	151,131	1,87
4. Prženac	0,866	447,294	-
5. Povratna prašina	0,095	13,481	-
6. Šljaka konvertora	0,284	306,578	-
<b>Konvertorovanje</b>			
1. Topitelj	0,103	1,398	0,02
2. Vazduh	0,882	60,088	0,74
3. Egzotermnost	-	1710,048	21,15
4. Bakrenac	0,529	495,518	-
5. Šljaka rafinacije	0,004	4,021	-
<b>Plamena rafinacija</b>			
1. Mazut	0,008	317,520	3,93
2. Drvo za polovanje	0,002	24,426	0,30
3. Vazduh	0,123	1,835	0,02
4. Egzotermnost	-	22,560	0,28
5. Blister bakar	0,209	87,446	-
<b>UKUPNO:</b>		<b>8083,894</b>	<b>100,00</b>
<b>KORISNA ENERGIJA</b>			
<b>Prženje</b>			
1. Endotermnost	-	328,078	34,33
2. Prženac	0,866	447,294	
3. Povratna prašina	0,095	13,481	
<b>Topljenje</b>			
1. Endotermnost	-	305,212	31,93
2. Bakrenac	0,529	495,518	
3. Gasovi	1,409	358,898	
<b>Konvertorovanje</b>			
1. Blister bakar	0,209	87,446	
2. Višak toplote	-	183,259	19,17
3. Šljaka	0,319	530,435	
<b>Plamena rafinacija</b>			
1. Šljaka	0,004	4,021	
2. Zagrevanje		139,208	14,57
<b>UKUPNO:</b>		<b>955,757</b>	<b>100,00</b>

U tabeli 19 je data i korisna energija koja sadrži energiju materijala na ulazu u odgovarajuće agregate jer se od jedne do druge tehnološke faze deo energije nepovratno gubi. U fazi topljenja samo deo toplotne energije pregrejane pare se koristi za predgrevanje vazduha. Takođe, u obzir je uzet i višak energije u procesu konvertorovanja koji se koristi za pretapanje hladnog materijala od 50 t-60 t prilikom rada na “šljaku” i bakarnog skrapa od 20 t-30 t kod rada na “bakar” po operaciji. S obzirom da stepen iskorišćenja toplote predstavlja odnos korisne i uložene toplote isti je prikazan za svaku fazu proizvodnje anodnog bakra u tabeli 20 i sl. 16. Stepen iskorišćenja toplote za ceo pirometalurški proces proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru  $\eta_{ip}$  iznosi 11,82 procenata.

Tabela 20. Stepeni iskorišćenja toplote po fazama proizvodnje anodnog bakra

Proces	Korisna energija (KE), MJ/t suvog koncentrata	Ukupna energija (UE), MJ/t suvog koncentrata	Stepen iskorišćenja toplote $\eta_{ip}$ , KE/UEu %
Prženje	786,57	2031,94	38,71
Topljenje	1341,00	5229,47	25,64
Konvertorovanje	729,50	2318,26	31,47
Plamena rafinacija	158,95	483,82	32,85
<b>Prosečno za ceo proces</b>	<b>955,76</b>	<b>8083,89</b>	<b>11,82</b>



Sl. 16 Stepen iskorišćenja toplote po fazama proizvodnje anodnog bakra



Deo sekundarne toplotne energije gasovitih produkata topljenja u plamenim pećima koristi se za proizvodnju pare, uzimajući u obzir da se ta količina toplotne energije sadrži u isporučenoj pari za energanu (0,353 t pare za 1 t suvog koncentrata, iznosi 2870 MJ/t). U tom slučaju, ukupni stepen iskorišćenja toplote za plamenu peć broj 1 je:

$$\eta_i = (1159,63 + 0,353 \cdot 2870) / 5001,70 = 0,43$$

a za ceo proces proizvodnje anodnog bakra na liniji broj 1 u topionici:

$$\eta_i = (955,76 + 0,353 \cdot 2870) / 8083,89 = 0,24$$

Na sl. 16 je dat grafički prikaz iskorišćenja toplote po fazama proizvodnje kao i iskorišćenje toplote za ceo proces proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru.

Iskorišćenjem sekundarne energije za proizvodnju pare, koja se isporučuje energani, stepen iskorišćenja toplote topljenja prženca u plamenoj peći broj 2 [63,64] sa 26 na 45 procenata. Radi upoređenja, stepen iskorišćenja toplote kod drugih agregata za topljenje iznosi: visoka peć 50 %, peći za prženje-30 %, elektropeći-17 procenata.

## **VII. ISKORIŠĆENJE SEKUNDARNE (OTPADNE) TOPLOTNE ENERGIJE**

U industriji se skoro 50 % energije gubi kao sekundarna (otpadna) toplotna energija u okolinu, izazivajući razne ekološke poremećaje i probleme.[65] Otpadna toplota se prenosi gasovitim produktima procesa, vodom, vazduhom, šljakom i odavanjem toplote u okolinu. Otpadna toplota, zavisno od procesa, može se klasifikovati prema temperaturi njenog nosioca i to u nekoliko grupa:

- visokotemperaturna, iznad 650 °C,
- srednjetemperaturna, 200 °C-650 °C ,
- prelazno područje, 100 °C-200 °C i

- niskotemperaturna, ispod 100 °C.

U zavisnosti od nosilaca sekundarne (otpadne) toplotne energije, razlikuju se:

- sekundarna energija gasovitih produkata,
- sekundarna energija proizvoda i nusproizvoda,
- sekundarna energija sadržana u tehnološkoj i rashladnoj vodi.

Sekundarna (otpadna) energija predstavlja znatnu stavku u energetsom bilansu procesa i postrojenja. Prema tome, ona zaslužuje da se iskorene stavovi o tome da ona predstavlja nužno zlo, jer je u velikom broju slučajeva ta energija mnogo vrednija od primarne energije. U tabeli 21 prikazani su parametri otpadne toplote u metalurgiji po fazama proizvodnje. Takođe, dat je i prikaz procentualnog učešća sekundarne otpadne energije u metalurgiji gde se jasno vidi značajno učešće gasova i šljake koje se u zavisnosti od procesa proizvodnje kreće od 20,80 %-52,00 % odnosno 30,90 procenata.

Korišćenjem sekundarne energije stvara se mogućnost za smanjenje potrošnje primarne energije. Supstitucijom primarne energije sekundarnom smanjuje se potrošnja neobnovljive energije, a uticaji su, osim ekonomskih, i ekološki. Postrojenja za korišćenje sekundarne energije su jeftinija od onih za korišćenje primarne, za istu snagu, jer nemaju skladište za gorivo, uređaje za pripremu goriva, a u većini slučajeva ni prostor za sagorevanje goriva. Upravo iz ovih razloga, primena utilizacionih parnih kotlova, regenerativnih i rekuperativnih razmenjivača toplote, toplotnih pumpi, sušare i sličnog, ima svoje tehničko-tehnološko i ekonomsko opravdanje. Posebno je interesantna u industrijskim granama koje su veliki potrošači energije, sa jedne strane a sa druge su veliki "proizvođači" sekundarne energije poput metalurških i hemijskih kombinata.

Zavisno od fizičkih, mehaničkih i toplotnih osobina nosilaca, sekundarna (otpadna) toplotna energija iz procesa može biti iskorišćena na različite načine, i to:

- gasovi više i srednje temperature mogu služiti za predgrevanje vazduha za sagorevanje goriva pomoću razmenjivača toplote i za proizvodnju električne i toplotne energije, koristeći utilizacione parne i vrelovodne kotlove.

Tabela 21. Sekundarna (otpadna) energija u metalurgiji

Proces	Temperatura otpad. fluida, °C	Fluid	Učešće u toplotnom bilansu peći, %	Sekundarna energija GJ/t
<b>Proizvodnja bakra</b>				
Prženje, fluosolid reaktor	500-800	Gasovi	31,50	1,32 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Topljenje, plamena peć	1100-1200	Šljaka	30,90	1,09 GJ/t <sub>prženca</sub>
Topljenje, plamena peć	1100-1300	Gasovi	45,80	1,62 GJ/t <sub>prženca</sub>
Topljenje, šahtna peć	350-550	Gasovi	36,10	2,40 GJ/t <sub>šarže</sub>
Topljenje, fleš peć	1100-1350	Gasovi	28,30	1,12 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Topljenje, peć Vanjukova	1200-1250	Gasovi	38,93	1,17 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Topljenje, Noranda peć	1300	Gasovi	39,05	1,96 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Konvertovanje PS	1000-1100	Gasovi	35,40	2,03 GJ/t <sub>blistera</sub>
Topljenje, Mitsubishi	1200	Gasovi	37,01	1,07 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Teniente konvertor	1250	Gasovi	47,02	1,35 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Plamena rafinacija	1000-1150	Gasovi+bakar	64,40	2,11 GJ/t <sub>anodnog bakra</sub>
<b>Proizvodnja nikla</b>				
Topljenje, šahtna peć	350-550	Gasovi	20,80	1,39 GJ/t <sub>šarže</sub>
Topljenje, plamena peć	1300	Gasovi	45,20	2,59 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
Konvertovanje	-	Gasovi	34,20	1,75 GJ/t <sub>blistera</sub>
<b>Proizvodnja olova</b>				
Topljenje, šahtna peć	350-550	Gasovi	23,80	0,91 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
<b>Proizvodnja cinka</b>				
Prženje	900-950	Gasovi	52,00	2,46 GJ/t <sub>suvog konc.</sub>
<b>Proizvodnja čelika</b>				
Visoka peć	do 200	Gasovi	48,80	14,68 GJ/t <sub>sirovog gvožđa</sub>
Simens-Martenova peć	1100-1150	Gasovi	41,90	4.19 GJ/t <sub>čelika</sub>

- gasovi srednje temperature mogu se koristiti za predgrevanje vazduha, napojne vode za parne kotlove i druge svrhe.
- izlazni gasovi i rashladna voda mogu se koristiti za zagrevanje tečnosti, vazduha i slično.
- zagrejani odsisani vazduh u ventilacionim sistemima može se koristiti za predgrevanje svežeg vazduha koji se ubacuje u prostoriju.

- kondenzat pare koji se vraća u parni kotao može se koristiti za grejanje potrošne vode. Kondenzat pare višeg pritiska može se koristiti za proizvodnju pare niskog pritiska.
- topli vazduh od hlađenja kompresora, elektromotora i hidrauličnih sistema može se koristiti za grejanje prostorija.
- stalna otpadna toplota niže temperature može se koristiti za grejanje isparivača toplotnih pumpi.

U proizvodnji sumporne kiseline kontaktnim postupkom (sve hemijske reakcije su egzotermne) u Boru oslobađa se velika količina sekundarne toplote koja je sadržana u rashladnoj vodi. Ova količina toplote iznosi 103,5 MW i sa njom se može zadovoljiti potreba za zagrevanje elektrolita u pogonu elektrolitičke rafinacije (oko 25 MW) i za grejanje potrošne vode.

Korišćenjem raspoložive visokotemperaturne sekundarne energije pirometalurškog procesa u proizvodnji bakra procesa prženja, topljenja, konvertorovanja i plamene rafinacije u RTB -u Bor može se proizvesti 28,3 MWh električne energije za jedan sat rada. Sekundarnom energijom može se pokriti potreba za toplotnom energijom, u letnjem periodu, u Boru (oko 10 MW ili pare 12,85 t/h), a ostala količina toplote (oko 88 MW<sub>t</sub>) za proizvodnju električne energije. U ove svrhe mogu se koristiti parna turbina sa protivpritiskom ili kondenzaciona parna turbina sa oduzimanjem pare. U tom slučaju proizvodila bi se električna energija i toplotna energija za potrebe zagrevanja elektrolita, priprema tople i sanitarne vode.

Kod autogenih procesa topljenja sulfidnih koncentrata bakra, sadržaj SO<sub>2</sub> može biti i do 80 %, a takođe se javlja i SO<sub>3</sub> pa su stvoreni povoljni uslovi za pojavu korozivnih oštećenja grejnih površina. Niskotemperaturna koroziona oštećenja, u novije vreme, javljaju se na ulaznim parnim kotlovima koji služe za hlađenje gasova fleš peći u Glogovu[66] u Poljskoj i Srednjegorju (Bugarska), tako da su vremenska iskorišćenja i raspoloživost vrlo niski. Problem onečišćenja grejnih površina ulaznih parnih kotlova,

koji služe za hlađenje gasova peći Vanjukova, veliki su problemi u kombinatima bakra u Ruskoj Federaciji i Kazahstanu.

Temperatura tačke rose sumporne kiseline, kod gasova u obojenoj metalurgiji, iznosi 230 °C-250 °C, a da bi se predupredila pojava niskotemperaturne korozije, temperatura izlaznih gasova ne sme biti niža od 300 °C, a temperatura metala ne niža od 250 °C. S obzirom na to da gasovi sadrže čvrste čestice, one abrazivno deluju na grejne površine utilizacionih parnih kotlova i razmenjivača toplote, a zatim formiraju sulfate koji imaju dosta niske temperature topljenja (na primer,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ima temperaturu tačke topljenja 554 °C). Formirani sloj naslaga na grejnim površinama potpomaže pojavu korozije, smanjuje prenos toplote, a prilikom njegovog mehaničkog čišćenja dolazi do oštećenja grejnih površina.

## **VIII. MODERNIZACIJA TOPIONICE I IZGRADNJA NOVE FABRIKE SUMPORNE KISELINE U BORU**

Projekat modernizacije topionice i izgradnje nove fabrike sumporne kiseline predstavlja brownfield investiciju. To znači da se ruše i uklanjaju stara a grade nova postrojenja u cilju poboljšanja postojeće tehnologije proizvodnje u Boru, stim što se koristi postojeća infrastruktura (zgrade, pomoćni objekti, putevi, vodovi i priključci za električnu energiju, vodu, vazduh i dr.).

U topionici je srušena linija broj dva u čijem je sastavu bila plamena peć, reaktor, sprej kula, elektrofilteri, kotlovi i duvaljke dok su u fabrici sumporne kiseline srušena dva kontaktna postrojenja za proizvodnju iste. Do završetka projekta, tj. izgradnje i puštanja u probni rad novih postrojenja radiće linija broj 1 u topionici sa kapacitetom proizvodnje od 40000-50000 tona anodnog bakra i jedno kontaktno postrojenje (kontaktna 2) za proizvodnju sumporne kiseline kapaciteta 80000-100000 tona monohidrata na godišnjem nivou.

Umesto "standardnog" postupka topljenja u topionici u Boru koji podrazumeva reaktor za prženje šarže i plamenu peć za topljenje biće instaliran parni sušač za sušenje šarže, fleš peć, kotao otpadne toplote i elektrofilter po tehnologiji finske firme Outotec. Planirano je da rade 2 Pierce-Smith konvertora i 2 anodne peći. Nova fabrika sumporne kiseline po Fenko tehnologiji će prerađivati gasove iz procesa topljenja u fleš peći i konvertora i imaće kapacitet od 400000 t monohidrata godišnje.

Modernizovana topionica će imati kapacitet prerade od 400000 tona koncentrata bakra (prosečni sadržaj od 20,8 % Cu), odnosno proizvodnju od 80000 tona anodnog bakra na godišnjem nivou. Tehnološki postupak proizvodnje anodnog bakra u topionici dat je na sl. 17 i sastoji se od sledećih faza:[67]

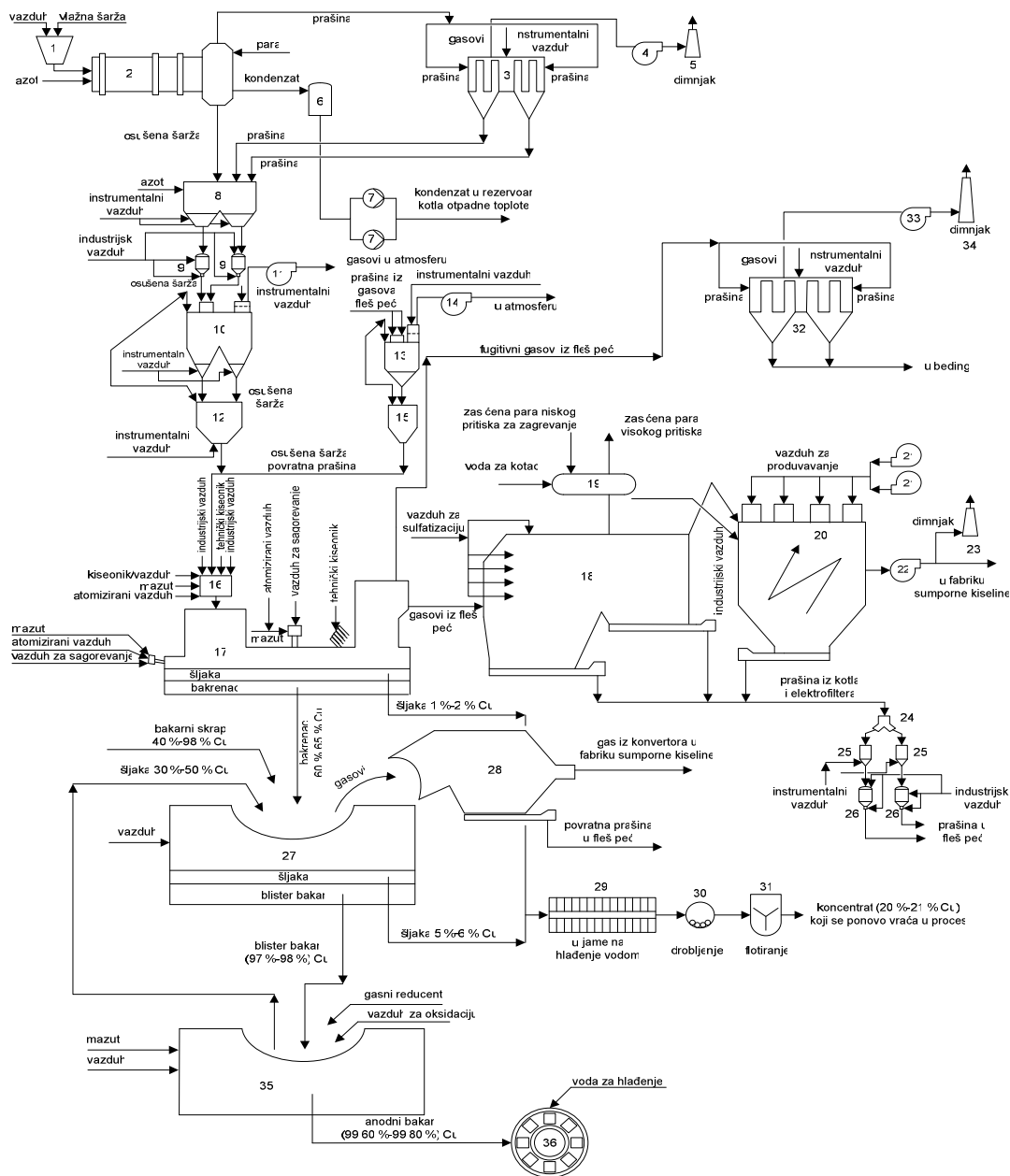
- priprema šarže,
- sušenje u parnom sušaču,
- topljenje u fleš peći,
- konvertorovanje,
- anodna rafinacija i livenje.

Modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline pratiće i izgradnja postrojenja za neutralizaciju otpadnih voda iz procesa proizvodnje u fabrici sumporne kiseline i elektrolize, modernizacija odeljenja pripreme sirovina i odeljenja konvertora u delu odvođenja gasova ka fabrici sumporne kiseline, nova fabrika kiseonika kapaciteta 10000 m<sup>3</sup>/h kiseonika i 7000 m<sup>3</sup>/h azota, izgradnja jama za hlađenje šljake iz fleš peći i konvertora i nove flotacije.

Upravo iz ovih razloga početkom 2012. godine sa radom je krenula i fabrika za proizvodnju raznih profila od fiberglasa (ojačana plastika). Osnovna delatnost ove fabrike je proizvodnja gasovoda za buduću fabriku sumporne kiseline i topionicu. U naredne tri godine ona će za potrebe ovog projekta proizvesti oko 700 metara gasovoda svih profila, veliki broj rezervoara i ostale prateće opreme. Ovaj materijal je jeftin, ekološki veoma pouzdan, nije sklon koroziji i lako se ugrađuje.

Modernizacijom topionice se postižu sledeći efekti:

- smanjenje potrošnje energije od 35 do 45 procenata,
- povećava se iskorišćenja bakra sa 93 na 98 procenata,
- povećava se iskorišćenje sumpora sa 40 na 98 procenata.



Sl. 17. Tehnološka shema proizvodnje anodnog bakra u modernizovanoj topionici u Boru

Legenda: 1-bunker za šaržu, 2-parni sušač, 3-elektrofilter, 4,11,14,21,22,33-ventilator, 5-dimnjak, 6-rezervoar za kondenzat, 7-pumpe, 8-srednji skladišni bunker (međubunker), 9,26-pneumaksi, 10-bunker za šaržu, 12-dozirni bunker za šaržu, 13-bunker za lebdeću prašinu, 15-dozirni bunker za lebdeću prašinu, 16-gorionik fleš peći, 17-fleš peć, 18-kotao otpadne toplote, 19-rezervoar vode za kotao, 20-elektrofilter, 23-dimnjak, 24-razdelni šut, 25-bunker, 27-PS konvertor, 28-rashladna komora, 29-jame za šljaku, 30-drobljenje, 31-flotiranje, 32-elektrofilter za fugalivne gasove, 34-dimnjak, 35-anodna peć, 36-livni točak.



## 1. Parni sušač

Šarža koju čine koncentrat i topitelji (ima oko 10 % vlage) se pravi u bedingu i sistemom traka se transportuje do parnog sušača. Vlažna šarža se zagreva na račun toplotne energije koja se prenosi od cevi kroz koje prolazi zasićena para (pritiska od 20 bar). Kada zagrejana spoljna površina cevi dođe u kontakt sa vlažnom šaržom koji ima nižu temperaturu dolazi do prenosa toplote sa cevi na šaržu i tom prilikom dolazi do isparavanja vlage. Pokretačka snaga ovog procesa je temperaturni gradijent koji se javlja u šarži i između šarže i okolnog vazduha. Ovakav način omogućava dobro mešanje šarže a samim tim i dobar kontakt između čvrste i gasne faze unutar parnog sušača. Šarža koja ide u proces topljenja u fleš peć treba da ima sadržaj vlage ispod 0,3 procenta.

Osušena šarža ide kroz među bunker, pneumakse, bunker za šaržu i na kraju u dozirni bunker. Zatim se ista meša sa povratnom prašinom iz kotla i elektrofiltera i ulazi u reakcioni šaht fleš peći u proces topljenja. Količina materijala se u dozirnom bunkeru stalno prati tako što se kontroliše protok šarže i brzina pužastog transportera preko računara. Tehno-ekonomski pokazatelji rada parnog sušača su:[67]

kapacitet sušača	61,7 t/h
para za sušenje šarže	10,6 t/h
pritisk zasićene pare	20 bar
temperatura zasićene pare	212 °C
količina gasa iz procesa sušenja	18040 Nm <sup>3</sup> /h
temperatura gasa iz procesa sušenja	120 °C

## 2. Konstrukcija parnog sušača

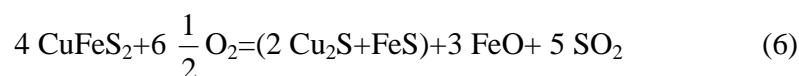
Parni sušač je valjkastog oblika koji u radu rotira a kao izvor toplote za proces sušenja koristi zasićenu paru srednjeg pritiska. Spoljašnji deo parnog sušača je napravljen od mekog čelika dok je unutrašnjost obložena pločama nerđajućeg čelika da bi se sprečila korozija i prijanjanje vlažne šarže. Parni sušač se oslanja na dva prstena koji su postavljeni

na valjkaste nosače pri čemu se svaki od njih u radu okreće. Parni sušač je napred malo nagnut. U fabrici sumporne kiseline će se iz dva kotla, kao sporedni proizvod u tehnološkom procesu proizvoditi vodena para koja će se koristiti za proces sušenja. Para za sušenje se kreće u suprotnom smeru od smera kretanja šarže. Kondenzat koji se stvara u procesu sušenja odvodi se preko sistema cevi u rezervoar.[67] Vazduh vezuje vlagu iz šarže koja se kontinuirano se izvodi iz sušača u atmosferu kroz odgovarajući sistem za skupljanje prašine. Sistem za odvođenje gasova iz sušača se sastoji od vrećastog filtera i ventilatora.

### 3. Topljenje u fleš peći

Osušena šarža zajedno sa povratnom prašinom ulazi u gorionik koji se nalazi na sredini reakcionog šahta fleš peći. Gorionik se sastoji od centralnog raspodeljivača osušene šarže, prašine i vazduha obogaćenim kiseonikom u reakcioni šaht. Za ovu svrhu se koristi industrijski vazduh iz fabrike kiseonika pri čemu ovaj vazduh ima i ulogu u hlađenju centralnog raspodeljivača. Takođe, i vazduh obogaćen kiseonikom se uduvava u ovom delu gorionika, dok se tehnički kiseonik koristi za proces topljenja (uduvava se kroz srednje koplje). Uz pomoć tehničkog kiseonika koji se ubacuje kroz srednje koplje centralnog raspodeljivača se kontrolišu reakcije topljenja u srednjem delu reakcionog šahta. U centralnom delu gorionika se nalazi i koplje pomoću kojeg može da se koristi gorivo (mazut) za slučaj da je potrebna dodatna količina toplote za sagorevanje šarže.

Stepen oksidacije se kontroliše odnosom kiseonik/šarža i naziva se koeficijent kiseonika. Povećanjem ovog koeficijenta, dolazi do povećane oksidacije FeS, što dovodi do višeg sadržaja bakra u bakrencu. Kvalitet bakrenca se unapred zadaje da bi se optimizovao proces topljenja, a isti se može lako menjati u radu sa promenom koeficijenta kiseonika. Za normalno odvijanje procesa topljenja obogaćenje vazduha kiseonikom iznosi od 40 O<sub>2</sub> %-60 % O<sub>2</sub>, u zavisnosti od sastava i protoka šarže, kao i stanja peći. Glavna reakcija u procesu topljenja se odigrava u šahtnom delu peći po sledećoj hemijskoj jednačini 6:[67]



Odgovarajuće hemijske reakcije se mogu napisati i za ostale sulfide koji se nalaze u koncentratu (npr. pirit  $\text{FeS}_2$ ), pri čemu se na račun ovih reakcija oslobađa toplota potrebna za proces topljenja. Reakcije koje se odigravaju u reakcionom šahtu su uglavnom egzotermne. Takođe, formiranje šljake (fajalita) se odvija u rastopu po sledećoj hemijskoj reakciji 7:[67]



Da bi se osiguralo sagorevanje prašine i reakcije sulfatizacije, određena količina tehničkog kiseonika se uduvava u delu setlera (komora za razdvajanje bakrenca i šljake) koji je bliži aptejku. Tu se nalazi 5 prskalica koje raspodeljuju i mešaju tehnički kiseonik podjednako sa gasovima koji se izlaze iz peći. Reakcije sulfatizacije prašine se u potpunosti odvijaju u kotlu otpadne toplote uz pomoć vazduha koji se unutra uduvava.

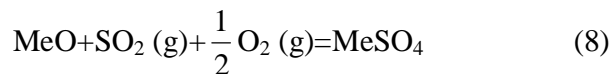
Bakrenac sa 60 %-65 % Cu se ispušta iz peći preko kanala u lonce koji se uz pomoć krana transportuju i sipaju u Pierce-Smith konvertor. Šljaka iz procesa topljenja sadrži 1 %-2 % Cu i ista se preko kanala ispušta u lonce i zajedno sa šljakom iz procesa konvertorovanja koja sadrži 5 %-6 % Cu transportuje na dalji tretman koji podrazumeva: hlađenje u jamama uz pomoć vode, drobljenje, transportovanje do flotacije, proizvodnju koncentrata i ponovno vraćanje u tehnološki proces. Gasovi iz fleš peći sa sadržajem od 30 %  $\text{SO}_2$  se odvođe u kotao otpadne toplote a zatim u elektrostatički filter pa u fabriku sumporne kiseline.

#### **4. Kontrola sulfatizacije dimne prašine**

Prašina iz dimnih gasova koja se skuplja u gasovima koji izlaze iz peći sastoji se od:

- mehaničke prašine, ili najfinijih frakcija čestica prašine koje se ne talože u peći,
- isparljivih/kondenzovanih elemenata koji potiču iz osušene šarže,
- isparljivih dimnih gasova koji se stvaraju od nečistoća prisutnih u osušenoj šarži.

Za vreme hlađenja, prašina iz dimnih gasova teži da formira sulfate prema sledećoj heterogenoj hemijskoj reakciji 8:[67]



S obzirom da je reakcija egzotermna i da se zapremina prašine povećava po ovoj reakciji, sulfatizacija prašine se izvodi na kontrolisan način u kotlu otpadne toplote u zračnoj (radijacionoj) sekciji.

Za konačni stepen kontrole sulfatizacije dimne prašine koja se izdvaja sa otpadnim gasovima iz procesa topljenja, sulfatizacioni vazduh se uduvava sagorevanjem vazduha iz ventilatora kroz prskalice u ulaznom delu zračne sekcije kotla otpadne toplote. Deo sulfatizacione prašine se izdvaja u donjem delu kotla a drugi deo u elektrostatičkom filteru. Sadržaj kiseonika u otpadnom gasu se kontroliše prema pravom stepenu sulfatizacije i istovremeno stvaranjem  $\text{SO}_3$  gasne faze.

## 5. Konstrukcija fleš peći

Fleš peć se sastoji od tri glavna dela: vertikalnog reakcionog šahta, horizontalnog setlera i vertikalnog šahta (aptek za odvođenje gasova).

Reakcioni šaht je iznutra ozidan vatrostalnom opekom koja je sa spoljne strane zaštićena bakarnim žaketima koji služe za hlađenje. Najveći broj hemijskih reakcija se odigrava u ovom delu peći.

Horizontalni setler je pravougaonog oblika u kome se vrši raslojavanje bakrenca od šljake po specifičnoj težini.

Da bi se osiguralo sagorevanje prašine i reakcije sulfatizacije, određena količina tehničkog kiseonika se uduvava u delu setlera koji je bliži aptejku. Tu se nalazi 5 prskalica koje raspodeljuju i mešaju tehnički kiseonik podjednako sa gasovima koji se izlaze iz peći. Reakcije sulfatizacije prašine se u potpunosti odvijaju u kotlu otpadne toplote uz pomoć vazduha koji se unutra uduvava.

Aptejk za odvođenje gasova je šaht cilindričnog oblika na suprotnoj strani od reakcionog šahta koji je takođe obložen vatrostalnom opekom. Mesta gde se spajaju setler i aptejk i kotao otpadne toplote se hlade bakarnim žaketima.

Peć kapaciteta prerade od 1200 t/dan koncentrata ima četiri krovna i šest zidnih gorionika od kojih svaki ima projektovani kapacitet potrošnje mazuta od 300 kg/h. Temperature produkata (bakrenca i šljake) se održavaju u normalnom radu peći a takođe i prilikom zastoja. Tehnički pokazatelji rada fleš peći su:[67]

bakrenac, t/dan	400-420
šljaka, t/dan	691
sadržaj bakra u bakrencu, %	62
sadržaj bakra u šljaci, %	1,4
mazut, Nm <sup>3</sup> /h	115
vazduh, Nm <sup>3</sup> /h	24859
gasoviti kiseonik, t/dan	291
proizvodnja pregrejane pare, t/dan	619
sadržaj SO <sub>2</sub> u gasovima iz fleš peći, %	29,9

Proizvodnja bakrenca u fleš peći će iznositi 400-420 tona, stim što će u preces konvertorovanja (za rad 2 konvertora) ići 280-300 tona tj. 140-150 tona po jednom konvertoru.

## 6. Kotao otpadne toplote

Kotao otpadne toplote je kotao koji ima prinudnu cirkulaciju vode i sastoji se od dve sekcije: radijacione i konvekcione. Instalirane ekranske cevi u sekcijama povećavaju površinu razmene toplote. Glavnu pomoćnu opremu kotla čine rezervoar za paru, prigušivač, rezervoar za otprašivanje, pumpe za cirkulaciju vode i sistem za stresanje prašine uz pomoć čekića. Kondenzat koji se izdvaja koristi se za pripremnu vodu za koncentrat šljake ili za sistem sekundarnog hlađenja vodom. Kotao otpadne toplote će proizvoditi 23,6 t/h pare, pritiska 60 bar i temperature od 275 °C.[67] Na osnovu urađenih

studija stručni tim RTB-a Bor se opredelio za najekonomičniju varijantu tj. da se toplotna energija viška vodene pare koristi za proizvodnju električne energije. Proizvodnja električne energije će iznositi cca 9500 MWh na godišnjem nivou što vrednosno iznosi oko 570000 €.[68]

## **7. Elektrostatički filter**

Elektrostatički filter ima 5 električna polja za uklanjanje preostale prašine iz kotla otpadne toplote. U donjem konusnom delu gde se skuplja prašina nalazi se vučni konvejer za transport iste. Čestice prašine koje se nalaze u gasu iz kotla se naelektrišu i skupljaju usled uticaja jakog električnog polja. Naelektrisana prašina se skuplja na elektrodama gde se iste tokom vremena stresaju i prašina pada u donji konusni deo elektrofiltera. Otprašeni gas napušta elektrofilter i ide dalje na preradu u fabriku sumporne kiseline.[67]

## **8. Fugitivni gasovi**

Kanali na fleš peći gde se ispušta bakrenac i šljaka kao i oblasti gde se ispušta bakrenac i šljaka u lonce uključujući i sve otvore za ispust materijala su pokriveni da bi skupljali fugitivne gasove koji sadrže SO<sub>2</sub>. Ovi gasovi se šalju u filter za fugitivne gasove koji idu dalje na dimnjak.

## **9. Konvertorovanje**

Proizvedeni bakrenac u fleš peći sa 60 %-65 % Cu se u procesu konvertorovanja u Pierce-Smith konvertorima prevodi u blister baker sa 98 % Cu dok šljaka koja se izdvaja u procesu topljenja ima 6 % bakra. Konvertor prilikom rada na šljaku trošiće 33000 Nm<sup>3</sup>/h vazduha sa 26 % O<sub>2</sub>, odnosno pri radu na bakar 36000 Nm<sup>3</sup>/h vazduha sa 22,5 % kiseonika. Gasovi koji se izdvajaju u toku ovog procesa sadrže 5,5 %-5,6 % SO<sub>2</sub> kada konvertor radi na šljaku i 7,1 %-7,2 % SO<sub>2</sub> kada radi na bakar. Gasovi se skupljaju u dimohvataču, hlade u rashladnoj komori i šalju dalje u fabriku sumporne kiseline. Ovi gasovi se mešaju sa gasovima iz fleš peći i u fabriku sumporne kiseline odlaze sa 12 %-13 % sumpor-dioksida. Vreme trajanja jedne konvertorske operacije je na ovaj način skraćeno sa 12 h na 9 h zbog većeg sadržaja bakra u bakrencu (sa standardnom tehnologijom je bio 38 %-40 % Cu a sada

je 60 %-65 % bakra). U procesu konvertorovanja u radu će biti dva konvertora koji će proizvoditi 330 t-360 t blister bakra dnevno, a od toga na anodnu rafinaciju će ići 240-260 tona blistera (98,3 % bakra) ili 120-130 tona po operaciji jednog konvertora.

Gasovi iz procesa konvertorovanja prolaze kroz rashladnu komoru koja se hladi vodom i tom prilikom dolazi do stvaranja čestica prašine koje se skupljaju na dnu iste. Na taj način se snižava ulazna temperature gasa sa 500 °C-700 °C na 350 °C. Čestice prašine se uz pomoć pneumatskog transportera transportuju u bunker prašine kod fleš peći. Otprašeni gasovi iz fleš peći i konvertora se mešaju a onda idu na dalju preradu u fabriku sumporne kiseline. Tehnički pokazatelji rada za jednu konvertorsku operaciju su:[67]

količina bakrenca (62 % Cu), t	140
količina hladnog materijala-rad na "šljaku", t	30-35
potrošnja kvarca, t	11-12
količina bakarnog skrapa-rad na "bakar", t	30-35
potrošnja vazduha-rad na šljaku, Nm <sup>3</sup> /h	33000
potrošnja vazduha-rad na bakar, Nm <sup>3</sup> /h	36000
blister bakar, t	127
sadržaj bakra u blister bakru, %	97-98,5
sadržaj bakra u konvertorskoj šljaci, %	6

## 10. Anodna rafinacija i livenje

Dobijeni blister bakar se dalje rafiniše u anodnoj peći tako što se prvo radi oksidacija a nakon toga redukcija gasnim reducentom. Šljaka iz anodne peći koja sadrži 30 %-50 % Cu se vraća u proces konvertorovanja. Livenje anodnog bakra se vrši u bakarnim kalupima koji se hlade vodom. U radu će biti dve anodne peći i proizvodnja anodnog bakra dnevno će iznositi 220-250 tona. Tehnički pokazatelji rada za jednu operaciju na anodnoj rafinaciji su:[67]

anodni bakar, t	110-125
sadržaj bakra u anodnom bakru, % Cu	99,60-99,70
šljaka iz anodne peći, t	2-2,5
sadržaj bakra u šljaci, % Cu	30-50

## **IX. EKOLOŠKE POSLEDICE U PROIZVODNJI BAKRA U BORU**

Stogodišnje rudarenje i proizvodnja bakra u Boru za sobom su ostavili zagađeni vazduh, beživotne reke, oštećeno i uništeno poljoprivredno zemljište, i preko 11 t otpada po stanovniku borske opštine.[69] Na jalovištu rudnika bakra Veliki Krivelj koncentrisane su naslage jalovine od oko 200 miliona tona i pucanjem brane ili kolektora došlo bi do zagađenja reka, a žitka masa bi preko reka Timoka a potom Dunava došla sve do Crnog mora. Veliki ekološki problemi su se nagomilavali tokom decenija a rizici od ekoloških akcidenata su postajali sve veći tako da su u jednom trenutku mogli da ugroze zapadni i centralni Balkan, Dunav i Crno more.

### **1. Aerozagađenje**

Izvori zagađenja vazduha u Boru čine sledeće proizvodne celine:

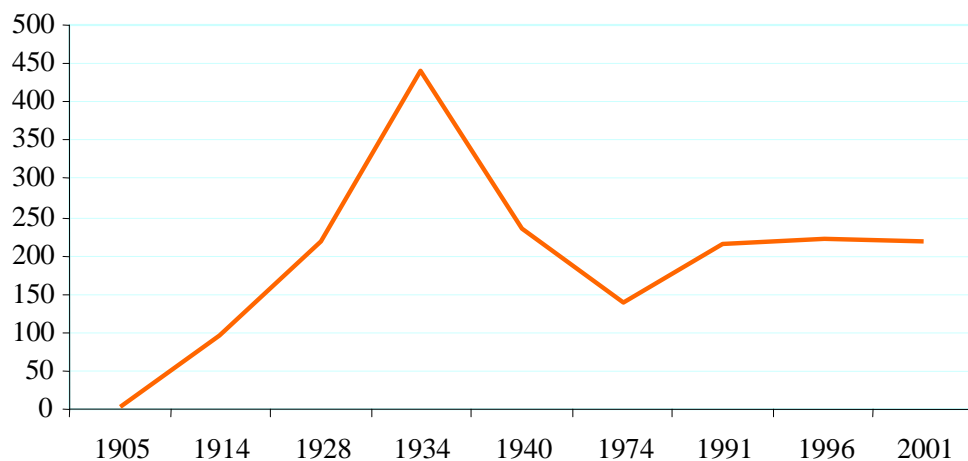
- metalurgija: topionica (sumpordioksid, prašina sa visokim sadržajem arsena i teških metala),
- rudarstvo: jama rudnika bakra, površinski kopovi bakra, krečnjaka i kvarca (mineralna prašina, gasovi miniranja), odlagališta raskrivke i flotacijska jalovišta (prašina),
- energetske objekti: energana (prašina, čađ i ugljen dioksid).



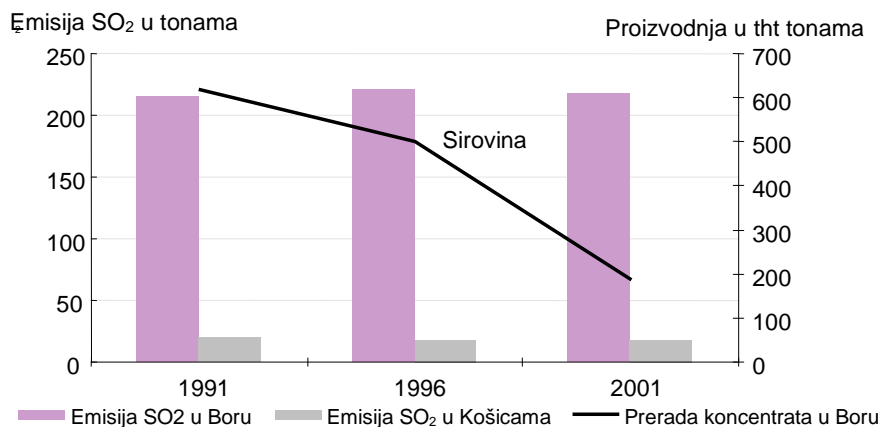
## 1.1. Topionica

Aerozagadenje predstavlja najteži problem po količini emisija i širini prostora koji obuhvata svojim štetnim delovanjem. Gasovima se iz metalurških procesa prženja, topljenja i konvertorovanja prosečno ponese na oko 325000 t SO<sub>2</sub>, 700 t As, 217 t Pb, 1075 t Zn, 700 t NO<sub>x</sub> i 1,3 t Hg na godišnjem nivou. Ovi gasovi sadrže i znatne količine teških i toksičnih metala Cd, Co, Be, Cr, Sb, Sn, Cu, Ni, Se, Mn i dr.[70] Navedeni metali su sadržani u finim frakcijama prašine ili se kondenzuju iz gasne faze na temperaturama ispod 400 °C (radne temperature uređaja za otprašivanje-elektrofiltera su od 180 °C-300 °C). Na taj način nastaju dimovi, aerosoli navedenih metalnih jedinjenja i njihovi sulfidi, oksidi i sulfati i pri tom dolazi do kondenzacije volatilnih metala (As, Se, Hg) i njihovih sulfida, oksida i sulfata, magle sumporne kiseline i gasnih nečistoća (SO<sub>3</sub>, HCl, HF). Čestice nastale kondenzacijom su submikronske veličine. Iz dela metalurških gasova koji se uvedu u fabrike sumporne kiseline, SO<sub>2</sub> se prevodi u kisele otpadne vode. Na sl. 18 je data dinamika kretanja emisije SO<sub>2</sub> u periodu od 1905. do 2001. godine.

Svake godine u periodu od 1991. do 2001. god. emitovano je preko 200000 tona SO<sub>2</sub>, odnosno preko 3,5 tona po stanovniku opštine Bor. Ostatak metalurških gasova sa svim navedenim zagađivačima ispušta se na topioničke dimnjake i kao emisije disperguju se na bližu i dalju okolinu. Koliki je značaj ove emisije pokazuju i podaci za Košice gde se u istom periodu emitovalo oko 80 kilograma SO<sub>2</sub> po stanovniku godišnje. S obzirom da je u periodu 1991-2001. došlo do smanjenja prerade koncentrata bakra u topionici emisija SO<sub>2</sub> je konstantna i veća jedanest puta u odnosu na istu u Košicama, metalurškom centru za proizvodnju čelika u Slovačkoj (sl. 19).[69] Iz borske topionice kada radi punim kapacitetom tj. prerađuje 500000 tona koncentrata na godišnjem nivou osim SO<sub>2</sub> emituje se u atmosferu oko 383 t arsena, 185 t olova i 976 t cinka.

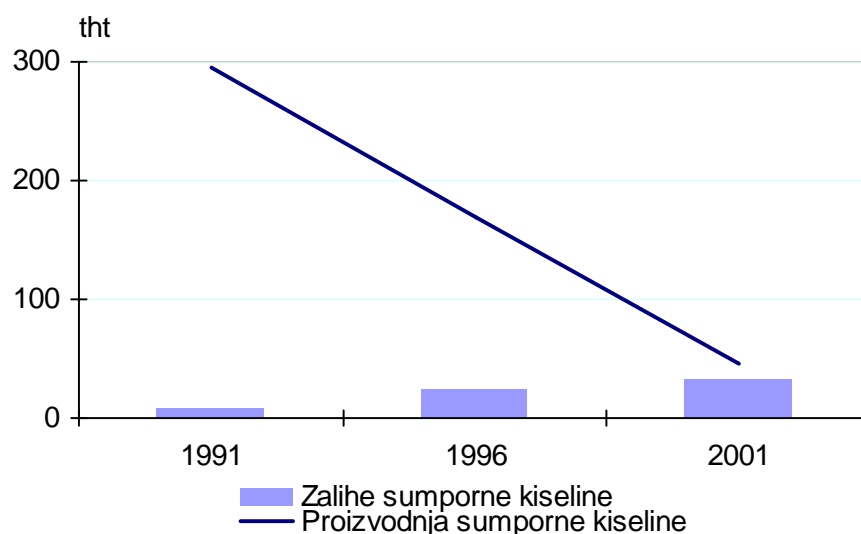


Sl. 18. Dinamika kretanja emisije sumpordioksida u periodu 1905-2001. godine



Sl. 19. Uporedni prikaz dinamike kretanja emisije SO<sub>2</sub> u Boru i Košicama u tonama na u periodu 1991-2001. godine

U periodu od 1991. do 2001. godine, proizvodnja sumporne kiseline je opala 6,4 puta a njene zalihe na skladištu su porasle 4 puta. Zbog punog skladišta fabrike sumporne kiseline nisu radile više od 9 meseci (sl. 20). U periodu od 1991. do 2001. godine prerada koncentrata bakra opala je više od tri puta, a proizvodnja sumporne kiseline više od šest puta, ali emisija SO<sub>2</sub> je ostala konstantna i pored pada proizvodnje.



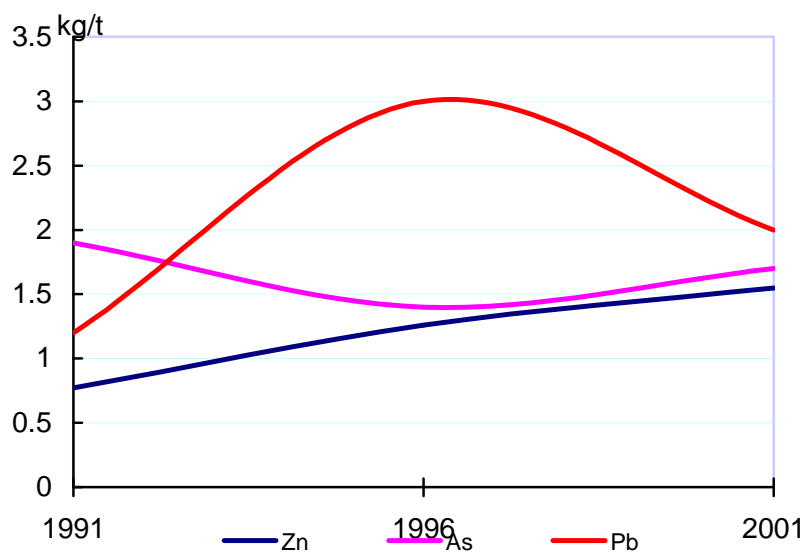
Sl. 20. Usporedni prikaz dinamike kretanja proizvodnje i zaliha sumporne kiseline u periodu 1991-2001. godine

Također, osim  $\text{SO}_2$  iz topionice se emituje prašina sa visokim sadržajem arsena i teških metala. Količina emitovane prašine iznosi 1000 t/god-1300 t/god. pri čemu se po svakoj toni prerađenih sirovina emituje oko 2,25 kg prašine. Svake godine u periodu 1991-2001. godine emitovano je po stanovniku 5,3 kg do 19,6 kg arsena, 4,9 kg do 8 kg cinka i 6,3 kg do 25,1 kg olova.[69]

Emisije metala (Zn, As i Pb) po toni prerađenih sirovina zavise od obima proizvodnje i sadržaja ovih metala u sirovinama. Emisije arsena i cinka po toni prerađenih sirovina su rasle zbog većeg sadržaja istih u ulaznim sirovinama u topionici (sl. 21).

Granične vrednosti emisije  $\text{SO}_2$  i praškastih materija za postrojenja za dobijanje obojenih metala iznose  $1200 \text{ mg/m}^3$ , odnosno 20 miligramima po kubnom metru.[71,72]

U 2004. godini koncentracija  $\text{SO}_2$  je prelazila graničnu vrednost emisije od  $150 \mu\text{g/m}^3$  na dva merna mesta: 67 puta na lokaciji gradski park koja je udaljena 500 m od



Sl. 21. Dinamika kretanja emisije metala (Zn, As i Pb) u kg/t sirovina

topionice i 84 puta na lokaciji Elektroistok-Jugopetrol. Maksimalno prekoračena vrednost je iznosila  $1508 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tj. ista je bila uvećana 10 puta. U ovom periodu je koncentracija taložnih materija samo tri puta u toku godine prelazila graničnu vrednost koja iznosi 50 mikrograma po kubnom metru. U tom periodu godišnja proizvodnja katodnog bakra je bila najmanja i iznosila je svega 12000 tona.[72]

U 2005. godini osim prekoračenja granične vrednosti za  $\text{SO}_2$  na svim mernim mestima bilo je evidentno i prekoračenje granične vrednosti emisije za As u suspendovanim česticama (8 meseci u 2005. godini). Prekoračenje granične vrednosti emisije za Ni je zabeleženo samo jednom u periodu i to početkom decembra.

Tokom 2009. godine iz metalurških postrojenja topionice je u vazduh emitovano 30325 tona  $\text{SO}_2$  i 1081 tona prašine, a ukupna količina  $\text{SO}_2$  emitovana iz fabrike sumporne kiseline za 149 radnih dana u 2009. godini je iznosila 751 tona. Granične vrednosti za  $\text{SO}_2$  su 137 dana bile iznad dozvoljene granice.[72]

Fabrike sumporne kiseline emituju u manjoj količini  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  i maglu sumporne kiseline, stim da su ove emisije u odnosu na topionicu zanemarljive.

## 1.2. Rudarstvo

Uzroci velike emisije prašine u rudarstvu su:

- primenjene tehnologije podizanja brana flotacijskih jalovišta,
- nesprovođenje mera rekultivacije brana flotacijskih jalovišta.

Odlagališta jalovine sa površinskih kopova i flotacijska jalovišta su najveći izvori mineralne prašine, posebno u sušnim periodima godine. Sa brana flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj podiže se od 1,1 kg do 45,3 kg prašine u sekundi pri čemu je njen domet do 4,5 kilometara. Indeks emisije, odnosno količine emitovane prašine po stanovniku godišnje u selu Oštrelj iznosi 1789 kg, dok je u selu Veliki Krivelj znatno manje i iznosi 22,5 kilograma.[69]

Takođe, i miniranja predstavljaju jedan od izvora emisije gasova i prašine u rudarstvu. Zapremina oblaka prašine koji nastaju miniranjem na površinskim kopovima može biti i nekoliko miliona kubnih metara a domet i do više desetina kilometara, što svakako predstavlja i regionalni problem.

## 1.3. Energana

Energana, drugi po veličini izvor emisija sa gasnom fazom prosečno godišnje emituje 1760 t SO<sub>2</sub>, 530 t NO<sub>x</sub> i 500 t-800 t pepela. Sa pepelom se po sezoni emituje oko 1 t arsena, 0,08 t olova, 0,25 t nikla, 0,025 t vanadijuma, 0,45 t mangana i oko 0,002 t kobalta.[70] Emisija pojedinih zagađivača u poređenju sa istim iz metalurških gasova je neznatna (0,05 % - 0,3 %) kao i emisija SO<sub>2</sub> koja iznosi manje od 1 procenta. Ove emisije se u poređenju sa emisijama iz topionice mogu zanemariti.

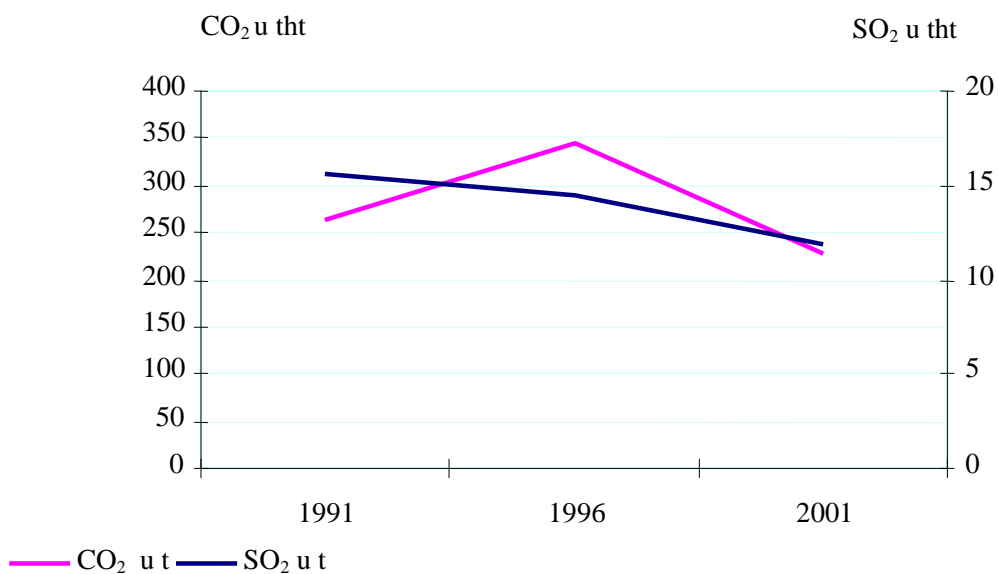
Energetika je izvor prašine, ugljenikovih i sumporovih oksida. Kao gorivo koriste se ugljevi različitog kvaliteta i sastava. Otpadni gasovi iz pogona energane RTB -a Bor i javnog preduzeća toplana se otprašuju multiciklonima. Sredinom devedesetih godina

izgrađen je kotao koji koristi mazut ili prirodni gas u cilju zamene starih kotlova i smanjenja emisije otpadnih gasova. Ovaj kotao gotovo da nije ni radio jer nije bilo mazuta zbog sankcija koje su bile na snazi dok gasovod za dovod prirodnog gasa do Bora nije izgrađen jer nije bilo novčanih sredstava. Osim toga, nisu primenjeni sistemi za smanjenje emisije sumpordioksida i ugljenikovih oksida.[70] Velike emisije prašine iz energetskih postrojenja povećavaju zagađenje vazduha u zimskom periodu i to je najizraženije u starom delu grada koji je naročito ugrožen emisijama iz metalurško-hemijskog kompleksa.

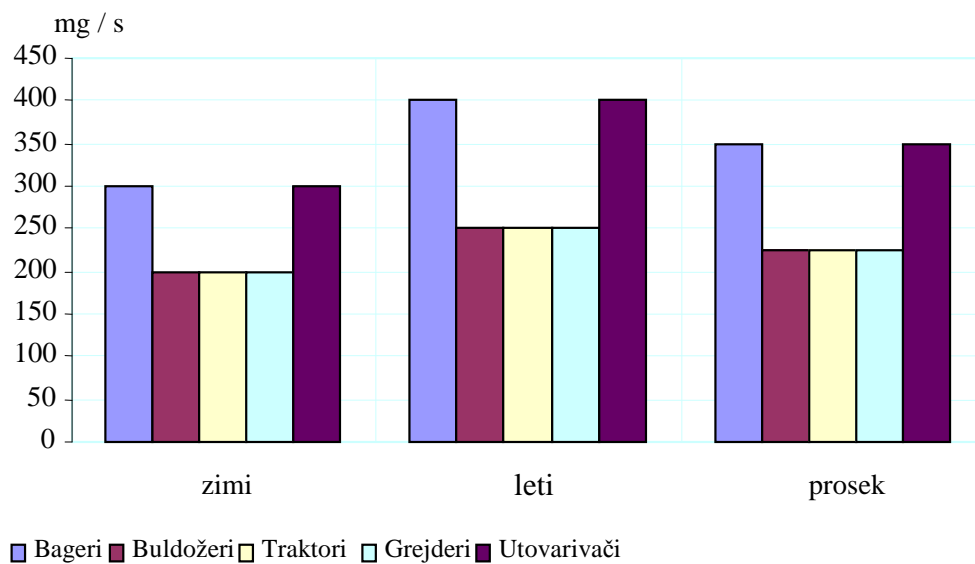
Emisije iz energetike se mogu smanjiti uvođenjem monitoringa proizvodnje i potrošnje energije a realizacija ovih projekata omogućuje:

- racionalno gazdovanje energijom,
- smanjenje zagađenja životne sredine,
- razvoj projekata proizvodnje opreme za korišćenje alternativnih izvora energije.

Na sl. 22 je dat prikaz dinamike kretanja emisije gasova iz energetike u periodu 1991-2001. godine, a na sl. 23 dinamika stvaranja emisije prašine iz rudarstva u zavisnosti od godišnjeg doba.

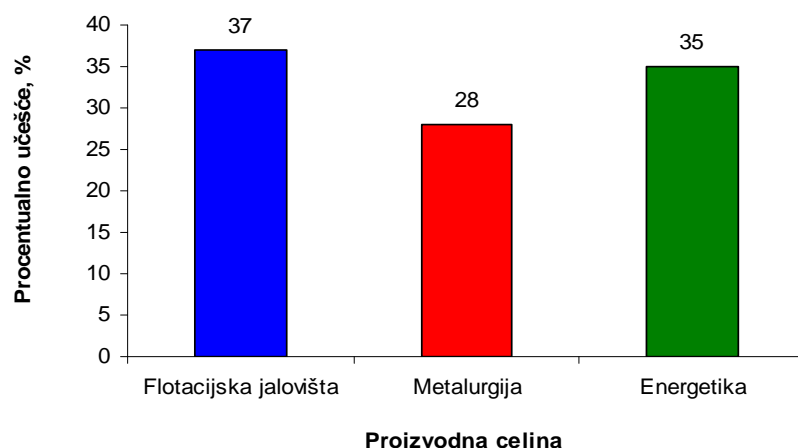


Sl. 22. Dinamika kretanja emisije gasova iz energetike u periodu 1991-2001. godine



Sl. 23. Dinamika stvaranja emisije prašine iz rudarstva u zavisnosti od godišnjeg doba u miligramima po sekundi

S obzirom da je stanje aerozagađenja u Boru neodrživo jedino rešenje ovog problema je modernizacija topionice i izgradnja nove fabrike sumporne kiseline. Na taj način bi se emisija sumpor dioksida i čvrstih čestica prašine (koje sadrže arsen i druge teške metale) smanjila na dozvoljeni nivo. Na sl. 24 je učešće pojedinih proizvodnih celina u emisiji prašine.



Sl. 24. Procentualni udeo pojedinih delatnosti u emisiji prašine

#### 1.4. Monitoring kvaliteta vazduha

Monitoring kvaliteta vazduha u Boru čini sistem za praćenje koncentracija  $SO_2$  u vazduhu, lebdećih čestica i taložnih materija, više od 30 godina. Merenja  $SO_2$  i lebdećih čestica se obavljaju na tri merna mesta u gradu koja su određena u skladu sa zakonom i standardima. Ona omogućuju praćenje prosečnih dnevnih, a ne trenutnih koncentracija sumpordioksida što ne pruža mogućnost preduzimanja interventnih mera u akcidentnim uslovima zagađenja.

U periodu od 2002-2003. godine UNEP/UNOPS je realizovao program poboljšanja monitoring sistema kvaliteta vazduha. Nabavljena je oprema za kontrolu sumpordioksida i lebdeće prašine.[69] Formiran je tim za upravljanje monitoringom koji čine eksperti stručnih institucija, lokalne vlasti, LEAP tima i relevantne nevladine organizacije. Uloga tima je bila da uspostavi funkcionisanje monitoring sistema, prati rezultate i tumači

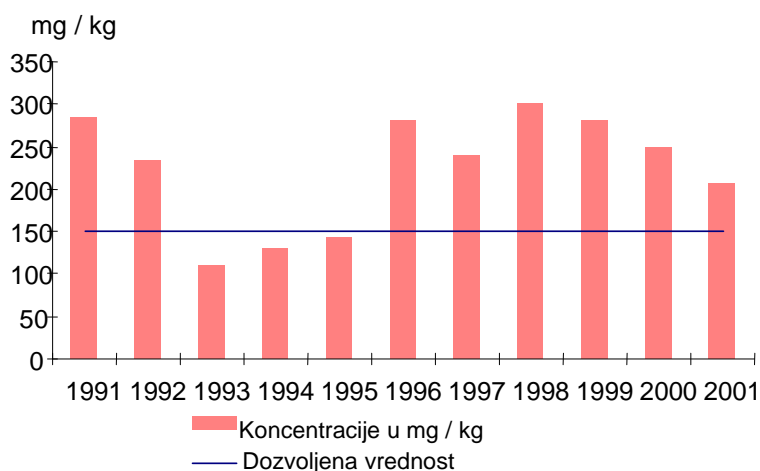


njihovu vezu sa emisijama, procenjuje uticaj na zdravlje ljudi, preduzima mere za smanjenje zagađenosti i sprečavanje akcidentnog zagađenja i o tome obaveštava javnost.

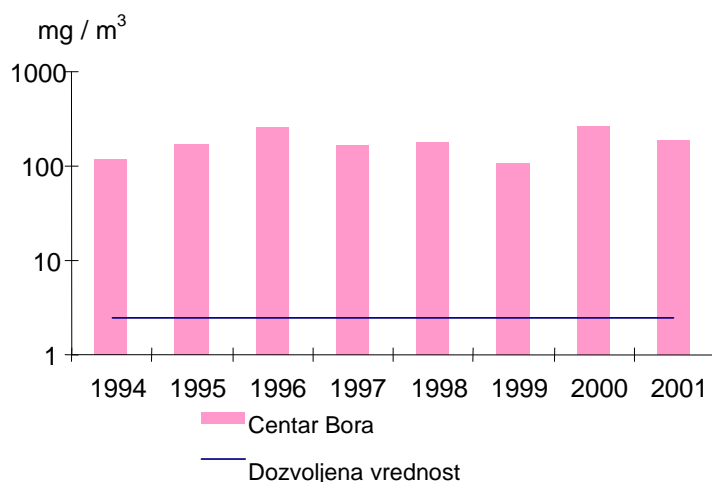
Koncentracije sumpordioksida su često i više od deset puta veće od dozvoljenih nacionalnim propisima ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za 24 h) i standardima svetske zdravstvene organizacije-WHO ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za 24 h). U centru grada prosečne dnevne koncentracije sumpordioksida bile su 88 do 226 dana iznad dozvoljenih vrednosti. Prosečne godišnje koncentracije  $\text{SO}_2$  su bile stalno iznad dozvoljenih granica u periodu od 1996. do 2001. godine. Koncentracije  $\text{SO}_2$  iznad dozvoljenih granica registrovane su na udaljenosti i do 12 km od izvora emisije (sl. 25).[69]

Takođe, stalno su bile povećane i koncentracije arsena u lebdećoj prašini od 10-100 puta (dozvoljena koncentracija po domaćim propisima je  $2,5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). Prosečne godišnje koncentracije arsena u lebdećim česticama u starom delu grada veće su 70 do 100 puta od dozvoljenih vrednosti po nacionalnim propisima i preporukama svetske zdravstvene organizacije (sl. 26).

Upravo iz ovih razloga u 2011. godini Topionica i rafinacija bakra u Boru je kupila softver kanadske firme "Senes" uz pomoć kojeg se dobijaju vremenski podaci za tri dana unapred što svakako omogućava preventivno delovanje kod topioničkih agregata u cilju smanjenja aerozagađenja. U ovom programu postoje dve glavne komponente a to su vreme i zagađenje vazduha. Program omogućava predviđanje pravca i brzine vetra nasuprot posmatranju pojavljivanja različitih uprosečenih perioda. Ceo sistem je napravljen sa kartografskim prikazima i konačni rezultati se šalju korisniku na određenu veb stranu. Sistem radi 24 h na posebno određenom računaru sa rezervnom kopijom podataka, a takođe postoje i alternative za izbor drugog internet provajdera u slučaju prekida rada provajdera koji se koristi u tom trenutku.



Sl. 25. Dinamika kretanja prosečnih koncentracija SO<sub>2</sub> u centru Bora po godinama[69]



Sl. 26. Dinamika kretanja prosečnih koncentracija arsena u centru Bora po godinama[69]

## 2. Stanje zemljišta

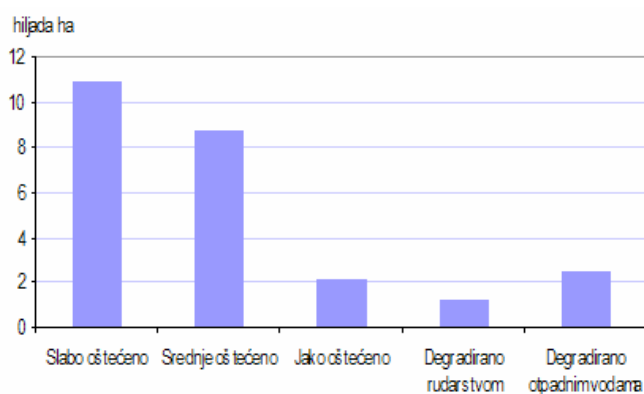
Zemljište predstavlja jedan od najvažnijih prirodnih resursa. Plodno zemljište se sporo obrazuje, a u procesu destrukcije veoma brzo nestaje. Degradacija poljoprivrednog zemljišta otpočela je otvaranjem površinskog kopa u Boru. Otvaranjem rudnika u Krivelju povećava se obim uništenog i oštećenog poljoprivrednog zemljišta. Topljenje rude bakra na otvorenom prostoru dovelo je do visokih koncentracija SO<sub>2</sub> koje su uništile biljni svet u

krugu od nekoliko kilometara. Izgradnja novih metalurških kapaciteta sa sve višim dimnjacima, širila je prostor oštećenog zemljišta. Izlivanje flotacijske jalovine u korito Borske reke uništilo je najplodnije zemljište u njenom priobalju i u dolini Velikog Timoka.

Izvori i uzroci zagađenja su:

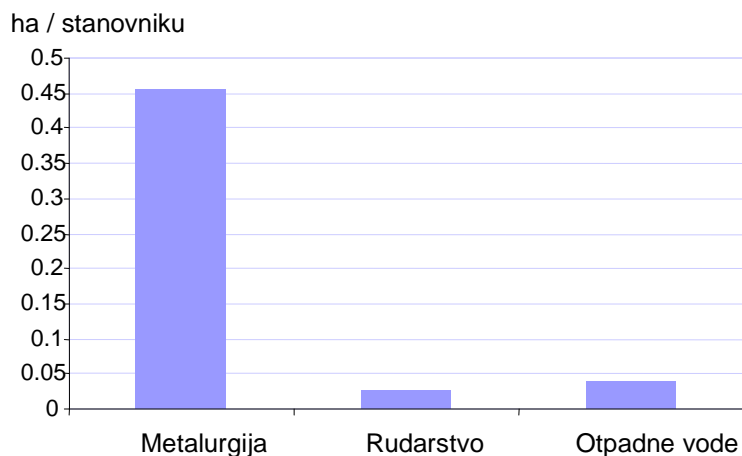
- rudarstvo-fizička degradacija terena, formiranje deponija raskrivki i flotacijskih jalovina, izlivanje otpadnih voda,
- metalurgija-otpadni gasovi sa visokim sadržajem SO<sub>2</sub>, As i teških metala.

Površine oštećenog i za poljoprivredu degradiranog zemljišta, procenjuju se na preko 25500 ha, što iznosi 60,6 % od ukupnog poljoprivrednog zemljišta, odnosno na svaki hektar poljoprivrednog zemljišta oštećeno je 60,6 ari (sl. 27).[69]



Sl. 27. Površine degradiranog i oštećenog zemljišta[69]

Rudarenjem je degradirano poljoprivredno zemljište Bora kao i okolnih sela: Slatine, Oštrelja, Krivelja, Bučja i Donje Bele Reke. Uništeno je 1198 ha, odnosno 0,02 ha/stanovniku. Ispuštanjem otpadnih voda iz flotacija i sa jalovišta potpuno je uništeno zemljište Slatine, Rgotine, Vražogrncu i brojnih sela u dolini Velikog Timoka i na taj način uništeno 2500 ha, odnosno 0,4 hektara po stanovniku (sl. 28). Otpadnim gasovima iz topionice, u većoj ili manjoj meri, oštećena su zemljišta gotovo svih sela borske opštine što ukupno iznosi 21905 hektara. Najveće površine oštećenih poljoprivrednih zemljišta su posledica emisije SO<sub>2</sub> iz metalurških pogona, zatim akcidentnog izlivanja flotacijske jalovine u Borsku reku, a najmanje fizičkom degradacijom terena rudarenjem.



Sl. 28. Površine oštećenog poljoprivrednog zemljišta po stanovniku[69]

Sadašnje i buduće emisije sumpordioksida pogoršavaju stanje oštećenog zemljišta pri čemu je sanacija izvora zagađenja prioritet za zaštitu i rekultivaciju zemljišta. Zaustavljanje isticanja flotacijske jalovine kroz oštećeni kolektor koji prolazi ispod starog flotacijskog jalovišta u Boru i sanacija oštećenog kolektora ispod jalovišta Veliki Krivelj je od velikog značaja za zaštitu zemljišta u priobalju Borske i Kriveljske reke i Velikog Timoka.

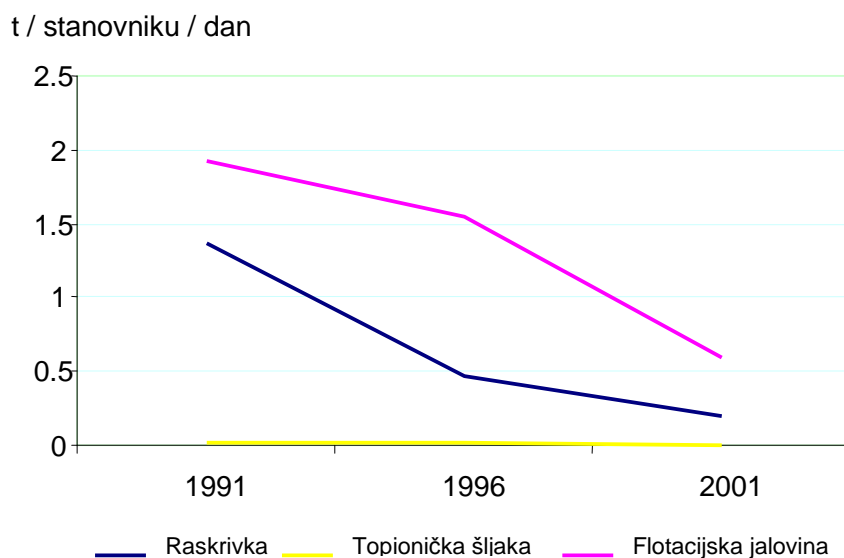
Na osnovu sadržaja teških metala u zemljištu može se proceniti nivo njegove zagađenosti. Po domaćim propisima, dozvoljen sadržaj bakra je 100 mg/kg a arsena 25 miligrama po kilogramu. Sadržaj bakra i arsena u zemljištu ukazuje na potrebu hitne sanacije izvora emisije sumpordioksida, arsena i teških metala, odnosno modernizaciju i rekonstrukciju metalurško-hemijskog kompleksa.

Indeks nastajanje otpada pokazuje količine stvorenog otpada po toni proizvedenog bakra. Na osnovu njega se može zaključiti kolika je količina otpada koji nastaje po pojedinim tehnološkim celinama u rudarstvu i metalurgiji. Za dobijanje jedne tone katodnog bakra potrebno je iskopati 320 t-450 t rude i ukloniti 224 t-315 t raskrivke.

Preradom rude nastaje 315 t-444 t flotacijske jalovine, a metalurškom preradom 4,2 t-4,9 t šljake.[69]

### 3. Nastajanje otpada

Količina otpada koja nastaje, prvenstveno zavisi od obima eksploatacije rudnih ležišta i kapaciteta kojim rade metalurški agregati. Indeks nastajanja čvrstog otpada pokazuje količine raskrivke, flotacijske jalovine i topioničke šljake koja nastaje po stanovniku svakodnevno. Svakog dana tokom 1991. god. nastajalo je rudarenjem 3,3 t otpada po stanovniku. Zbog smanjenja obima proizvodnje u 2001. godini ta količina je opala na 0,8 t po stanovniku (sl. 29).



Sl. 29. Indeks nastajanja čvrstog otpada u t/stanovniku na dan po godinama[69]

Količina opasnog otpada koja nastaje svakodnevno se smanjivala od 1991. do 2001. godine zbog smanjenja obima proizvodnje u rudarstvu. U tom periodu nije rađena raskrivka površinskih kopova zbog nedostatka nafte i rezervnih delova za rudarsku opremu jer su na snazi bile sankcije. To dovodi do neplanske eksploatacije rude sa površinskih

kopova, produbljivanja istih i odlaganja raskrivke na lokacijama koje su blizu kopova.

Neplansko produbljivanje kopova i odlaganja jalovine dovelo je do:

- smanjenja obima rudarske proizvodnje,
- nepripremanja kopova za buduću eksploataciju,
- pada ekonomičnosti rudarstva,
- nedostatka sredstava za potrebe zaštite životne sredine,
- zastoja u realizaciji strateških projekata zaštite životne sredine.

U opasan otpad spada i topionička šljaka koja je stabilna (čvrsta) i veoma se sporo rastvara pod dejstvom atmosferskih padavina. Odložena je neposredno pored topionice i udaljena je od rečnih tokova.

Čvrsta faza šljake plamenih peći predstavlja deponent brojnih zagađivača, kao što su: As, Pb, Zn, Co, Cr, Cu, Mn i drugi. Godišnji priliv šljaka na deponiju iznosi prosečno 400000 tona. Ukupna količina do sada deponovane metalurške šljake iznosi 23 miliona tona. Deponovana šljaka sadrži oko 40000 t As, 160000 t Cu, 160000 t Zn, 30000 t Pb, 5700 t Mn, 6500 t Sb, 4000 t Sn, 1400 t Cr, 700 t Co, 2300 t Ni i drugi.[70] Šljaka se deponuje skoro čitav vek, a smeštena je na površini od 60 hektara, na delu površinskog kopa u Boru, bliže topionici. Kinetika hemijske degradacije metalurških šljaka je složena i pretpostavka je da je to spor proces, s obzirom na temperaturu i limitirane uslove prodiranja vode i vazduha ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ) u dublje slojeve deponovane šljake.

## **4. Otpadne vode iz metalurških postrojenja i rudarskog dela**

Otpadne vode nose značajan udeo zagađivača, preraspodelom ulaznih količina istih iz koncentrata bakra, topitelja i energenata. Otpadne vode iz fabrike sumporne kiseline sadrže deo zagađivača iz gasne faze, izdvojenih u procesu naknadnog pranja i prečišćavanja gasne struje od zaostalih prašina i drugih gasnih nečistoća. Godišnja količina otpadnih voda iznosi  $80000\text{ m}^3$ - $140000\text{ m}^3$  i ista sadrži oko 500 t  $H_2SO_4$ , 100 t Cu, 320 t As, 30 t Pb, 100 t

Zn, oko 1 t Hg i značajne količine teških i toksičnih metala: Cd, Sb, Mo, Ti, Fe, Sn, Bi i drugi.[70]

Drugi deo otpadnih kiselih voda emituje pogon elektrolitičke rafinacije bakra 21000 m<sup>3</sup>-40000 m<sup>3</sup> na godišnjem nivou koje pored sumporne kiseline sadrže i najveći deo nečistoća koje su raspodelom iz ulaznog koncentrata bakra unete sa anodnim bakrom. Posle izdvajanja bakra, selena, plemenitih i platinastih metala (Au, Ag, Pt i Pd) zaostaju zagađivači na godišnjem nivou kao što su: As-21 t, Pb-12 t, Zn-1,25 t kao i značajne količine teških metala: Ni, Bi, Sb, Fe, Sn, Ba, Te, Co i dr. Otpadne vode iz pogona elektrolize nose i oko 5000 t H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> godišnje.

I pored delimičnog prečišćavanja otpadnih voda, parcijalnog tretmana preko pogona cementacije, najveći deo navedenih zagađivača se ispušta u vodotok Borske reke, a preko nje u Timok i Dunav.

U delu stanja zagađenosti voda i vodotokova, najznačajnije posledice rudarenja su na Kriveljsku i Borsku reku, koja je biološki gotovo potpuno opustošena, sa značajnim koncentracijama teških metala. Takođe je veliki i problem višedecenijskog trošenja pitke vode za potrebe industrijske proizvodnje (snabdevanje RTB Bor iz Borskog jezera), čime je smanjena izdašnost postojećih prirodnih izvorišta vode.[69] Merenja i analize voda rečnih tokova u prostoru rudarskih aktivnosti pokazuju u njima visoke sadržaje teških i toksičnih metala kao što su: Cu, As, Pb, Zn, Cd, Fe, Ni, Mn, Hg i drugi.

O kvalitetu otpadnih voda, dovoljno je reći da ne zadovoljavaju norme i da su toliko degradirane da se ne mogu klasifikovati ni u jednu od IV klase. Uticaj zagađenja iz Borske i Kriveljske reke dostiže do Dunava. Zagađenja ovih površinskih vodotokova su brojna, od suspendovanih materija (137 mg/l do 1570 mg/l) preko amonijuma (10 mg/l), do teških metala koji prevazilaze granične vrednosti za III i IV klasu voda i do 150 puta (sadržaj Cu 15 mg/l a dozvoljeno 0,1 mg/l).[72]

Zaključak o stanju površinskih otpadnih voda je vrlo nepovoljan i veliko je pitanje kako će se rešavati u budućnosti, jer se planiraju sanacije kolektora Kriveljske reke i rekultivacija starih jalovišta i odlagališta otkrivke, a za tretman otpadnih voda sa flotacijskih jalovišta potrebni su takođe ozbiljni radovi i velika finansijska ulaganja.

## **X. UPOREDNA ANALIZA EKOLOŠKOG STANJA POSTOJEĆE “STANDARDNE“ SA NOVOM TEHOLOGIJOM**

### **1. Trenutno stanje**

Dosadašnjim rudarenjem i metalurgijom na teritoriji opštine Bor deponovano je:

- 450 miliona tona raskrivke,
- 207 miliona tona flotacijske jalovine,
- 23 miliona tona topioničke šljake.

Ovaj otpad predstavlja 99,95 % ukupno deponovanog otpada na teritoriji opštine Bor. Po svakom stanovniku Borske opštine deponovano je po 11333 t raskrivke i jalovine. Raskrivka se odlaže neposredno pored površinskih kopova bez primene odgovarajućih mera zaštite. Flotacijska jalovina se odlaže u jalovištima u dolinama reka i potoka. Krajem devedesetih godina dvadesetog veka izgrađen je sistem transportnih traka kojim se raskrivka sa površinskog kopa Veliki Krivelj doprema i odlaže u napušteni površinski kop u Boru. Time se postiže sledeće:[69]

- prestaje zauzimanje novih površina poljoprivrednog zemljišta u Krivelju,
- sanira stari kop u Boru i klizište po njegovim obodima koje ugrožava delove grada,
- smanjenje emisije prašina i zagađenje vazduha,
- smanjenje zagađenja podzemnih i površinskih voda procesima prirodnog luženja jer se kop nalazi iznad jamskih prostorija. Vode od luženja dospevaju u jamu odakle se ispumpavaju i idu dalje na proces prečišćavanja cementacijom.



Učešće površina odlagališta i jalovišta pokazuje procentualno učešće ovih površina u ukupnim prostorima uništenim rudarenjem. Na osnovu toga zaključujemo da je u Boru preko 68 % ukupnih rudarskih površina uništeno odlagalištima i jalovištima, u Cerovu više od 54 %, a u Velikom Krivelju oko 35 procenata.

Ispod starog jalovišta u Boru nalazi se kolektor gradskih otpadnih voda koji je 50.-ih god. 20.-og veka oštećen i kroz isti je otekla jalovina koja je uništila priobalje Borske reke i Velikog Timoka. Ispod flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj protiče Kriveljska reka. Njen kolektor je takođe oštećen što može prouzrokovati veliku ekološku katastrofu. Usled prirodnog luženja raskrivke, zagađene su površinske i podzemne vode i okolno poljoprivredno zemljište. Treba imati u vidu da raskrivka i flotacijska jalovina sadrže značajne količine bakra tako da postoji ideja za njihovu reciklažu.

U Boru se nalazi i staro flotacijsko jalovište koje se više ne koristi. Rekultivisane su kosine njegovih brana, ali nije rekultivasana horizontalna površina i ista je veliki izvor prašine. Jalovina iz flotacije u Boru odlaže se u prostor napuštenog površinskog kopa. Bilo je planirano da jalovište bude do visine okolnog terena, ali nedostatak sredstava za nove investicije doveo je do podizanja brana iznad terena. Ove brane postaju sve veći izvor prašine koja ugrožava grad, jer se one nalaze u njegovoj neposrednoj blizini.

Propisno skladiranje flotacijske jalovine je problem sa kojim će se lokalna zajednica i dalje suočavati a za to je potrebno da se pripremi tehnička dokumentacija za dugoročno, bezbedno i propisno skladiranje jalovine na lokaciji sadašnjeg flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj.

## **2. Uticaj postojećih postrojenja na životnu sredinu i mere za smanjenje štetnih uticaja**

Kao najveći problem uticaja na životnu sredinu postojećih postrojenja, pojavljuje se topionica i emisija SO<sub>2</sub> što za posledicu ima zagađenje ambijentalnog vazduha u Boru i

okolini, do nepodnošljivih razmera. To je i osnovni razlog zbog čega je doneta odluka o investiranju u modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline, koja će oko 98 % ukupno nastalog sumpor dioksida, konvertovati u sumpornu kiselinu.[72]

Sledeći problem po značaju je emisija čvrstih čestica i to kako iz dimnjaka topionice tako i sa velikih površina flotacijskih jalovišta i deponija otkrivke. U emitovanim čvrstim česticama ima teških metala kao što su: As, Pb, Sb, Cu, Bi i drugi. Rešenja se najavljuje kroz sledeće programe:

- modernizacija topionice sa sušarom i fleš peći i izgradnja nove fabrike sumporne kiseline čime će se značajno smanjiti emisija SO<sub>2</sub> i teških metala kroz dimnjake topionice i fabrike sumporne kiseline i dovesti na nivo propisanih koncentracija svetskim standardima,
- rekultivacija starih jalovišta i odlagališta otkrivke, čime će se smanjiti emisija prašine dejstvom vetra (erozijom), sa velikih površina deponovane flotacijske jalovine,
- sanacija kolektora Kriveljske reke i smanjenje rizika da se usled popuštanja kolektora, izlije jalovina iz jalovišta flotacije "Veliki Krivelj".[72] Projekat izgradnje još jednog kraka kolektora Kriveljske jalovišta vredan je više od 10 miliona evra, a finansiraće ga Svetska banka. Reč je o izgradnji rudarskog tunela dužine 2400 metara pri čemu je krajnji rok septembar 2015. godine. Novi krak kolektora prolaziće kroz zdravu stenu, pa se njegovom izgradnjom trajno rešava izmeštanje kriveljske reke bez posledica po životnu sredinu.

Za povećanu proizvodnju otkrivke, rude i jalovine iz rudnika Veliki Krivelj, rudnika Cerovo i rudnika Majdanpek, treba predvideti odgovarajuće bezbedne kapacitete za deponovanje otkrivke i jalovine, uz donošenje programa neophodnih mera za popravljjanje kvaliteta otpadnih voda koje se ispuštaju iz jalovišta.

Planirana deponija opasnog otpada nije izgrađena i nije definisana lokacija deponije, kao i kapacitet i sredstva za njenu izgradnju. To će biti neophodno da se uradi u predstojećem periodu.

### **3. Uticaj modernizovane topionice i nove fabrike sumporne kiseline na životnu i radnu sredinu u Boru uključujući i mere za smanjenje njihovog uticaja**

Nova postrojenja koja se planiraju za rekonstrukciju ili izgradnju su sledeća:

- nova sušara za sušenje koncentrata parom,
- nova peć za topljenje po tehnologiji finske kompanije "Outotec",
- nova fabrika za proizvodnju sumporne kiseline,
- novo postrojenje za neutralizaciju otpadnih voda iz topionice i fabrike sumporne kiseline sa razdvajanjem čvrste od tečne faze,
- izgradnja nove flotacije bakra za dobijanje koncentrata bakra iz šljake.

Postrojenje za sušenje koncentrata bakra ima emisiju otpadnog vazduha od 19000 Nm<sup>3</sup>/h, temperature 125 °C, sa 5 mg/m<sup>3</sup> čvrstih čestica na izlazu iz elektrofiltera. Ukupna emisija čvrstih čestica u okolinu, iznosiće 750 kilograma godišnje. i vršiće se kroz dimnjak. S obzirom da se koncentrat bakra suši parom (iz kotlova u fabrici sumporne kiseline) u emisiji otpadnog vazduha je sadržana i isparena vlaga.[72]

Peć za autogeno topljenje koncentrata bakra, takođe ima emisiju otpadnih gasova koji nastaju na sledećim mestima:

- odsisavanje vazduha ventilacijom prilikom ispuštanja bakrenca i transporta istog u loncima,
- ventilacija lonaca bakrenca,
- odsisavanje vazduha ventilacijom u delu peći gde se ispušta šljaka,
- ventilacija lonaca sa šljakom.

Ukupna količina emisije vazduha je sledeća: 220000 Nm<sup>3</sup>/h (268352 m<sup>3</sup>/h) temperature 60 °C, sa 45 g/s SO<sub>2</sub> što iznosi oko 736 mg/Nm<sup>3</sup> ili 3,9 tona na dan.[72] Godišnja emisija SO<sub>2</sub> će iznositi 1283 t SO<sub>2</sub> i emitovaće se u atmosferu preko glavnog dimnjaka topionice. Glavna emisija SO<sub>2</sub> iz peći za autogeno topljenje koncentrata bakra se odvodi najpre u kotao otpadne toplote u cilju iskorišćenja toplote i hlađenja otpadnog gasa, a potom u elektrofilter gde se otpadni gas prečišćava od čvrstih čestica i potom čist i ohlađen do određene temperature odvodi u postrojenje za proizvodnju sumporne kiseline. Emisija NO<sub>x</sub> i CO iz ovog procesa, može se smatrati zanemarljivom. Mala količina NO<sub>x</sub> može nastati i iz tečnog goriva dok ugljenmonoksida nema u otpadnom gasu jer je proces autogeno topljenja oksidacionog karaktera.

Fabrika sumporne kiseline takođe ima emisiju otpadnog gasa SO<sub>2</sub> i to u dva oblika:

- kao otpadni gas, koji sadrži 175 ppm SO<sub>2</sub> gasa, koji se emituje kroz dimnjak fabrike sumporne kiseline, u količini od 350 tona godišnje.
- kao otpadna voda, koja sadrži SO<sub>2</sub>, ali u obliku SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> jona koja ide na tretman otpadne vode neutralizacijom, oksidacijom i separacijom čvrstog od tečnog.

Iz fabrike sumporne kiseline se kao čvrsti otpad pojavljuje katalizator, koji još nije definisan a koji će predstavljati opasan otpad (u zavisnosti da li je katalizator na bazi cezijuma ili vanadijuma).

Postrojenje za neutralizaciju otpadne vode iz fabrike sumporne kiseline, ima emisiju izbistrene vode i emisiju čvrstih čestica iz otpadne vode koje se izdvajaju taloženjem u zgušnjivaču. Tretman otpadne vode iz fabrike sumporne kiseline koja pored male koncentracije sumporne kiseline sadrži nerastvorene i rastvorene čvrste čestice, posle procesa neutralizacije krečom, i separacije čvrste od tečne faze uz pomoć vazduha, koagulanta i flokulanta, daje sledeće otpadne proizvode–efluente:[72]

- izbistrena voda kao preliv zgušnjivača, u količini od 17 m<sup>3</sup>/h rastvora ili 16,6 m<sup>3</sup>/h pulpe (398,4 m<sup>3</sup>/h ili 131472 m<sup>3</sup>/god.) za koju je predviđeno popravljavanje kvaliteta odlaganjem u lagune,

- otpadni mulj zgušnjivača koji sadrži 20 % do 35 % čvrste faze pri čemu je čvrsta faza predviđena u količini od 91 t/dan, odnosno 30017 tona godišnje. Količina pulpe iznosi 8,5 m<sup>3</sup>/h do 16,6 m<sup>3</sup>/h (ovaj mulj u najvećoj meri sadrži gips) i otprema se na jalovište i deponuje uz flotacijsku jalovinu. Međutim, to nije ekološki prihvatljivo jer taj mulj predstavlja opasan otpad zbog teških metala koji sadrži (As, Sb, Bi, Co, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) i trebalo bi da se deponuje na mestu predviđenom za opasan otpad.

Postrojenje za tretman šljake ima za efluent flotacijsku jalovinu, koja treba da se deponuje na flotacijsko jalovište.

## **XI. EKONOMSKI ASPEKTI PROIZVODNJE BAKRA U SVETU**

### **1. Produktivnost rada u proizvodnji bakra**

Snažan uticaj razvoja tehnike i tehnologije pozitivno je uticao na produktivnost rada[73] u proizvodnji bakra. Razvojem novih tehnoloških postupaka, primenom visokoproduktivne opreme i automatike u upravljanju tehnološkim procesima stalno su smanjivane potrebe za radnom snagom. Takođe i osposobljavanje radnika za obavljanje više operacija u procesu rada a, samim tim, i njihovo konstantno usavršavanje i podizanje nivoa stručnog znanja, značajno je uticalo na povećanje produktivnosti rada u ovoj proizvodnji.

Rast produktivnosti rada je bio ključan faktor razvoja svetske proizvodnje bakra koji je značajno uticao na smanjenje troškova u ovoj proizvodnoj grani. Visoke stope rasta produktivnosti rada bile su osnovni uslov njenog opstanka i razvoja usled negativnih uticaja kao što su smanjenje sadržaja bakra i pratećih metala u rudi (zlato, srebro, platina, paladijum, selen i dr.), intenzivna supstitucija drugim metalima (aluminijum, čelik, optička vlakna i dr.), kao i oštra konkurencija na svetskom tržištu.

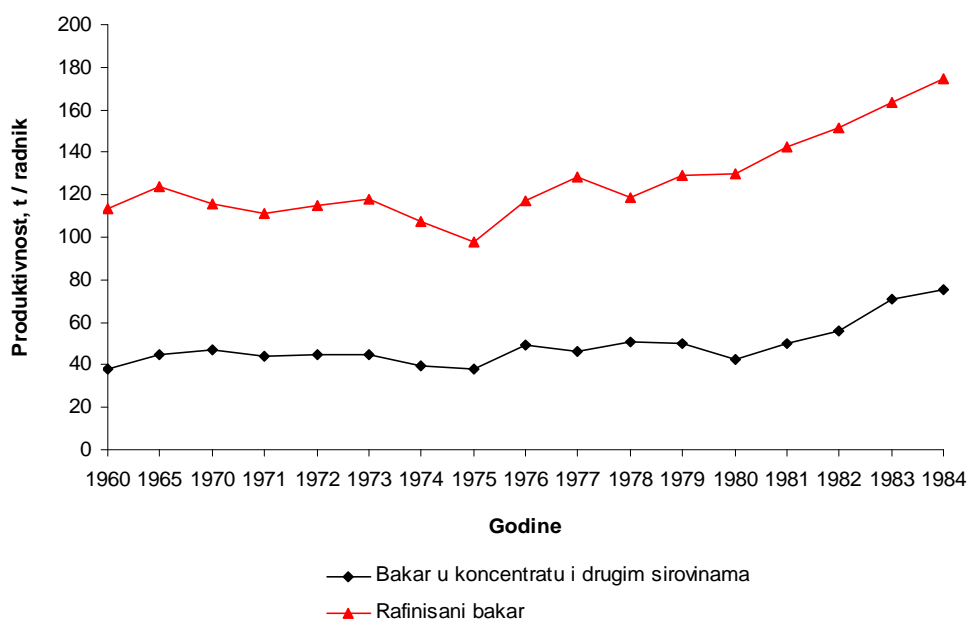
Visok rast produktivnosti u svetskoj proizvodnji bakra je ostvaren u prvoj polovini osamdesetih godina prošlog veka kada je došlo do velikih promena u tehnici i tehnologiji, kao i u periodu dugotrajnih kriza. To je period promena u svetskoj proizvodnji i njenog prilagođavanja cenama bakra koje su i dalje imale tendenciju opadanja. U razvijenim zemljama tada je došlo do velikog smanjenja broja zaposlenih radnika u cilju povećanja produktivnosti rada. Međutim, zarade radnika u tim zemljama su bile nekoliko puta veće, a sadržaj bakra u rudi znatno manji nego u zemljama u razvoju, što je umanjivalo njihovu konkurentsku sposobnost na svetskom tržištu zbog visokih troškova proizvodnje.[74]

U tabeli 22 je data dinamika kretanja produktivnosti rada u periodu od 1960. do 1984. godine u rudarstvu Amerike. Produktivnost rada je merena količinama proizvedene rude, bakra u koncentratu i rafinisanog bakra po radniku (sl. 30). Proizvodnja rude i bakra u koncentratu imala je rast od 153,7 % odnosno 98,2 % pri čemu su godišnje stope rasta iznosile 6 %, tj. 4,4 % respektivno. Proizvodnja rafinisanog bakra je zabeležila nešto slabiji rast u odnosu na rudarstvo koji je iznosio 54,5 % sa godišnjom stopom rasta od 2,8 procenata.[75]

Sa razvojem tehnike i tehnologije, modernizacijom postojećih i izgradnjom novih rudarskih i metalurških kapaciteta povećana je produktivnost i u zemljama u razvoju. Interesantan primer rasta produktivnosti je najveća čileanska kompanija Kodelko, čija je proizvodnja krajem osamdesetih godina iznosila 1196000 tona. U ovoj kompaniji je broj zaposlenih radnika smanjen u 1976. godini u odnosu na 1987. godinu više od 20 %, uz istovremeni rast proizvodnje od 25 procenata. Produktivnost rada, merena godišnjom proizvodnjom bakra po radniku, povećana je od 27,6 t u 1976. godini na 43,9 t u 1987. godini ili 60 procenata.[75]

Tabela 22. Produktivnost rada u rudarstvu i metalurgiji bakra Amerike, u vremenskom periodu 1960-1984. godine (proizvodnja po radniku godišnje u tonama)[75]

Godina	Rudarstvo			Metalurgija		
	Ruda	Indeks	Bakar u koncentratu i drugim sirovinama	Indeks	Rafinisani bakar	Indeks
1960.	4770	100	38,1	100	113,3	100
1965.	5776	121,1	45,1	118,4	123,8	109,3
1970.	7023	147,2	46,9	123,1	115,6	102,0
1971.	7075	148,3	44,4	116,5	111,3	98,2
1972.	7135	149,6	44,5	116,8	115,1	101,6
1973.	7196	150,9	44,5	116,8	117,8	104,0
1974.	6715	140,8	39,9	104,7	107,2	94,6
1975.	6119	128,3	38,3	100,5	97,6	86,1
1976.	7014	147,0	49,1	128,9	117,5	103,7
1977.	7019	147,1	46,4	121,8	128,0	113,0
1978.	7975	167,2	50,8	133,3	119,0	105,0
1979.	8024	168,2	50,1	131,5	129,2	114,0
1980.	8626	180,8	42,9	112,6	129,7	114,5
1981.	8740	183,2	50,3	132,0	142,6	125,9
1982.	9240	193,7	55,7	146,2	151,3	133,5
1983.	11476	240,6	70,6	185,3	163,3	144,1
1984.	12103	253,7	75,5	198,2	175,0	154,5



Sl. 30. Dinamika kretanja produktivnosti rada u rudarstvu i metalurgiji u Americi u periodu 1960-1984. godine

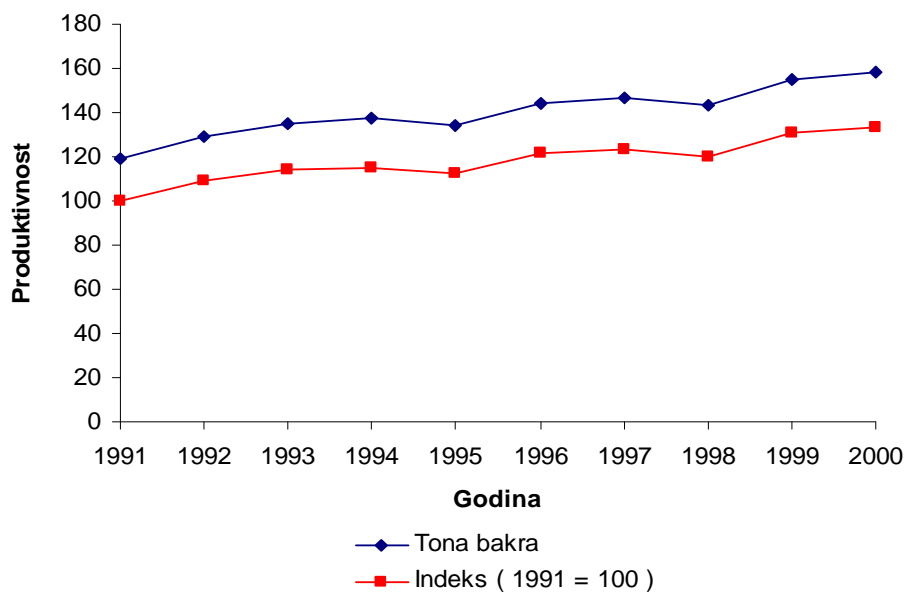
Tendencije visokog rasta produktivnosti rada u proizvodnji bakra nastavljene su i u narednom periodu (tabela 23). Porast produktivnosti u Americi u periodu 1991-2000. godine je iznosio 33,1 % odnosno 3,2 % godišnje (sl. 31).[76,77] Rast produktivnosti u rudarstvu i metalurgiji se prvenstveno zasnivao na izgradnji velikih proizvodnih kapaciteta, primeni visokoproduktivnih otkopnih metoda, rastu proizvodnje hidrometalurškim postupcima, zameni tehnologija topljenja i sve većoj primeni automatizacije u upravljanju i kontroli procesa proizvodnje. Povećanju produktivnosti znatno je doprinelo zatvaranje neproduktivnih rudarskih i metalurških kapaciteta a samim tim i sve veća koncentracija proizvodnje.[78,79,80] Za razliku od prethodnog perioda, u ovom periodu nije došlo do velikog smanjenja radne snage u rudarstvu i metalurgiji. Postojeći kapaciteti su značajno povećani, dok su novi rudnici po pravilu imali visok nivo produktivnosti.

Tabela 23. Godišnja proizvodnja bakra po zaposlenom u rudarstvu u periodu 1991-2000. godine u Americi

<b>Godina</b>	<b>Tona bakra</b>	<b>Indeks (1991=100)</b>
1991.	118,9	100,0
1992.	129,4	108,8
1993.	135,3	113,8
1994.	137,1	115,3
1995.	134,1	112,8
1996.	144,4	121,4
1997.	146,6	123,3
1998.	143,1	120,4
1999.	155,3	130,6
2000.	158,2	133,1

Trend intenzivnog povećanja produktivnosti rada je nastavljen i u metalurgiji zamenom starih tehnologija topljenja koncentrata bakra savremenim autogenim postupcima. Na taj način je povećana produktivnost rada u topionicama i elektrolitičkim rafinacijama sa 250 t na 400 t katodnog bakra po radniku. U zemljama u razvoju nivo produktivnosti je znatno niži u odnosu na mogućnosti koje pružaju nova tehnička i tehnološka dostignuća u ovoj oblasti.





Sl. 31. Godišnja proizvodnja bakra po zaposlenom u rudarstvu u periodu 1991-2000. godine u Americi

Produktivnost u proizvodnji bakra u svetu se dosta razlikuje i zavisi od više faktora a neki od njih su: prirodna svojstva rudnih ležišta, metod eksploatacije, tehnička i tehnološka opremljenost, organizacija proizvodnje, održavanje opreme i drugih uređaja, osposobljenost radne snage, privredna razvijenost zemlje i dr. Najveću produktivnost imaju razvijene zemlje kao što su Amerika, Kanada, Australija, Japan, Nemačka, Švedska dok sa druge strane zemlje u razvoju i dalje imaju znatno nižu produktivnost rada. Međutim, opšta je tendencija da se te razlike poslednjih godina drastično smanjuju, naročito kada se radi o proizvodnji u Čileu, Peruu, Indoneziji. Ove zemlje su 1979. godine imale nižu produktivnost i to: Čile 71 %, Peru 75,5 % i Zambija 306 % dok je u 2000. godini njihova produktivnost bila niža 20 %-30 % u odnosu na američke rudnike (tabela 22 i tabela 23).

Jedan od najvažnijih razloga velike koncentracije proizvodnje sa niskim troškovima proizvodnje je svakako visoka produktivnost rada. Proizvodnja bakra u Americi je sve manje konkurentna u svetu zbog visokih zarada radnika i zbog sve nižeg sadržaja bakra u

rudi. Nasuprot tome, proizvodnja bakra u Čileu, Peruu, Indoneziji, Argentini je u daleko boljoj poziciji, jer ima visoku stopu rasta produktivnosti rada, ne samo po osnovu većeg sadržaja bakra u rudi, već i zbog toga što su zarade radnika nekoliko puta niže u odnosu na Ameriku. U tabeli 24 je data produktivnost čileanske kompanije Kodelko[81,82] za njene glavne rudnike: Chuquicamata, El Teniente, Salvador, Andina i Radomiro Tomić. Produktivnost u 2001. godini u odnosu na 1994. godinu se kretala od 66 do 490 tona bakra u koncentratu po radniku pri čemu je proizvodnja povećana sa 1135000 t na 1543000 t bakra u koncentratu ili 36 procenata. Međutim, osim povećanja proizvodnje i produktivnosti koja u proseku iznosi 80 %, svi rudnici su zabeležili i smanjenje radne snage za 4489 radnika ili 21,7 procenata. Tendenciju povećanja produktivnosti pratilo je i povećanje procentualnog učešća proizvodnje SXEW (prerada oksidnih ruda) postupkom u 2001. godini u odnosu na 1994. godinu 3,6 puta.[83]

Tabela 24. Produktivnost u rudnicima Kodelka u Čileu u 1994. i 2001. godini klasičnim postupcima sa procentualnim učešćem SXEW postupka u proizvodnji bakra u koncentratu[83]

Rudnici	1994. god.		2001. god.		Radna snaga		Produktivnost		Povećanje
	Proizvodnja, u kt	% SXEW	Proizvodnja, u kt	% SXEW	1994. god.	2001. god.	1994. god.	2001. god.	produktivnosti, %
Chuquicamata	607	19,1	660	25,8	8787	7227	69	93	34,8
El Teniente	309	1,4	362	3,3	7561	7100	41	66	61,0
Salvador	83	0	81	24,7	3100	1900	27	49	81,5
Andina	136	0	253	0	1241	1200	110	210	91,0
R. Tomić		-	245	100,0	-	500	-	490	
<b>Ukupno</b>	<b>1135</b>	<b>10,7</b>	<b>1543</b>	<b>28,0</b>	<b>20689</b>	<b>16200</b>	<b>55</b>	<b>99</b>	<b>80,0</b>

Na povećanje produktivnosti rada u rudarstvu i metalurgiji u znatnoj meri utiču izvršena kapitalna ulaganja u rekonstrukciju i modernizaciju proizvodnih kapaciteta, u cilju povećanja produktivnosti rada i smanjenja troškova proizvodnje. Dobar primer je rudnik Mingham Canyon iz Amerike koji je osamdesetih godina uložio oko 400 miliona dolara u program modernizacije svojih kapaciteta i na taj način povećao produktivnost rada

400 procenata.[77] Kapitalna ulaganja stalno rastu po zaposlenom radniku, što za posledicu ima rast produktivnosti rada smanjenjem troškova radne snage. Efekte povećanja produktivnosti rada u proizvodnji bakra u prethodnom periodu treba sagledati i sa stanovišta kretanja ukupnih troškova, uključujući i troškove kapitala. Rudnička proizvodnja bakra u Americi[79] je u 1992. godini bila veća 16 % u odnosu na 1972. godinu, a angažovani kapital manji 19 %, dok je produktivnost rada bila veća 184 procenata (tabela 25). To znači da je u tom periodu angažovani kapital po zaposlenom radniku povećan prosečno 2,3 puta čime je povećano i relativno učešće troškova kapitala u ukupnim troškovima proizvodnje bakra. Rast produktivnosti rada je vrlo važan ekonomski pokazatelj u cilju sagledavanja budućih kretanja troškova u svetskoj proizvodnji bakra.

Tabela 25. Ekonomski pokazatelji proizvodnje u Americi u periodu 1972-1992. godine[75]

<b>Pokazatelji</b>	<b>1972.</b>	<b>1975.</b>	<b>1980.</b>	<b>1985.</b>	<b>1990.</b>	<b>1992.</b>
Proizvodnja	100	84	78	73	105	116
Input radne snage	100	104	80	35	41	41
Angažovani kapital	100	114	110	95	79	81
Input energije i materijala	100	99	112	65	130	119
Produktivnost rada	100	81	97	208	257	284
Multiplikator produktivnosti	100	81	78	104	103	123

## **2. Troškovi proizvodnje u rudarstvu i metalurgiji u svetu**

### **2.1. Karakteristike troškova proizvodnje bakra**

Troškovi proizvodnje bakra imaju određene specifičnosti i karakteristični su po tome što zavise od: uticaja prirodnog faktora, velike razlike u nivou troškova i njihove strukture, a samim tim i elastičnosti troškova proizvodnje.

Prirodni uslovi eksploatacije su najvažniji faktor troškova proizvodnje bakra, pri čemu se oni moraju posmatrati sa svih aspekata, a ne samo sa stanovišta sadržaja bakra u rudi. Mnogi rudnici u svetu imaju visok sadržaj bakra ali, sa druge strane, imaju visoke troškove zbog drugih nepovoljnih elemenata koji na taj način umanjuju ili poništavaju pozitivne efekte sadržaja bakra.

U zapadnom svetu razlike u nivou troškova proizvođača bakra su veoma izražene i najčešće se kreću u rasponu od 1:3,5, a u nekim ekstremnim slučajevima su i znatno veće. Te razlike su neuporedivo veće u odnosu na druge industrijske grane. U 2000. godini, 10 % rudničke proizvodnje bakra u zapadnom svetu (oko milion tona) imalo je neto operativne troškove u rasponu od 22 ¢/Lb do 24 ¢/Lb, dok je, na drugoj strani, isti procenat ove proizvodnje imao neto operativne troškove 3-4 puta veće. Rudnici koji imaju izuzetno niske troškove najčešće imaju visoke procentualne sadržaje pratećih metala (zlata, srebra, molibdena). Ovi rudnici se nalaze u Indoneziji (Grazberg i Bartu Hijau), Papui Novoj Gvineji (OK Tedi), Kanadi (Kidd Greek, Kemess, Selbaie, Sudbori) i Filipinima.[84] Velike razlike u troškovima proizvodnje bakra u svetu postoje takođe i po regionima a zavise od lokacije ležišta, nivoa primenjene tehnike i tehnologije, stepena korišćenja kapaciteta, produktivnosti rada, cene energenata i drugih inputa, troškova transporta. Razlike u nivou troškova pojedinih zemalja u poslednjoj deceniji prošlog veka su znatno manje izražene nego ranije zahvaljujući tehničko-tehnološkom progresu i sve većoj konkurenciji proizvodnje.

Proizvodnja bakra ima strukturu troškova u kojoj visoko učešće imaju fiksni i relativno fiksni troškovi pri čemu treba imati u vidu visoko učešće prosečnih kapitalnih ulaganja u nove kapacitete. Struktura troškova sa procentualnim učešćem svake pojedine vrste troškova za klasične metode proizvodnje bakra, u slučaju integriranih rudarskih i metalurških kapaciteta data je u tabeli 26.

Tabela 26. Struktura troškova proizvodnje rafinisanog bakra u svetu po fazama i ukupno (u procentima) u 2000. godini

<b>Vrsta troškova</b>	<b>Rudarstvo</b>	<b>Metalurgija</b>	<b>Ukupno</b>
Direktni operativni troškovi	54,2	49,4	52,2
Ostali operativni troškovi	10,4	13,0	10,9
<b>Ukupni operativni troškovi</b>	<b>64,6</b>	<b>62,4</b>	<b>63,1</b>
<b>Fiksni troškovi</b>	<b>35,4</b>	<b>39,8</b>	<b>36,9</b>
Amortizacija	27,1	28,7	27,1
Kamate	8,3	11,1	9,8
<b>Ukupno</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Direktni operativni troškovi (varijabilni troškovi) u ukupnim troškovima proizvodnje rafinisanog bakra učestvuju sa 52,2 %, dok fiksni i relativno fiksni troškovi (amortizacija, kamate na kredite i ostali troškovi) učestvuju sa 36,9 procenata (tabela 26). Troškovi energije i radne snage u direktnim operativnim troškovima učestvuju sa blizu 75 %, pri čemu učešće troškova energije iznosi blizu troškova radne snage i kreće se oko 35-45 procenata. U tabeli 27 je data struktura troškova u kompaniji Southern Copper u periodu 2008-2012. godine odakle se jasno vidi da je učešće troškova energije ostalo na istom nivou od 35 %-45 % dok su troškovi radne snage smanjeni na 15-18 procenata.[85]

Tabela 27. Struktura troškova u kompaniji SouthernCopper u periodu 2008-2012. godine[85]

<b>Troškovi</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Sirovina	16	16	18	18	17
Gorivo	13	12	12	14	14
Električna energija	27	31	24	24	21
<b>Energetika</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>35</b>
Održavanje	16	14	17	15	15
Radna snaga	17	15	17	15	18
Ostalo	11	12	12	14	15
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Ovakva struktura određuje stepen elastičnosti troškova proizvodnje bakra koja se definiše kao odnos srazmerne promene ukupnih troškova prema srazmernom povećanju obima proizvodnje. Elastičnost troškova se izražava formulom (9) koja predstavlja odnos graničnih troškova prema prosečnim troškovima.[86]

$$E_{tr} = \frac{GTr}{PT_r} = 1 \quad (9)$$

Proizvodnja bakra ima niske koeficijente elastičnosti jer u strukturi u ukupnim troškovima visoko učešće imaju fiksni i relativno fiksni troškovi. Elastičnost troškova se definiše kao odnos srazmerne promene ukupnih troškova prema srazmernom povećanju obima proizvodnje. To znači da se za svaki procenat povećanja proizvodnje u okviru postojećih kapaciteta, ukupni troškovi povećavaju za 0,53 %, dok se prosečni troškovi po toni bakra smanjuju za 0,47 procenta. Obrnuto, za svaki procenat smanjenja proizvodnje,

ukupni troškovi se smanjuju za 0,53 %, a prosečni troškovi se povećavaju za 0,47 procenata.

Korišćenje kapaciteta u desetogodišnjem periodu od 2001. do 2010. godine u rudarstvu se kretalo između 81 % i 94,5 % ili u proseku 85 % dok je u metalurgiji iznosilo između 77 % i 88 %, odnosno u proseku 81,7 procenata (tabela 28).[87]

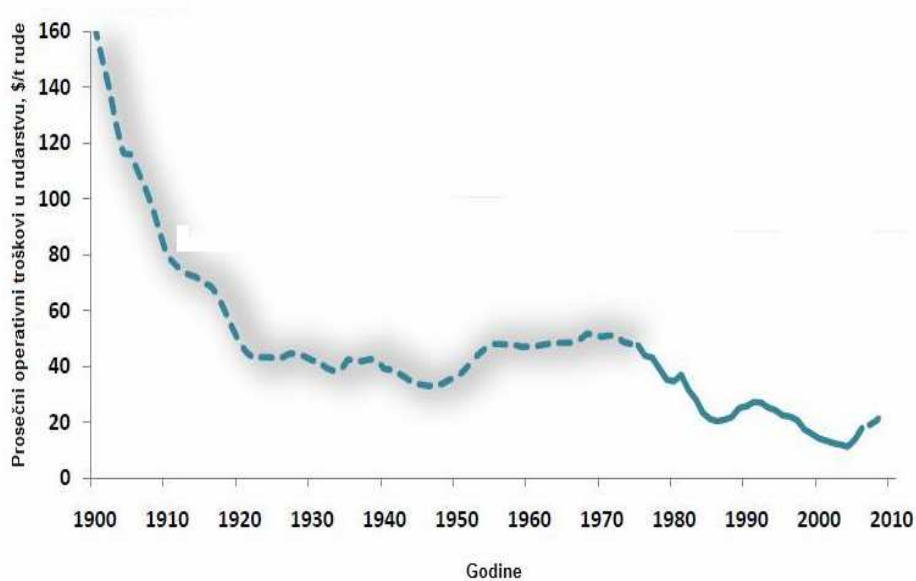
Tabela 28. Dinamika korišćenja kapaciteta u proizvodnji bakra (rudarstvo i metalurgija) u svetu u periodu 2001-2010. godine[87]

Pokazatelji proizvodnje bakra	2001	2006	2007	2008	2009	2010	Prosek, 2001.-2010.
Proizvodnja u rudarstvu, kt	13632	14990	15483	15547	15954	16116	91722
Kapaciteti u rudarstvu, kt	14418	17174	18111	18740	19523	19898	107864
<b>Iskorišćenje kapaciteta u rudarstvu, %</b>	<b>94,5</b>	<b>87,3</b>	<b>85,5</b>	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>85</b>
Proizvodnja u rafinacijama, kt	15594	17291	17934	18226	18278	19081	106404
Kapaciteti u rafinacijama, kt	17659	20555	21784	22723	23625	23908	130254
<b>Iskorišćenje kapaciteta u metalurgiji, %</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>80</b>	<b>77</b>	<b>80</b>	<b>81,7</b>

Efekti većeg ili nižeg korišćenja kapaciteta su obrnuto proporcionalni sadržaju bakra u rudi. Znatno veći iznos fiksnih troškova po toni bakra postoje kod proizvođača koji eksploatišu rudu sa niskim sadržajem bakra i pratećih metala, što dovodi do većih razlika u nivou prosečnih troškova pri različitom stepenu korišćenja proizvodnog kapaciteta.

Upravo iz ovih razloga proizvođači bakra se veoma teško odlučuju na smanjenje proizvodnje u vremenskim periodima kada je cena bakra niska, jer u tom slučaju njihovi prosečni troškovi znatno rastu, pri čemu proizvođači bakra dolaze u veoma nezavidan ekonomski položaj.[88] Odluke menadžmenta kompanija koje se bave proizvodnjom bakra koje se tiču povećanja korišćenja ili smanjivanja kapaciteta kada je cena bakra niska, mogu imati ozbiljne posledice na odnose ponude i tražnje, a samim tim i na cenu bakra na svetskim berzama.

Na sl. 32 je prikazana dinamika kretanja procenjenih prosečnih operativnih troškova u rudarstvu u zapadnom svetu u periodu od 1900. do 2009. godine. Za ovaj period troškovi u rudarstvu su smanjeni za skoro 4 puta, iako je sadržaj bakra u istom vremenskom periodu pao 3,7 puta. Najveće realno sniženje troškova proizvodnje nastalo je u prvoj polovini osamdesetih godina. Cena bakra je bila na niskom nivou u tom periodu, dok su cene energenata imale visok rast. To je uticalo na proizvođače bakra u razvijenim zemljama da smanje troškove proizvodnje i na taj način da poboljšaju svoju konkurentsku sposobnost. Rudnici koji su imali visoke troškove proizvodnje su privremeno ili trajno zatvoreni, što je svakako imalo veliki uticaj na smanjenje prosečnih troškova. Amerika je bila glavni pokretač i nosilac tehničko-tehnološkog progresa, što potvrđuje i smanjenje troškova od 85,0  $\text{¢/Lb}$  na 60,1  $\text{¢/Lb}$  tj. 41,4 procenata. Međutim, dinamika smanjenja neto operativnih troškova proizvodnje bakra po godinama je zabeležena i u sledećim zemljama (regionima): Kanada 44,6 %, Australija 49,9 %, Zair 38,7 %, Zambija 32,9 %, Južna Afrika 58,7 % i Zapadna evropa 42,4 procenata (tabela 29).[89]



Sl. 32. Dinamika kretanja prosečnih operativnih troškova u rudarstvu u periodu od 1900. do 2009. godine[89]

Smanjenje troškova proizvodnje je nastavljeno i u narednim godinama. Većina zemalja, koje su veliki proizvođači bakra su smanjile troškove proizvodnje a na to su uticale sledeće promene:

- ubrzani razvoj tehnike i tehnologije, i povećanje produktivnosti rada i smanjenje troškova energije,
- povećanje tehnoloških iskorišćenja bakra i pratećih metala,
- rast proizvodnje hidrometalurškim postupcima i
- povećanje proizvodnje u Južnoj Americi, Australiji i zemljama Dalekog Istoka sa niskim troškovima, što je svakako uticalo na velike promene u regionalnom rasporedu svetske proizvodnje.

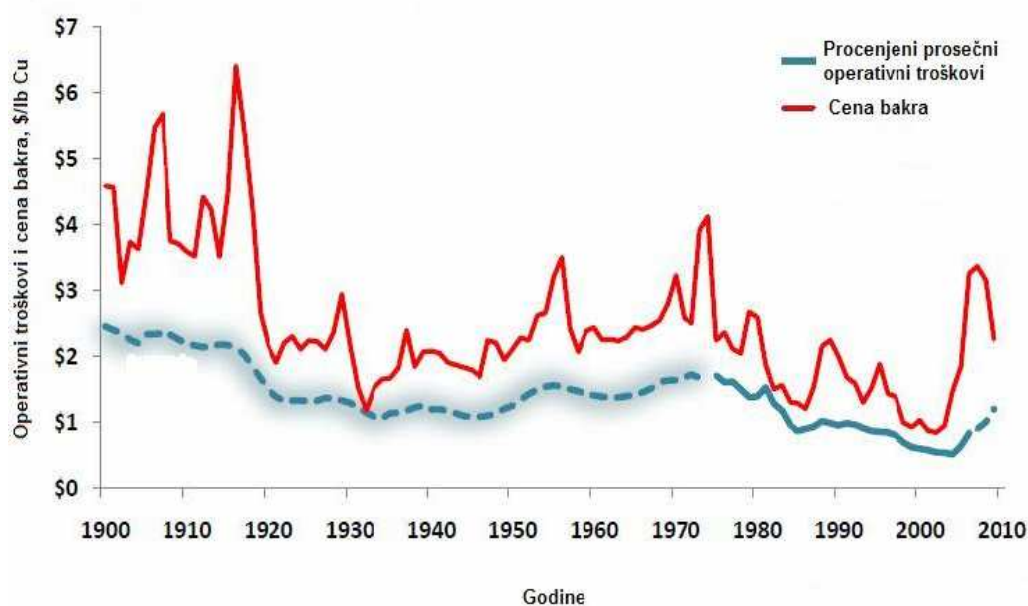
Tabela 29. Tendencije kretanja neto operativnih troškovi proizvodnje bakra u zemljama (regionima) u periodu od 1983. do 1989. godine (u  $\text{¢/Lb}$ , prema vrednosti američkog dolara iz 2000. godine)

Zemlja/Region	Troškovi u $\text{¢/Lb}$			Smanjenje troškova 1989/1983, %
	1983. god.	1985. god.	1989. god.	
Amerika	85,0	79,4	60,1	41,4
Kanada	82,3	71,2	56,9	44,6
Čile	57,1	59,2	52,9	7,9
Peru	73,5	74,4	68,6	7,1
Meksiko	76,2	63,7	64,9	17,4
Australija	81,1	65,9	54,1	49,9
Zair	81,0	64,6	58,4	38,7
Zambija	77,6	63,1	58,4	32,9
Južna Afrika	73,0	61,1	46,0	58,7
Indonezija	61,1	60,0	51,0	19,8
Zemlje dalekog istoka	63,4	64,0	55,9	13,4
Zapadna evropa	82,3	76,3	57,8	42,4

Prosečni neto operativni proizvodni troškovi u svetu krajem prošlog i početkom ovog veka iznosili između 48  $\text{¢/Lb}$  i 50  $\text{¢/Lb}$ , a ukupni troškovi, koji uključuju amortizaciju, kamate i druge izdatke 70  $\text{¢/Lb}$ -72  $\text{¢/Lb}$ . U 2001. godini procenjeni troškovi bili su niži u odnosu na nivo u 1989. godini oko 16 %, pri čemu je prosečna stopa smanjena i iznosila je oko 1,5 % godišnje. To ukazuje na tendenciju usporavanja opadanja troškova u odnosu na prethodnu deceniju. Efekti povećanja produktivnosti rada u razvijenim zemljama su bili sve manji usled velikog smanjenja učešća zarada radnika u troškovima proizvodnje u



prethodnom periodu. Na sl. 33 data je dinamika kretanja procenjenih prosečnih operativnih troškova u metalurgiji (prosečni operativni troškovi uključuju troškove transporta, topljenja, rafinacije i marketinga) u zapadnom svetu i cena katodnog bakra u periodu od 1900. do 2009. godine.[90] U ovom vremenskom periodu prosečni operativni troškovi su skoro 2 puta smanjeni dok su u zemljama u razvoju ti efekti bili mnogo manji. Zamena tehnologija topljenja koncentrata bakra je završena sredinom 90-tih godina uvođenjem autogenih postupaka, tako da je i u ovoj oblasti dalje smanjenje operativnih troškova, naročito troškova energije (45 %-55 %), bilo znatno usporenije.



Sl. 33. Dinamika kretanja prosečnih operativnih troškova u metalurgiji u razvijenim zemljama u periodu 1900-2009. godine[90]

U tabeli 30 dati su procenjeni troškovi proizvodnje bakra klasičnim metodama za rudarstvo i metalurgiju tako što su troškovi u rudarstvu obračunati na bazi sadržaja bakra u rudi od 1 % u podzemnoj i 0,6 % u površinskoj eksploataciji pri odnosu rude jalovine 1:1,5. Ukupni prosečni troškovi za površinsku i jamsku eksploataciju rude bakra iznose 40,3 ¢/Lb u rudarstvu, a u metalurgiji 13,3 ¢/Lb što ukupno iznosi 53,7 ¢/Lb. Ukupni troškovi proizvodnje u rudarstvu i metalurgiji iznose 84,5 ¢/Lb i isti su umanjani za

vrednost pratećih metala koja iznosi 11,8  $\phi$ /Lb tako da dobijeni ukupni neto troškovi iznose 72,7  $\phi$ /Lb.

Tabela 30. Procenjeni troškovi proizvodnje bakra u rudarstvu i metalurgiji u  $\phi$ /Lb klasičnim metodama razvijenih zemalja u 2000. godini

R. b.	Vrsta troškova	Rudarstvo			Metalurgija	Ukupno
		Kop	Jama	Prosečno kop-jama		
1.	Direktni operativni troškovi	33,5	35,1	33,8	10,5	44,4
2.	Ostali operativni troškovi	6,6	6,1	6,5	2,8	9,3
<b>3.</b>	<b>Ukupni operativni troškovi (1+2)</b>	<b>40,1</b>	<b>41,2</b>	<b>40,3</b>	<b>13,3</b>	<b>53,7</b>
4.	Amortizacija	16,4	14,7	16,9	6,1	22,2
5.	Kamate	6,2	5,5	6,0	2,4	8,4
<b>6.</b>	<b>Ukupni fiksni troškovi (3+4)</b>	<b>22,6</b>	<b>20,2</b>	<b>22,9</b>	<b>8,5</b>	<b>30,3</b>
<b>7.</b>	<b>Ukupni troškovi</b>	<b>62,6</b>	<b>61,4</b>	<b>63,2</b>	<b>21,3</b>	<b>84,5</b>
8.	Prateći metali	11,8	11,8	11,8		11,8
<b>9.</b>	<b>Ukupni neto troškovi</b>	<b>49,0</b>	<b>47,8</b>	<b>51,4</b>	<b>21,3</b>	<b>72,7</b>

U Čileu oko 85 % proizvodnje bakra u 2002. godini imalo je prosečne neto operativne troškove od 41,4  $\phi$ /Lb, dok su ukupni troškovi iznosili 66  $\phi$ /Lb. Troškovi proizvodnje najvećih rudnika u ovoj zemlji, sa ukupnim godišnjim kapacitetom od blizu 3900000 tona bakra dati su u tabeli 31 i u zavisnosti od primenjene metode eksploatacije kreću se od 33  $\phi$ /Lb do 69,4  $\phi$ /Lb.

Međutim, prosečni neto operativni troškovi su nastavili i dalje da rastu što potvrđuje i izveštaj američke kompanije Freeport-McMoRan jedne od vodećih svetskih rudarskih kompanija koja se bavi proizvodnjom bakra, zlata, molibdena i kobalta. Ova kompanija posluje u rudnicima u severnoj Americi u Arizoni (Morenci, Sierrita, Bagdad, Safford, Miami), u Koloradu (Tyrone), u Novom Meksiku (Chino), u južnoj Americi (Cerro Verde u Peru, El Abra, Candelaria, Chile Ojos del Salado u Čileu), u Indoneziji (Grazberg) i u Africi u demokratskoj republici Kongo (Tenke Fungurume).

Tabela 31. Troškovi proizvodnje u Čileu na godišnjem nivou sa različitim načinima eksploatacije u 2002. godini (podzemna eksploatacija, površinska eksploatacija, prerada oksidnih ruda-postupak SX-EW)

Naziv rudnika	Način eksploatacije	Troškovi proizvodnje, ¢/Lb
Andina	podzemna	49,7
El Teniente	podzemna	40,0
Salvador	podzemna/površinska	69,4
Chuquicamata,	površinska	39,6
Collahuasi,	površinska	38,0
Los Palambres,	površinska	38,5
Escondida,	površinska	40,0
Candaleria	površinska	45,3
Radomiro Tomić	SX-EW postupak	33,0
Zaldivar	SX-EW postupak	42,0
El Abra	SX-EW postupak	56,5
El Tesoro	SX-EW postupak	40,0
Michilla	SX-EW postupak	64,5

U tabeli 32 su dati prosečni ukupni neto operativni troškovi proizvodnje bakra u rudarstvu i metalurgiji u ovoj kompaniji u 2010. i 2011. godini. Neto operativni troškovi proizvodnje su u 2010. godini bili niži u odnosu na 2011. godinu za 22 ¢/lb ili za 27,8 procenta. Rudnici u severnoj i južnoj Americi i Africi su imali prihod od pratećih metala (molibden, zlato, kobalt) od 35 ¢/lb-58 ¢/lb, dok je u Indoneziji taj prihod bio višestruko veći i iznosio 248 ¢/lb.[91]

Tabela 32. Prosečni ukupni neto operativni troškovi proizvodnje u 2010. i 2011. godini[91]

Troškovi po jedinici	2010, ¢/lb	2011, ¢/lb
Troškovi proizvodnje i transporta	172	140
Prihod od pratećih metala	89	81
Trškovi topljenja i rafinacije	14	15
Royaliti taksa	4	5
<b>Ukupni neto troškovi po toni bakra</b>	<b>79</b>	<b>101</b>

Veliki proizvođači bakra u svetu su u 2010. godini imali povećanje prosečnih troškova za 11 % i isti su iznosili u proseku oko 112 ¢/lb. Prosečni troškovi su bili veći od 100 ¢/lb zbog jačanja domaćih valuta zemalja koje se bave proizvodnjom bakra i inflacije,

povećanja troškova inputa (ulaznih sirovina, radne snage i energije) i slabljenja američkog dolara u 2009. godini.

Ovi negativni uticaji su delimično ublaženi zbog rasta cene zlata koja je u proseku iznosila oko 40000 \$/kg u 2010. godini tj. 26 % je bila veća u odnosu na 2009. godinu. Takođe, i cene pratećih metala kao što su molibden i kobalt su zabeležile rast u proseku 39 %, odnosno 18 % respektivno. U istom periodu prosečna cena bakra u 2010. godini je bila 83 % viša od graničnih troškova proizvođača bakra u svetu.[91]

Međutim negativni uticaji kao što su ruda sa niskim sadržajem bakra, porast kapitalnih ulaganja i razvoj projekata u regionima sa visokim geopolitičkim rizikom će verovatno doprineti dodatnom povećanju prosečnih troškova proizvodnje tako da povećanje cene bakra treba da podstiče novu proizvodnju. To će uticati na mnoge proizvođače da nastave da smanjuju troškove proizvodnje povećanjem produktivnosti rada.

Navedeni pregled dinamike kretanja troškova proizvodnje u određenim vremenskim periodima samo potvrđuje izuzetno veliki značaj troškova u razvojnoj i poslovnoj politici svih značajnijih svetskih kompanija koje se bave proizvodnjom bakra u svetu. Proizvođači bakra za razliku od proizvođača u mnogim drugim oblastima ne mogu da obezbede odgovarajuće mesto na svetskom tržištu izmenama dizajna proizvoda ili drugim marketinškim aktivnostima. Samo smanjenjem troškova proizvodnje proizvođači bakra mogu ostvariti bolju konkurentsku sposobnost na tržištu i veći profit. Poslednjih decenija dvadesetog veka na smanjenje troškova proizvodnje najveći uticaj je imala niska cena bakra. Međutim, to je uticalo na ubrzan razvoj tehnike i tehnologije, pri čemu je došlo do porasta produktivnosti rada i smanjenja potrošnje energenata. Na taj način je došlo do velikih promena u strukturi troškova i rasporedu svetske proizvodnje. Proizvođači bakra koji nisu pratili te promene i investirali u osavremenjavanje proizvodnje zbog nepovoljnih prirodnih uslova i dalje su imali visoke troškove i bili su prinuđeni da privremeno ili trajno obustave svoju proizvodnju.

## 2.2. Raspored proizvodnje bakra prema nivou troškova

Na raspored svetske proizvodnje prema nivou troškova veliki uticaj imaju neravnomerna primena savremenih tehničkih i tehnoloških dostignuća u razvoju u rudarstvu i metalurgiji, a takođe i promene strukture ležišta u eksploataciji (sadržaj bakra i pratećih metala u rudi). Tendencije koje su došle do izražaja krajem prošlog i početkom ovog veka, nastale su kao posledica velikih strukturnih promena u ovoj proizvodnji. Njih karakteriše porast koncentracije proizvodnje sa troškovima koji su blizu prosečnog nivoa troškova u svetu.

Ovaj raspored je takođe bitan jer se na osnovu njega mogu sagledati budući trendovi cene bakra. Ukoliko cena bakra u dužem periodu ne pokriva troškove značajnog dela svetske proizvodnje, proizvođači koji imaju visoke troškove proizvodnje u periodima kada je cena bakra niska, prinuđeni su da smanje ili obustave proizvodnju. To može izazvati nestašicu bakra na tržištu i dovesti do nivoa koji obezbeđuje pokriće troškova proizvodnje.

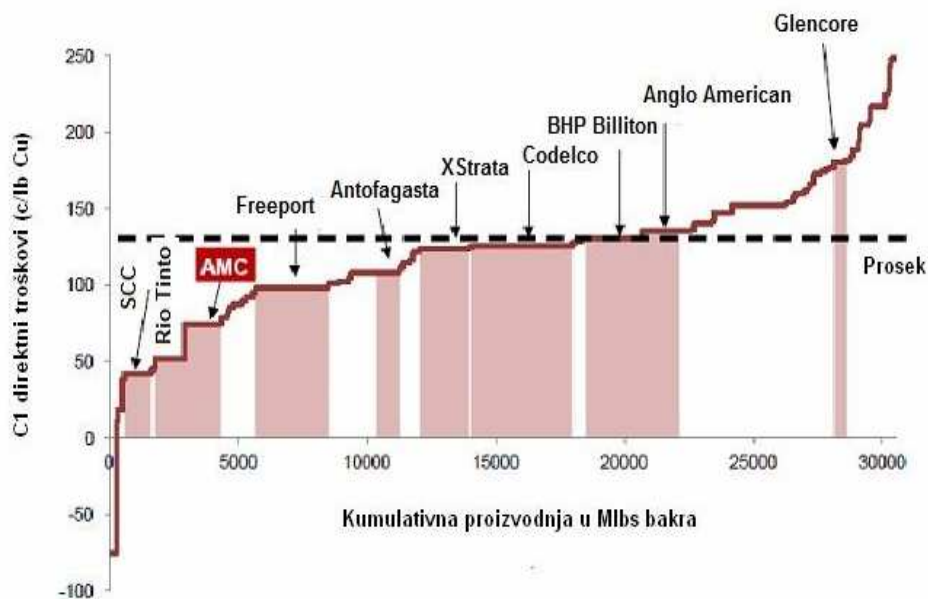
Prema izvoru časopisa Brook Hunt u 2001. godini samo 13,2 % proizvođača imalo je neto operativne troškove do 30 ¢/Lb, dok je 53,3 % imalo troškove između 30 ¢/Lb-50 ¢/Lb. Veće troškove od prosečnih (55 ¢/L-80 ¢/Lb) imalo je samo 30,3 % svetskih proizvođača, a samo 3,2 % proizvodnje preko 80 ¢/Lb. Struktura svetske proizvodnje, prema nivou neto operativnih troškova data je u tabeli 33.[89]

Raspored proizvodnje u zavisnosti od nivoa troškova je od izuzetnog značaja, jer se na osnovu njega može utvrditi pozicija svakog proizvođača i njegova konkurentna sposobnost. Na sl. 34 su dati rangirani najveći svetski proizvođači bakra u svetu prema direktnim troškovima (C1) i kumulativnoj proizvodnji u 2011. godini. Treba napomenuti da C1 troškovi predstavljaju direktne troškove koji uključuju troškove drobljenja i flotiranja rude, opšte i administrativne troškove (troškove renti, usluga, osiguranja i zarada radnika-neposrednih izvršioaca), troškove topljenja koncentrata i rafinacije, troškove prevoza i

prodaje umanjene za vrednost pratećih metala. Tu ne spadaju troškovi amortizacije i zarade radnika koji ne učestvuju direktno u procesu proizvodnje.[85]

Tabela 33. Raspored svetske proizvodnje bakra iz primarnih sirovina u zavisnosti od opsega neto operativnih troškova u 2001. godini[92]

Neto operativni troškovi €/Lb	Procenat učešća u proizvodnji	Moguća kumulativna proizvodnja (u %)
Do 30	13,2	13,2
30-35	5,3	18,5
35-40	11,1	29,6
40-45	13,2	42,8
45-50	12,6	55,4
50-55	11,1	66,5
55-60	9,5	76,0
60-65	7,6	83,6
65-70	6,3	89,9
70-75	4,4	94,3
75-80	2,5	96,8
Preko 80	3,2	100,0
<b>Ukupno:</b>	<b>100,0</b>	

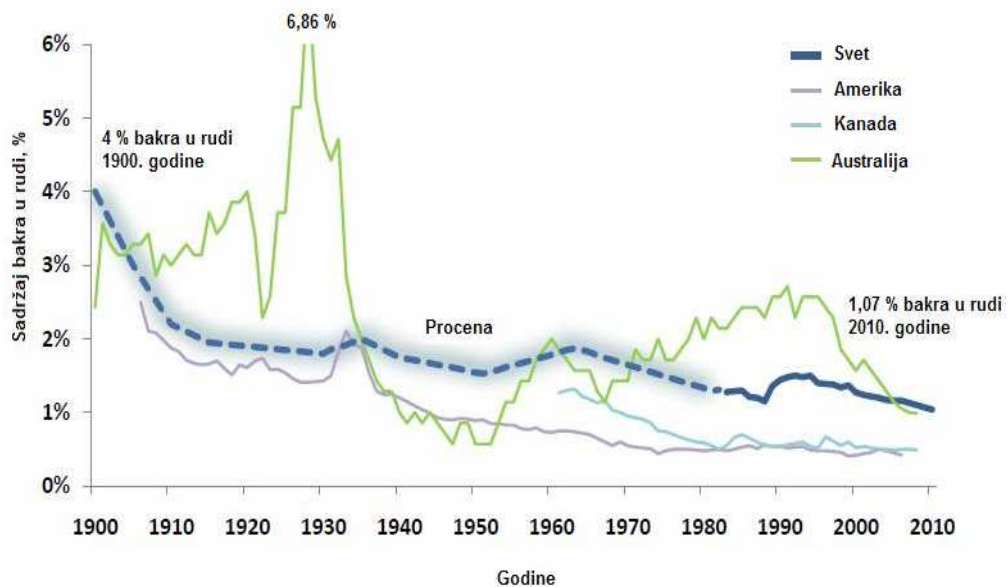


Sl. 34. C1 direktni troškovi najpoznatijih svetskih proizvođača bakra u svetu u odnosu na kumulativnu proizvodnju u 2011. godini[85]

### 3. Efekti i uticaji promena prirodnih i tehničko-tehnoloških faktora na proizvodnju bakra u svetu

Na osnovu prethodnih razmatranja može se sagledati uticaj najvažnijih faktora na kretanje troškova proizvodnje u proteklom i sagledati moguće tendencije u narednom periodu. U zavisnosti od njihovog uticaja, ovi faktori mogu se svrstati u dve grupe: (1) faktori sa negativnim uticajem i (2) faktori sa pozitivnim uticajem. U prvu grupu faktora spadaju:

- pad sadržaja bakra u rudi (sl. 35) u svetu i zemljama koje su najveći proizvođači: Amerika, Kanada i Australija. Isprekidana kriva daje procenu po kojoj se jasno vidi da je u vremenskom periodu od 1900. do 2008. godine sadržaj bakra u rudi pao sa 4 % na 1,07 % ili 3,7 puta. Porast sadržaja bakra u rudi je zabeležen samo u Australiji 1972. godine zbog otvaranja rudnika Olympic Dam.[93]



Sl. 35. Dinamika kretanja sadržaja bakra u rudi u svetu, Americi, Kanadi i Australiji u periodu od 1900. do 2008. godine[93]

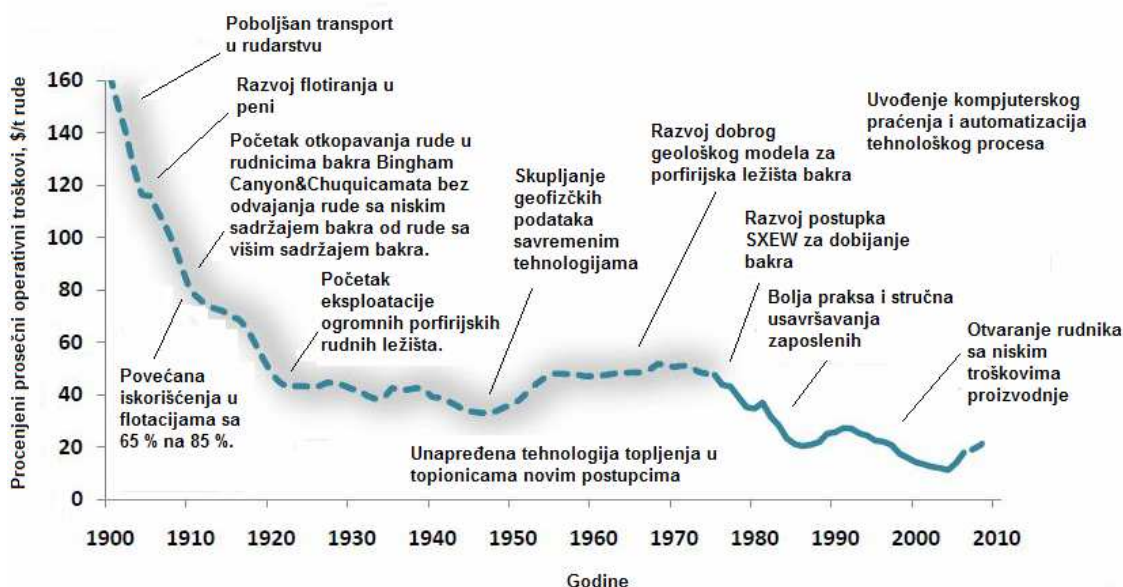
- promene regionalnog rasporeda svetske proizvodnje bakra usled visokog rasta proizvodnje u zemljama u razvoju na područjima koja zahtevaju velika kapitalna ulaganja i visoke troškove proizvodnje. Eksploatacija relativno bogatih rudnih ležišta na tim područjima je dovela do usporavanja opadanja prosečnog sadržaja bakra u svetu, ali usled nepovoljnih drugih uslova proizvodnje, nije došlo do adekvatnog smanjenja prosečnih troškova u svetskoj proizvodnji bakra.
- veoma rigorozni zahtevi zaštite životne sredine u razvijenim zemljama, a zatim i u zemljama u razvoju, su doprineli zameni postojećih tehnologija savremenim autogenim postupcima topljenja u metalurgiji, velika kapitalna ulaganja u rudarstvu, što je značajno uticalo na povećanje troškova proizvodnje.
- rast cena energenata (nafte, električne energije) i drugih inputa.

Druga grupa faktora obuhvata razvoj tehnike i tehnologije i primenu tehnoloških dostignuća u cilju sniženja troškova proizvodnje i jačanja konkurentske sposobnosti proizvođača bakra. Najvažniji efekti ove grupe faktora su:

- povećanje produktivnosti rada u razvijenim zemljama i zemljama Latinske Amerike za oko 3,5 puta pri čemu je u 2000. godini proizvodnja ovih zemalja imala učešće od 72 % ukupne rudničke proizvodnje u zapadnom svetu.
- smanjenje troškova energenata od 30 %-35 %, eksploziva, čelika, flotacijskih reagenasa u rudarstvu što je rezultat naučnog i tehničko-tehnološkog progresa.
- zamenom starih tehnologija novim autogenim postupcima topljenja povećano je iskorišćenje na bakru i pratećim metalima od 5 %-7 %, što direktno utiče na povećanje proizvodnje i smanjenje ukupnih troškova.
- visok rast proizvodnje primenom hidrometalurških postupaka sa niskim troškovima dobijanja bakra.
- razvoj novih metoda otkopavanja rude, bitno su uticale na smanjenje prosečnih troškova proizvodnje rude, a samim tim i na smanjenje koeficijenta jalovine na površinskim kopovima.
- privremeno ili trajno zatvaranje rudarskih i metalurških kapaciteta sa visokim troškovima proizvodnje.



Navedeni negativni faktori su uticali na povećanje prosečnih neto operativnih troškova od 39,7 % u razvijenim zemljama u periodu od 1971. do 2000. godine, dok su pozitivni faktori doveli do smanjenja troškova od 76,5 %, pri čemu su na taj način troškovi smanjeni 36,7 procenata. Na sl. 36 su date ključne tehničke i tehnološke inovacije u periodu od 1900. do 2009. godine[89] koje su imale značajan uticaj na smanjenje prosečnih operativnih troškova u rudarstvu i metalurgiji. Na smanjenje troškova najveći uticaj su imali tehničko-tehnološki razvoj i natprosečan rast produktivnosti rada. Time se dokazuje teza da je proizvodnja bakra, u uslovima značajnog opadanja sadržaja bakra u rudi i velikog pada i stabilizacije cene bakra na niskom nivou, izašla iz duboke krize i obezbedila dalji razvoj, zahvaljujući upravo ovim faktorima.



Sl. 36. Uticaj ključnih tehničkih i tehnoloških inovacija u rudarstvu i metalurgiji na dinamiku kretanja prosečnih operativnih troškova u periodu od 1900. do 2009. godine[89]

Zahvaljujući ovim faktorima proizvodnja bakra je i usled nepovoljnih okolnosti kao što su opadanje sadržaja bakra u rudi, niske cene bakra u dužim vremenskim periodima uspjela da izađe iz krize i obezbedi sebi dalji razvoj. U suprotnom, cene bakra bi morale biti veće, što bi dovelo do veće supstitucije istog drugim metalima a takođe i do smanjenja svetske proizvodnje.

## 4. Potrošnja bakra u svetu

Krupne strukturne promene u svetskoj privredi, usponi, krize i depresije značajno su uticale i na kretanje potrošnje bakra. Potrošnja bakra od početka dvadesetog veka je stalno pratila industrijski i privredni razvoj u svetu. Razvoj nauke i tehnologije otvorao je nove perspektive potrošnje bakra, međutim pronalazak novih materijala, naročito poslednjih decenija doveo je do supstitucije ovog metala u veoma važnim sektorima potrošnje, kao što su elektroindustrija i građevinarstvo. U ovom periodu su nastale velike promene u ovoj oblasti, koje su bitno uticale na kretanje i položaj proizvodnje bakra u svetu.

U periodu posle drugog svetskog rata potrošnja rafinisanog bakra je ubrzano rasla sa oporavkom svetske privrede i u 1960. godini je iznosila 4738000 t. Zaključno sa 2011. godinom potrošnja ovog metala u svetu povećana je 4,2 puta sa prosečnom godišnjom stopom rasta od 2,9 procenta (tabela 34).

Tabela 34. Kretanje potrošnje rafinisanog bakra u hiljadama tona i stopa rasta u periodu od 1960. do 2011. godine[94]

Godine	Potrošnja rafinisanog bakra	% rasta	Godine	Potrošnja rafinisanog bakra	% rasta	Godine	Potrošnja rafinisanog bakra	% rasta
1960	4738		1977.	9057	6,1	1994.	11560	5,2
1961	5050	6,6	1978.	9527	5,2	1995.	12043	4,2
1962	5048	-0,04	1979.	9848	3,4	1996.	12531	4,1
1963	5500	9,0	1980.	9396	-4,6	1997.	13103	4,6
1964	5995	9,0	1981.	9522	1,3	1998.	13519	3,2
1965	6193	3,3	1982.	9090	-4,5	1999.	14302	5,8
1966	6445	4,1	1983.	9510	4,6	2000.	15187	6,2
1967	6195	-3,9	1984.	9930	4,4	2001.	15009	-1,2
1968	6523	5,3	1985.	9798	-1,3	2002.	15210	1,3
1969	7137	9,4	1986.	10112	3,2	2003.	15717	3,3
1970	7291	2,2	1987.	10293	1,8	2004.	16838	7,1
1971	7296	0,1	1988.	10668	3,6	2005.	16674	-1,0
1972	7942	8,9	1989.	11081	3,9	2006.	17034	2,2
1973	8740	10,0	1990.	10886	-1,8	2007.	18196	6,8
1974	8310	-4,9	1991.	10563	-3,0	2008.	18054	-0,8
1975	7445	-10,4	1992.	10866	2,9	2009.	18088	0,2
1976	8539	14,7	1993.	10992	1,2	2010.	19364	7,1
						2011.	19885	2,7

Tendencija opadanja rasta potrošnje bakra u svetu je naročito bila izražena od 1974. do 1976. godine, kada je potrošnja rasla po prosečnoj stopi od 1,3 % godišnje, za razliku od prethodnog perioda 1960. do 1973. u kome je ta stopa iznosila 4,8 procenata (tabela 34). Na opadanje rasta potrošnje bakra uticao je pad industrijske proizvodnje zbog energetske krize 1973-1974. godine i velike recesije 1980-1982. godine. U navedenim vremenskim periodima potrošnja bakra je imala skoro dva puta nižu stopu rasta u odnosu na rast industrijske proizvodnje. U Sjedinjenim Američkim Državama, Japanu i Zapadnoj Evropi potrošnja ovog metala je u 1986. godini bila na nivou iz 1973. godine, a prosečna godišnja stopa rasta u svim zemljama zapadnog sveta je iznosila samo 0,8 procenata. Takva dinamika kretanja potrošnje bakra je bila osnovni uzrok dugotrajne krize svetske proizvodnje bakra, koja se nije brzo prilagodila novim tržišnim uslovima zbog svojih specifičnosti. Pad i usporavanje rasta potrošnje pratilo je veliko povećanje berzanskih zaliha bakra, što je dovelo do velikog pada i održavanja niske cene bakra na svetskom tržištu. Može se reći da je ovo najteži period u posleratnoj istoriji proizvodnje bakra u svetu.

Usporavanje rasta potrošnje bakra, naročito u razvijenim zemljama, desio se zbog supstitucije ovog metala drugim materijalima. Aluminijum, plastične mase a delimično i čelik, u velikoj meri su u tom periodu zamenili bakar najviše u elektroindustriji, automobilskoj industriji i građevinarstvu. Tome su doprinele i izuzetno visoke cene bakra u periodu 1961-1974. godine, koje su dodatno uticale na potrošače bakra da zamene ovaj metal nekim jeftinijim materijalima.

U periodu od 1990. do 2000. godine potrošnja bakra je rasla po prosečnoj godišnjoj stopi od 3,4 %, pri čemu je uporedo rasla i industrijska proizvodnja u svetu po stopi od 3,3 % godišnje. To dokazuje da je intezitet supstitucije bakra u ovom periodu značajno smanjen i da je uspostavljena nova ravnoteža bakra i njegovih supstituta. Početkom ovog veka, usled krize i pada industrijske proizvodnje u svetu je smanjena potrošnja bakra, a zatim je usporeno rasla do 2003. godine, da bi tek u 2004. godini dostigla stopu rasta od 7,1 procenata. U periodu od 2006. do 2007. godine je prosečni rast bio nizak i iznosio je

samo 0,6 % da bi u 2007. godini dostigao vrednost od 6,8 procenata. Međutim, u periodu od 2008. do 2009. godine došlo je do svetske ekonomske krize i smanjene privredne aktivnosti, pri čemu je potrošnja bakra zabeležila pad od 0,3 % da bi u 2010. godini stopa rasta dostigla vrednost od 7,1 procenata (tabela 34).

Glavni nosioci porasta potrošnje su bile zemlje u razvoju, dok je u najrazvijenijim zemljama zabeležena tendencija sporijeg rasta. Od 1986. do 2000. godine razvijene zemlje su imale nižu stopu rasta potrošnje za oko 30 % nego što je iznosila prosečna stopa rasta u svetu, a početkom ovog veka 2001. do 2003. godine, potrošnja u ovim zemljama je smanjena za blizu 14 procenata. Na drugoj strani, u zemljama u razvoju, a naročito u zemljama koje su u poslednjih petnaest godina dvadesetog veka imale visoke stope privrednog razvoja, potrošnja bakra je od 1987. do 1990. godine rasla po prosečnoj godišnjoj stopi od 5,1 %, pri čemu je najveći rast ostvaren u periodu od 1991. do 2003. godine (tabela 34), kada je potrošnja u ovim zemljama rasla po prosečnoj stopi od 6,1 % godišnje. Blizu 90 % povećanja svetske potrošnje bakra u tom periodu odnosi se na zemlje u razvoju, uključujući zemlje Dalekog istoka koje su u tom periodu dostigle visok stepen privredne razvijenosti. Time je učešće ovih zemalja u ukupnoj svetskoj potrošnji povećano od 34,5 % u 1985. godini na 50,5 % u 2003. godini, a učešće tradicionalno razvijenih zemalja je smanjeno od 65,5 % na 49,5 %, respektivno.

Navedeni trend nastavljen je i u periodu od 2004. do 2009. godine gde su zemlje u razvoju Kina, Brazil, Meksiko, Indija, Indonezija učestvovala u ukupnoj potrošnji bakra u svetu u proseku sa 39,2 %, dok su najrazvijenije zemlje imale učešće od 29,7 procenata.

Potrošnja bakra u svetu ima cikličan karakter kretanja. Periodi izrazito niskih i visokih stopa rasta se smenjuju, prateći ciklična kretanja u industrijskoj proizvodnji. U slučajevima kriza u svetskoj privredi, pad potrošnje bakra je dugotrajniji i znatno izraženiji. Periodi uspona su obično duži, dok krizni periodi najčešće traju od 3 do 4 godine. U poslednjih pedeset godina naročito se izdvajaju četiri krizna perioda: 1974-1976., 1980-1983., 1990-1992., 2001-2003. i 2008-2009. godine (tabela 34). Uticaj na ciklična

kretanja potrošnje ovog metala ima i razvoj tehnike i tehnologije ali u ovom slučaju te cikluse karakteriše neravnomernost i dugoročnost.

## **5. Regionalni raspored potrošnje rafinisanog bakra**

### **5.1. Promene u regionalnoj strukturi potrošnje bakra**

Velike promene u regionalnom rasporedu potrošnje rafinisanog bakra nastale su poslednjih decenija dvadesetog veka. Najveći potrošači ovog metala, Severna Amerika i Zapadna Evropa, u 1960. godini su imali učešće u ukupnoj potrošnji od 78,4 %, dok je u 2009. godini učešće smanjeno na 29 % ili 2,7 puta. Međutim, pojavili su se i novi veliki potrošači, koji do sredine osamdesetih godina nisu imali ozbiljnije kapacitete za preradu bakra, pri čemu je posebno je značajan rast potrošnje u Kini i Južnoj Koreji. Potrošnja bakra je u Kini povećana od 512000 tona u 1990. godini na 1888000 tona u 2000. godini, da bi u 2009. godini dostigla količinu od 7144000 tona. Južna Koreja je počela intenzivno da razvija preradu bakra krajem osamdesetih godina, i u 2000. godini je imala potrošnju od 861000 tona a u 2009. godini 936000 tona. Sličan slučaj je i sa Indijom koja je u 2000. godini imala potrošnju od 276000 tona a u 2009. godini 558000 tona (tabela 35). U 2000. godini učešće ovih zemalja u ukupnoj svetskoj potrošnji rafinisanog bakra je iznosilo 23,1 %, a u 2009. godini njihovo učešće je povećano na 52,9 procenata. Na drugoj strani, Azija i Latinska Amerika su povećale učešće u ukupnoj potrošnji sa 17,7 % 1960. godini na 68,9 % u 2009. godini (tabela 36).

Zemlje Latinske Amerike su u 2000. godini imale najveće učešće u rudničkoj proizvodnji od 43,1 %, ali su u potrošnji rafinisanog bakra učestvovala sa samo 7,5 procenata. Taj trend je nastavljen i u 2009. godini kada je učešće u rudničkoj proizvodnji bilo 46,9 % a u potrošnji rafinisanog bakra 4,8 procenata. To jasno ukazuje na stepen razvijenosti ovih zemalja kao i na potencijalno tržište u cilju povećanja potrošnje. Ozbiljniji napredak u preradi bakra u ovim zemljama učinjeni su tek u poslednjoj deceniji prošlog veka. Potrošnja bakra u Africi od 1980. godine stagnira, a nivo prerade je bio neznan u

Tabela 35. Potrošnja rafinisanog bakra po regionima i zemljama glavnim potrošačima u periodu 1960-2009. u hiljadama tona[95]

Zemlja-Region	1960	1970	1980	1990	2000	2002	2004	2006	2008	2009
Južna Afrika	26	35	89	68	69	93	97	85	83	91
Ostale afričke zemlje						55	65	137	248	127
<b>Afrika</b>	<b>26</b>	<b>35</b>	<b>89</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>148</b>	<b>162</b>	<b>222</b>	<b>331</b>	<b>218</b>
Argentina	26	29	43	26	49	20	33	30	30	27
Brazil	30	74	246	178	331	237	332	339	382	324
Kanada	107	229	209	181	272	274	297	302	197	142
Čile	13	21	43	45	83	81	100	111	103	91
Meksiko	20	54	123	127	476	383	394	348	318	337
SAD	1225	1860	1866	2150	3030	2364	2410	2096	2020	1630
Peru		3	19	30	45	55	55	55	55	
<b>Amerika</b>	<b>1421</b>	<b>2270</b>	<b>2549</b>	<b>2737</b>	<b>4286</b>	<b>3414</b>	<b>3621</b>	<b>3281</b>	<b>3105</b>	<b>2551</b>
Kina	110	180	330	512	1888	2737	3364	3614	5149	7144
Indija	62	55	77	135	276	295	335	407	515	558
Indonezija				49	70	109	188	185	205	205
Japan	304	821	1326	1577	1348	1164	1279	1282	1184	875
Južna Koreja		10	84	324	861	936	940	828	815	936
Malezija	62	55	77	135	276	165	191	224	224	224
Turska		14	33	109	244	225	281	302	365	318
Tajland				53	151	186	247	251	256	215
<b>Azija</b>	<b>538</b>	<b>1135</b>	<b>1927</b>	<b>2894</b>	<b>5114</b>	<b>5817</b>	<b>6825</b>	<b>7093</b>	<b>8713</b>	<b>10475</b>
Finska						89	105	83	61	66
Francuska	237	331	433	478	596	561	536	460	379	215
Nemačka	516	697	748	1028	1310	1067	1100	1398	1398	1138
Grčka		12	38	54	130	126	118	104	75	55
Italija	185	274	388	475	674	673	715	801	635	523
Poljska		76	213	153	290	247	274	275	242	215
Rusija						355	550	693	717	462
Španija	45	105	136	146	284	312	331	285	270	267
Švedska						169	189	184	179	151
Engleska	560	554	409	317	323	261	243	172	43	7
<b>Evropa</b>	<b>1543</b>	<b>2049</b>	<b>2365</b>	<b>2651</b>	<b>3607</b>	<b>3860</b>	<b>4161</b>	<b>4455</b>	<b>3999</b>	<b>3099</b>
<b>Ukupno</b>	<b>3528</b>	<b>5489</b>	<b>6930</b>	<b>8350</b>	<b>13076</b>	<b>13239</b>	<b>14769</b>	<b>15051</b>	<b>16148</b>	<b>16343</b>

Tabela 36. Regionalna struktura potrošnje rafinisanog bakra u periodu 1960-2009. u procentima[95]

Zemlja-Region	1960	1970	1980	1990	2000	2002	2004	2006	2008	2009
SAD	34,7	33,9	26,9	25,7	23,2	17,9	16,3	13,9	12,5	10,0
Kanada	3,0	4,2	3,0	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,2	0,9
Evropa	43,7	37,3	34,1	31,7	27,6	29,2	28,2	29,6	24,8	19,0
Azija	15,2	20,7	27,8	34,7	39,1	43,9	46,2	47,1	54,0	64,1
Latinska Amerika	2,5	3,3	6,8	4,9	7,5	5,9	6,2	5,9	5,5	4,8
Afrika	0,7	0,6	1,3	0,8	0,5	1,1	1,1	1,5	2,0	1,3
<b>Ukupno</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

odnosu na veličinu regiona do 2000. godine. U periodu od 2002. do 2008. godine Afrika je povećala svoje učešće u potrošnji rafinisanog bakra na 1,1-2 procenata (tabela 36).

U periodu od 1960. do 2009. godine potrošnja rafinisanog bakra u Severnoj Americi beleži pad sa 34,7 % na 10 %, Evropi sa 43,7 % na 19 % dok u Aziji beleži porast od 15,2 na 64,1 procenata. U Africi je potrošnja bakra bila višestruko niža u odnosu na razvijene zemlje, i kreće se od 0,5 do 2 procenata (tabela 36).

Potrošnja rafinisanog bakra u zemljama u razvoju, osim Kine, u periodu od 2000. do 2009. godine iznosila je 12 % svetske potrošnje. U poslednje vreme potrošnja bakra u ovim zemljama je daleko brže rasla u odnosu na razvijene zemlje, sa prosečnom godišnjom stopom rasta od 3,6 % u periodu 2000-2009. godine.[95]

Neravnomeran razvoj privrede u svetu prouzrokovao je i neravnomeran raspored potrošnje bakra. Upravo iz tog razloga postoje i ogromne razlike u potrošnji bakra po glavi stanovnika. U tabeli 37 data je potrošnja bakra po stanovniku u 2010. i 2011. god. gde se vidi da je najmanju potrošnju bakra po stanovniku imala Indija 0,55 kg/stanovniku odnosno 0,56 kg/stanovniku, dok zemlje sa jačom privredom kao što su Kina, Japan Nemačka, Koreja, Tajvan su imale potrošnju koja se kretala od 5,82 kg/stanovniku do 23,90 kg/stanovniku u 2011. godini.

Tabela 37. Potrošnja bakra po stanovniku u zemljama u 2010. i 2011. godini[94]

Zemlja	2010. godina	2011. godina	Povećanje/Smanjenje, %
Indija	0,55	0,56	1,82
Brazil	1,80	2,33	29,44
Kina	5,50	5,82	5,82
Japan	7,00	7,87	12,43
Nemačka	13,7	16,32	19,12
Koreja	18,50	17,14	-7,35
Tajvan	21,50	23,90	11,16



Sl. 37. Uporedni prikaz kretanja dinamike porasta stanovništva i potrošnje bakra po stanovniku u svetu[94]

Gledano u celini, prosečna potrošnja bakra po stanovniku u svetu u 2010. godini je iznosila 2,7 kilograma po stanovniku. (sl. 37).[94]

## 5.2. Raspored potrošnje i proizvodnje bakra u svetu

Poređenjem regionalnog rasporeda potrošnje i proizvodnje bakra može se sagledati stepen pokrivenosti potrošnje proizvodnjom u pojedinim zemljama i regionima, što je vrlo bitno u cilju sagledavanja budućih izvora potrošnje. U tom pogledu se izdvajaju dve karakteristične grupe zemalja. Prvu grupu čine zemlje Južne Amerike, Afrike i Indonezija, koje su u periodu od 2002. do 2009. godine imale učešće od 58 % u svetskoj rudničkoj proizvodnji i 26,6 % u proizvodnji rafinisanog bakra (bez Indonezije), a u potrošnji bakra njihovo učešće je iznosilo samo 7,4 procenata (tabela 38).

U drugu grupu zemalja spadaju veliki potrošači bakra kao što su Evropa, Japan, Kina, Koreja i Indija, čija je potrošnja u periodu od 2002. do 2009. godine iznosila 71,2 % ukupne potrošnje rafinisanog bakra u svetu, a koje su rudničkoj proizvodnji učestvovala samo sa 15,9 % i u proizvodnji rafinisanog bakra sa 53,8 procenata



(tabele 38-40). Pri tome, 70 %-80 % proizvodnje rafinisanog bakra u tim zemljama se zasniva na uvoznim sirovinama.

Tabela 38. Proizvodnja koncentrata bakra u svetu u periodu od 2000. do 2009. godine u hiljadama tona[96]

<b>Proizvodnja u rudnicima</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Kongo	32	57	70	98	131	145	239	385
Južna Afrika	90	89	86	97	99	106	118	116
Zambija	308	347	411	465	516	524	568	561
<b>Afrika</b>	<b>430</b>	<b>493</b>	<b>566</b>	<b>659</b>	<b>746</b>	<b>775</b>	<b>925</b>	<b>1062</b>
Argentina	204	199	177	187	180	180	157	143
Kanada	603	557	563	595	603	596	607	495
Čile	4581	4904	5413	5321	5361	5557	5330	5390
Peru	845	843	1036	1010	1048	1190	1268	1275
Meksiko	330	356	406	391	312	338	247	238
SAD	1140	1116	1160	1140	1197	1168	1334	1200
<b>Amerika</b>	<b>7703</b>	<b>7974</b>	<b>8754</b>	<b>8644</b>	<b>8702</b>	<b>9029</b>	<b>8942</b>	<b>8741</b>
Kina	568	604	742	762	873	928	1076	962
Indonesija	1163	1003	842	1064	817	789	650	970
Kazakstan	473	485	468	436	446	407	420	406
Mongolija	135	132	130	129	132	133	129	132
Filipini	20	20	16	16	18	23	21	49
Uzbekistan	80	82	83	104	104	104	104	80
<b>Azija</b>	<b>2439</b>	<b>2326</b>	<b>2281</b>	<b>2510</b>	<b>2389</b>	<b>2383</b>	<b>2401</b>	<b>2599</b>
Bugarska	84	80	80	95	110	103	109	108
Poljska	503	503	531	512	497	452	429	439
Portugalija	77	78	96	89	79	90	89	87
Rusija	685	665	767	805	779	770	785	742
Švedska	72	83	82	87	87	63	58	55
<b>Evropa</b>	<b>1421</b>	<b>1409</b>	<b>1555</b>	<b>1587</b>	<b>1552</b>	<b>1478</b>	<b>1470</b>	<b>1431</b>
Iran	141	146	153	193	230	249	255	255
Turska	75	61	50	48	57	65	71	61
<b>Srednji istok</b>	<b>215</b>	<b>207</b>	<b>203</b>	<b>241</b>	<b>288</b>	<b>315</b>	<b>325</b>	<b>316</b>
Australija	872	830	854	930	875	871	886	950
Papua Nova Gvineja	211	202	173	193	194	169	160	167
<b>Okeanija</b>	<b>1083</b>	<b>1032</b>	<b>1027</b>	<b>1123</b>	<b>1069</b>	<b>1040</b>	<b>1046</b>	<b>1116</b>
<b>Ukupno</b>	<b>13291</b>	<b>13442</b>	<b>14386</b>	<b>14764</b>	<b>14746</b>	<b>15020</b>	<b>15109</b>	<b>15265</b>

Sjedinjene Američke Države do 2001. godine su bile najveći potrošač bakra u svetu, i u dužem vremenskom periodu su imale potpuno pokriće potrošnje sopstvenom proizvodnjom rafinisanog bakra. Od početka osamdesetih godina stepen pokrića se smanjuje i kreće se između 72 % i 93 %, da bi se u periodu od 2002. do 2009. godine kretao od 54 % do 73 % ili 63 % u proseku. U odnosu na rudničku proizvodnju, pokriće potrošnje je manje, i u istom periodu se kretalo od 48 % do 74 % ili prosečno 59 procenata.

Amerika je imala usporen rast ove proizvodnje iz ekonomskih, a verovatno i strateških razloga, te je za proizvodnju rafinisanog bakra koristila i uvozne sirovine.

Tabela 39. Procentualno učešće zemalja/regiona u proizvodnji koncentrata bakra u svetu u periodu od 2002. do 2009. godine[96]

<b>Proizvodnja u rudnicima</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Afrika	3,2	3,7	3,9	4,5	5,1	5,2	6,1	7,0
Amerika	58,0	59,3	60,8	58,5	59,0	60,1	59,2	57,3
Azija	18,3	17,3	15,9	17,0	16,2	15,9	15,9	17,0
Evropa	10,7	10,5	10,8	10,8	10,5	9,8	9,7	9,4
Srednji istok	1,6	1,5	1,4	1,6	2,0	2,1	2,2	2,1
Okeanija	8,2	7,7	7,1	7,6	7,3	6,9	6,9	7,3
<b>Ukupno</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Sadašnji struktura potrošnje i proizvodnje bakra nameće veoma važno pitanje u kojoj meri je ta struktura dugoročno održiva i do kakvih posledica može doći ako zemlje u razvoju, koje raspolažu velikim prirodnim resursima, u narednom periodu intenziviraju razvoj proizvodnje i prerade rafinisanog bakra? To pitanje se danas rešava kupovinom koncesija za eksploataciju rudnog bogatstva i ulaganjima u rudničke i metalurške kapacitete od strane kompanija industrijski razvijenih zemalja. Rezerve rude bakra najvećih svetskih proizvođača u svetu u periodu 2008-2012. godine su date u tabeli 40 gde se vidi da najveći proizvođači (Kodelko, Southern Copper, Freeport McMoorean) imaju učešće od 57-60 procenata.[85]

Tabela 40. Rezerve rude bakra najvećih svetskih proizvođača u svetu u milionima tona u periodu 2008-2012. godine[85]

<b>Kompanija</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Kodelko	50,3	50,3	52,6	57,1	
Southern Copper	49,1	49,1	56,2	59,7	58,8
Freeport McMoorean	42,1	40,0	47,2	43,2	42,4
BHP Billiton	25,6	25,6	27,1	26,5	27,5
Anglo American	22,9	22,9	22,4	23,2	20,9
Rio Tinto	17,3	17,3	16,7	16,8	17,3
Xstrata	16,5	16,5	26,1	20,0	20,7
Vale	12,1	12,1	11,3	10,7	10,8
Antofagasta	10,2	10,2	8,5	8,9	8,8
<b>Ukupno</b>	<b>246,1</b>	<b>244</b>	<b>268,1</b>	<b>266,1</b>	<b>207,2</b>

Međutim, to dugoročno ne rešava problem razvoja nerazvijenih zemalja, te je otuda realno očekivati da će u regionalnom rasporedu proizvodnje i potrošnje bakra u bližoj ili daljoj budućnosti doći do većih promena. Kojim intenzitetom će se te promene odvijati teško je predvideti, jer to prvenstveno zavisi od raspoloživog finansijskog potencijala i razvojnih prioriteta tih zemalja. U tabeli 41 je data proizvodnja najvećih proizvođača katodnog bakra u svetu u periodu od 2008. do 2010. godine. Njihova ukupna proizvodnja se kretala od 8,589 miliona tona do 8,892 miliona tona katodnog bakra u ovom periodu i imala prosečno učešće od 53,9 % u ukupnoj svetskoj proizvodnji. Tu su svakako najveći proizvođači kompanije Kodelko (Čile), Freeport McMoRan (Amerika) i BHP Billiton (Australija) sa prosečnom godišnjom proizvodnjom od 4,481 miliona tona katodnog bakra ili sa procentualnim učešćem u svetskoj proizvodnji od 27,7 procenata.[97]

Tabela 41. Proizvodnja katodnog bakra najvećih svetskih kompanija u kt i njihovo procentualno učešće u ukupnoj proizvodnji u svetu[97]

Kompanija	Zemlja	Proizvodnja, 2008.god.	Proizvodnja, 2009.god.	Proizvodnja, 2010.god.	Udeo u ukupnoj proizvodnji, %
Kodelko	Čile	1548	1782	1760	11,1
Freeport McMoRan	Amerika	1565	1613	1512	9,5
BHP Billiton	Australija	1360	1171	1132	7,1
Xstrata	Švajcarska	903	872	899	5,6
Rio Tinto	Australija	691	817	701	4,4
Anglo American	Čile	641	666	626	3,9
Southern Copper	Meksiko	489	485	479	3,0
KGHM	Poljska	429	439	425	2,7
Norilsk Nickel	Rusija	417	401	384	2,4
Antofagasta	Čile	327	287	336	2,1
Kazakhmys	Kazakstan	371	359	335	2,1
<b>Ukupno</b>		<b>8741</b>	<b>8892</b>	<b>8589</b>	<b>53,9</b>

U tabeli 42 su date procenjene rezerve rude bakra za zemlje koje su najveći proizvođači istog u 2000. i 2010. godini. Ukupne rudne rezerve su u 2010. godini iznosile 635 miliona tone rude što je 87,32 % više u odnosu na 2000. godinu.

Geološka istraživanja su posebno intenzivna na područjima koja su perspektivna sa stanovišta pronalazačenja bogatih rudnih ležišta. U Čileu geološka istraživanja kreću se oko 150 miliona dolara godišnje, a u desetogodišnjem periodu od 1991. do 2001. godine je

uloženo 1,6 milijardi dolara. Slična je situacija i sa drugim južnoameričkim državama (Peru, Meksiko, Brazil i dr.). Takođe, postoji ogroman interes velikih multinacionalnih kompanija da obezbede pravo na istraživanja najperspektivnijih područja, a time i pravo na eksploataciju bogatih rudnih ležišta u svetu.[98]

Tabela 42. Dinamika kretanja rudnih rezervi bakra u hiljadama tona rude u 2000. i 2010 .godini u svetu[98]

Zemlja	Rezerve na kraju 2000. god.	Rezerve na kraju 2010. god.	% povećanja/smanjenja, 2010/2000
Amerika	45000	35000	-22,22
Australija	9000	80000	788,89
Kanada	10000	8000	-20,00
Čile	88000	150000	70,45
Kina	18000	30000	66,67
Indonezija	19000	30000	57,89
Kazakstan	14000	18000	28,57
Meksiko	15000	38000	153,33
Peru	19000	90000	373,68
Poljska	20000	26000	30,00
Rusija	20000	30000	50,00
Zambija	12000	20000	66,67
Ostale zemlje	50000	80000	60,00
<b>Ukupno</b>	<b>339000</b>	<b>635000</b>	<b>87,32</b>

Tabela 43. Procenjene investicije u rudarstvu u Latinskoj Americi izražene u milijardama dolara u periodu do 2020. godine[99]

Zemlja	Investicije, milijardi dolara	Vremenski rok
Argentina	10	2015
Brazil	64	2015
Čile	60	2020
Kolumbija	22	2020
Ekvador	7	2020
Meksiko	13	2012
Panama	4	2020
Peru	48	2020
<b>Ukupno</b>	<b>228</b>	

U tabeli 43 su date procenjene investicije u rudarstvu u zemljama Latinske Amerike pri čemu se vidi da najveći proizvođači bakra kao što su Čile, Brazil i Peru ulažu 50-65 milijardi dolara u proširenje kapaciteta postojećih rudnika i realizaciju novih projekata.[99]

Tabela 44. Procena porasta proizvodnje koncentrata bakra u svetu u periodu od 2009-2016. godine[97]

Zemlja	Proizvodnja	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Ukupno povećanje 2016/2009
Mongolija	Koncentrati	0	0	0	0	200	200	300	400	400
Peru	Koncentrati	630	630	630	840	1302	1802	1824	1868	1358
Peru	SX-EW	0	0	0	40	120	160	172	172	172
Čile	Koncentrati	1200	1370	1661	1941	2266	2612	2612	2902	1702
Čile	SX-EW	7	20	20	30	45	60	60	60	53
Kongo	SX-EW	195	245	355	415	515	535	615	615	420
Brazil	Koncentrati	0	0	100	100	200	200	200	200	200
Meksiko	Koncentrati	235	235	235	235	275	275	463	463	228
Meksiko	SX-EW	55	55	55	87	144	144	194	194	139
Zambija	Koncentrati	0	50	180	180	225	225	225	225	225
Zambija	SX-EW	25	25	25	100	140	165	60	60	60
Ekvador	Koncentrati	0	0	0	0	30	60	60	60	60
Kazakstan	Koncentrati	0	0	0	0	0	100	200	200	200
Kazakstan	SX-EW	0	0	3	7	20	21	21	21	21
Amerika	Koncentrati	0	48	57	57	57	157	157	157	157
Amerika	SX-EW	0	0	0	0	36	36	36	36	36
Australija	Koncentrati	155	150	150	150	120	181	206	206	51
Iran	Koncentrati	235	235	235	340	340	340	340	340	105
Saud. Arabija	Koncentrati	0	0	0	60	60	60	60	60	60
Indonezija	Koncentrati	0	5	30	57	57	57	57	57	57
Kina	Koncentrati	139	182	230	250	300	320	320	320	181
Kina	SX-EW	53	83	83	105	110	130	130	130	77
Kanada	Koncentrati	0	0	48	82	119	119	119	119	119
Španija	Koncentrati	0	0	0	37	37	37	37	37	37
Španija	SX-EW	30	72	72	72	72	72	72	72	42
Grčka	Koncentrati	0	0	0	10	20	40	40	40	40
Bocvana	Koncentrati	0	0	0	34	34	34	34	34	34
Dominik. rep.	Koncentrati	0	0	0	20	30	30	30	30	30
Entrea	Koncentrati	0	0	0	0	81	81	81	22	22
Švedska	Koncentrati	68	75	78	81	85	90	90	90	22
<b>Ukupno</b>		<b>3027</b>	<b>3480</b>	<b>4247</b>	<b>5330</b>	<b>7040</b>	<b>8343</b>	<b>8815</b>	<b>9190</b>	<b>6308</b>

U tabeli 44 je dato predviđanje porasta proizvodnje koncentrata u svetu u vremenskom periodu od 2009. do 2016. godine klasičnim i SX-EW postupcima. Najveći porast u proizvodnji koncentrata imaju Peru i Čile od 3,258 miliona tona koncentrata što iznosi 52,1 % u ukupnom povećanju proizvodnje u svetu.[97]

### 5.3. Finalna potrošnja bakra

Finalna potrošnja bakra podrazumeva potrošnju ovog metala u proizvodnji finalnih proizvoda koji se koriste u reprodukcionalnoj ili ličnoj potrošnji. Otežavajuća okolnost se ogleda u tome što su proizvodni procesi međusobno povezani i isprepletani, a potrošnja ovog metala je zastupljena u skoro svim privrednim sektorima. U većini slučajeva se finalni proizvodi jedne industrijske grane ugrađuju u finalne proizvode drugih delatnosti. Najbolji primer je građevinarstvo gde se koriste finalni proizvodi mašinske, elektro ili druge industrije u kojima bakar predstavlja značajnu sirovinu. Međutim, u podacima vezanim za svetsku potrošnju bakra ne postoje precizne statističke informacije za takva detaljna istraživanja.

Za izučavanje potrošnje bakra u svetu veoma je važna struktura potrošnje bakra po pojedinim privrednim sektorima. Ona se dosta razlikuje u zavisnosti od nivoa i strukture industrijske proizvodnje i predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja nivoa privredne razvijenosti svake zemlje. Zato polazna osnova za ozbiljno istraživanje potrošnje bakra mora polaziti od strukture krajnje potrošnje ovog metala. Pri tome se pod krajnjom potrošnjom podrazumeva potrošnja bakra sadržanog u poluproizvodima, kablovima i provodnicima i drugim proizvodima namenjenim daljoj potrošnji. Na primer, u izveštaju kompanije AURUBIS za 2012. godinu u Nemačkoj se preko 3,5 miliona kvadratnih metara bakra godišnje koristi u građevinarstvu za eksterijere zgrada, 1 kilometar bakarnih kablova se može naći u svakom automobilu srednje klase, oko 90 % absorpcionih površina solarnih panela se pravi od bakarnih limova i oko 250 tona bakra se koristi u izradi novih mobilnih telefona svake godine.[100]

U svetu postoji jedinstvena podela po kojoj se krajnja potrošnja bakra svrstava u pet osnovnih privrednih sektora: (1) elektroindustrija, (2) građevinarstvo, (3) mašinska industrija, (4) transport i (5) široka potrošnja. Ova klasifikacija nije apsolutno precizna, ali je dovoljna za globalna sagledavanja strukture potrošnje.

U tabelama 45-47 su navedeni privredni sektori u Evropi, Japanu i Americi, koji su imali promenljiva učešća bakra u ukupnoj potrošnji u vremenskom periodu od 1987. do 2003. godine.[101]

Tabela 45. Potrošnja bakra u Evropi po industrijama[101]

<b>Naziv industrije</b>	<b>1987</b>	<b>1989</b>	<b>1991</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>1999</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>
Elektroindustrija	16,4	16,8	17,3	16,1	16,7	16,7	15,7	16,4	16,4
Građevinarstvo	42,4	42,8	45,5	48,2	46,5	48,6	48,9	46,3	49,3
Mašinska Industrija	16,0	16,7	16,6	16,4	15,9	15,3	15,7	14,9	15,6
Transport	8,2	8,1	7,9	7,0	7,6	7,3	6,9	7,2	6,8
Široka potrošnja	9,0	9,4	8,9	7,9	8,1	7,8	8,4	10,5	7,3
Ostalo	8,0	6,3	3,8	4,5	5,2	4,3	4,5	4,8	4,6
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabela 46. Potrošnja bakra u Japanu po industrijama[101]

<b>Naziv industrije</b>	<b>1987</b>	<b>1989</b>	<b>1991</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>1999</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>
Elektroindustrija	28,4	27,2	27,9	29,2	29,8	30,7	32,4	29,6	32,9
Građevinarstvo	16,3	17,1	24,6	23,2	24,4	23,4	23,4	24,5	22,0
Mašinska industrija	6,6	7,2	6,8	6,7	6,5	6,9	6,5	7,2	6,9
Transport	12,5	11,8	10,6	10,4	8,8	8,2	8,1	8,0	8,0
Široka potrošnja	18,1	18,2	17,0	17,6	16,2	17,0	17,3	19,0	18,0
Ostalo	18,1	18,4	13,0	12,9	14,3	13,8	12,3	11,6	12,2
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabela 47. Potrošnja bakra u Americi po industrijama[101]

<b>Naziv industrije</b>	<b>1987</b>	<b>1989</b>	<b>1991</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>1999</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>
Elektroindustrija	23,0	23,4	24,3	25,5	25,5	26,2	26,2	25,6	21,3
Građevinarstvo	42,9	40,7	41,7	40,9	41,5	41,7	42,7	45,5	48,9
Mašinska industrija	13,2	14,3	13,0	11,9	12,3	11,7	11,0	9,5	9,4
Transport	11,5	11,7	11,3	12,7	10,9	10,6	10,0	9,1	10,0
Široka potrošnja	9,4	10,0	9,8	8,9	9,9	9,8	10,2	10,3	10,4
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Elektroindustrija je jedna od najvažnijih oblasti krajnje potrošnje bakra u razvijenim zemljama, koja je u periodu od 1987. do 2003 godine učestvovala sa 15,7 % do 32,9 procenata (tabele 45-47). U ovoj oblasti se 72 %-75 % od ukupne potrošnje bakra troši za proizvodnju žice, kablova i provodnika, a 25 %-28 % se koristi za proizvodnju cevi, traka, folija, profila i drugih proizvoda na bazi bakra i bakarnih legura. Takođe, bakar je veoma bitna komponenta u izradi generatora, motora, transformatora, proizvodnih sistema

obnovljive energije (solarne, vetra, geotermalne i dr.), u komunikacionim tehnologijama i tehnologijama za brzi prenos informacija (ADSL, HDSL) i dr. Glavni supstitut bakra u ovoj industrijskoj grani je aluminijum koji ima manju zapreminu 63 %, ali i manju gustinu 30 % pa je npr. za isti nivo provodljivosti potrebno 50 % (zapreminski) manje aluminijuma ali sa prečnikom većim 25 procenata. Upravo iz ovih razloga postoji ograničavajuća primena aluminijuma u elektro i mašinskoj industriji.[94] I pored supstitucije bakra aluminijumom u produkciji energetskih kablova i optičkih vlakana u proizvodnji telekomunikacionih provodnika, potrošnja bakra u energetici i elektroindustriji je od 1987. do 2003. godine rasla po prosečnoj godišnjoj stopi od 0,9 % u Japanu, a u Americi je zabeležila pad od 0,5 % dok je u Evropi ostala na istom nivou.

Građevinarstvo je takođe važan sektor potrošnje bakra, naročito u Americi i Evropi, gde se učešće potrošnje bakra u građevinarskoj industriji kretalo od 42 % do 50 % i raslo prosečno po godišnjoj stopi od 0,8 %, odnosno 1 % u vremenskom periodu od 1987.-2003. godine. U Japanu se učešće ovog sektora u periodu od 1987. do 2003. godine kretalo od 16,3 % do 22 % sa godišnjom stopom rasta od 1,9 procenata. Potrošnja bakra u građevinarstvu neposredno je vezana za nivo privredne razvijenosti svake zemlje i životni standard njenih građana. U građevinarstvu se bakar i bakarne legure koriste za vodosnabdevanje, centralno grejanje, električne instalacije, razvod gasa, krovove, oluke, okove, gelendere, ukrase i sl. U proseku, pri gradnji jedne kuće potrebno je 199 kg bakra dok je za gradnju zgrade potrebno 126 kg po stanu u obliku žice, vodovodnih cevi, fittinga, ventila, cevi za grejanje i dr. Kao supstituti bakra u ovoj oblasti pojavljuju se aluminijum, plastika, galvanizirani čelik i drugi materijali, ali je, i pored toga, potrošnja bakra u ovoj oblasti zabeležila natprosečni rast.[94]

Potrošnja bakra u mašinskoj industriji odnosi se na veoma širok spektar proizvoda u kojima bakar ima svoju primenu. Poluproizvodi od bakra i bakarnih legura se u ovom sektoru koriste neposredno u vidu kablova, provodnika, odlivaka, profila, cevi, kontaktnog materijala ili posredno, u vidu proizvoda metaloprerađene i drugih delatnosti. Zbog svojih osobina (trajnosti, obradivosti i sposobnosti da se može liti sa velikom preciznošću) legure



bakra su idealne za izradu zupčanika, ležajeva i lopatica turbina. Njegova dobra toplotna provodljivost, kao i mogućnost da izdrži ekstremne uslove rada, su uticale da se bakar primenjuje za izradu izmenjivača toplote, sudova pod pritiskom i dr. Koroziona postojanost bakra i legura bakra (mesing, bronza i bakar-nikl legura) omogućile su mu primenu i u brodogradnji za izradu rezervoara, cevovoda, propelera, naftnih platformi.[94] U Japanu se učešće ovog sektora kretalo od 6 % do 7 %, dok je Evropi i Americi iznosilo 14 %-16 % odnosno 9-14 procenata (tabele 45-47). I u ovoj oblasti prisutan je proces supstitucije bakra nerđajućim čelikom, aluminijumom, titanom i plastikom, ali se istovremeno istražuju i primenjuju novi materijali na bazi bakra i bakarnih legura.

Industrija transportnih sredstava uključuje proizvodnju putničkih i teretnih vozila, sredstava železničkog i avio saobraćaja, brodova, nekih poljoprivrednih mašina i dr. Bakar-nikl legure se koriste za izradu trupova brodova i čamaca da bi se smanjilo trenje, potrošnja goriva i taloženje mikroorganizama na mokrim površinama. Ovo je relativno mali sektor potrošnje bakra, koji je učestvovao u ukupnoj potrošnji u proseku sa oko 10 % u vremenskom periodu od 1987. do 2003. godine (tabele 45-47). Proizvodnja vozila je najveći potrošač bakra, sa čak 80 % ukupne potrošnje u ovom sektoru. Danas, automobil srednje klase sadrži oko 22,5 kg bakra, dok luksuzniji automobili sadrže oko 45 kg bakra. Bakar se koristi i u izradi nove generacije aviona i vozova pri čemu u izradi putničkog aviona Boeing 747-200 težine cca 170 t učešće bakra iznosi oko 2 % ili cca 3,5 tona. Brzi vozovi koriste od 2 t do 4 t bakra, što je znatno više u odnosu na tradicionalne električne vozove koji su imali 1 do 2 tone bakra.[94] Međutim, veliki uticaj razvoja tehnike i tehnologije i u ovoj oblasti doprineo je smanjenju potrošnje bakra kao i supstituciju bakra aluminijumom, plastikom i drugim materijalima.

U grupu potrošnih i drugih raznovrsnih proizvoda svrstavaju se mnogi proizvodi finalne potrošnje kao što su: aparati za domaćinstvo, proizvodi naoružanja, metalni novac, nakit i ukrasni predmeti, nameštaj i slično.[102] Na primer, za izradu frižidera je potrebno oko 2 kg bakra, dok je za jedan klima uređaj potrebno oko 6,8 kilograma. U Americi metalni novac od 1 centa sadrži 2,5 % bakra dok metalni novac od 5 centa ima u sebi 75 %

bakra. Takođe, i metalni novac Evropske unije sadrži bakar kao jedan od glavnih elemenata. Ovde spada i potrošnja bakra u farmaceutskoj industriji, proizvodnji stočne hrane i drugoj hemijskoj industriji.[94] Pojedinačno posmatrano, ovi proizvodi sadrže relativno malu količinu bakra, ali u celini, u ukupnoj potrošnji bakra, učestvovali su sa 7 %-12 % u Evropi i Americi dok je u Japanu to učešće veće i kretalo se od 17 % do 19 % u periodu od 1987. do 2003. godine. (tabele 45-47).

Iz svega navedenog može se zaključiti da se učešće sektora u krajnjoj potrošnji bakra menja pod uticajem razvoja tehnike i tehnologije i supstitucije ovog metala. U svakoj zemlji ono je različito kao rezultat različite industrijske i uopšte privredne strukture. U tabeli 48 je data potrošnja bakra u svetu po industrijskim sektorima u periodu od 2005. do 2009. godine.

Tabela 48. Potrošnja bakra po industrijskim granama izražena procentualnim učešćem u periodu 2005-2009. godina[103]

Naziv industrije	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Elektroindustrija	36	36	35	33	32	42	33	34
Građevinarstvo	31	31	33	35	38	28	33	31
Mašinska industrija	12	12	12	11	10	9	13	13
Transport	10	10	10	10	10	12	13	13
Široka potrošnja	12	12	11	11	10	9	8	9
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Dva sektora su dominantna: elektroindustrija sa procentualnim učešćem od 32 % do 36 % i građevinarstvo sa 31 do 38 procenata. Ostali sektori proizvodnje, kao što su mašinska industrija, transport i široka potrošnja, imaju procentualno učešće koje se kreće od 8 do 13 procenata.

## 6. Supstitucija bakra

Supstitucija sirovina je stalan proces koji je u većoj ili manjoj meri zastupljen u svim oblastima društvene reprodukcije. Pronalaskom novih materijala i njihova primena koja smanjuje troškove i obezbeđuje isti ili bolji kvalitet proizvoda u mnogim oblastima, je

imperativ opstanka proizvođača u uslovima oštre tržišne konkurencije. Ukoliko se istraživanjem ne obezbedi veća primena tih materijala u novim oblastima doći će do smanjenja ili usporavanja rasta ukupne potrošnje pojedinih vrsta materijala.

Supstitucija se ne odvija vremenski ravnomerno i isključivo zavisi od rezultata naučnog i tehničko-tehnološkog razvoja. Sa ekonomskog stanovišta, ona je uvek u funkciji poboljšanja upotrebni vrednosti supstituta i njihovih tržišnih cena. Opšte je poznato da se u procesu proizvodnje veoma često alternativno mogu koristiti dva ili više materijala, zavisno od njihovih svojstava i troškova proizvodnje koji nastaju njihovom primenom. Međutim, treba naglasiti da je alternativno korišćenje različitih materijala u većini slučajeva skoro uvek vezano za značajna ulaganja u opremu i tehnologiju, obuku kadrova, a u velikoj meri neizvesno je i kretanje nabavnih cena tih materijala.

Važan razlog za opadanje intenziteta potrošnje bakra se ogleda u tome što je bakar već duže vreme imao standardne sfere potrošnje, bez velikih prodora u nove oblasti. Takođe, bakar je u mnogim oblastima potrošnje poslednjih decenija prošlog veka potiskivan primenom drugih materijala koji su nastali kao rezultat tehničko-tehnološkog napretka. Razvoj nauke i tehnologije u proizvodnji bakra ima zadatak da neutrališe stalan negativan uticaj prirodnih uslova eksploatacije na porast troškova proizvodnje i da obezbedi konkurentnost ovog metala na svetskom tržištu u odnosu na druge materijale koji se pojavljuju kao njegovi potencijalni supstituti. Sa tog aspekta, potrošnja bakra je veoma podložna supstitucionim materijalima, ali zahvaljujući svojim osobinama ovaj metal u najvažnijim sferama potrošnje (elektroindustrija i građevinarstvo) i dalje ima dominantno mesto. Supstitucija bakra naročito je bila izražena od sredine šezdesetih godina prošlog veka, pri čemu su najvažniji supstituti ovog metala aluminijum, optička vlakna, plastične mase i čelik.[104,105]

Aluminijum je glavni supstitut bakra i veoma je bitan njegov uticaj na potrošnju bakra jer je bakar poslednjih decenija imao izuzetno visoku stopu rasta potrošnje. U 1950. godini odnos potrošnje bakra i aluminijuma je bio 1,9, a već u 1960. godine potrošnje ova

dva metala se skoro izjednačuju (tabela 49). U 1980. godini potrošnja aluminijuma je dostigla nivo od 15320000 tona i bila je veća od potrošnje bakra 63 procenta. Sa određenim oscilacijama, taj odnos je zadržan do 2000. godine. U periodu 1950-1980. godine potrošnja aluminijuma je povećana 9,7 puta sa prosečnom stopom rasta od 7,9 % godišnje. Najveća stopa rasta je ostvarena od 1950. do 1970. godine (9,7 % godišnje). U ovom periodu stope rasta potrošnje aluminijuma bile su skoro dva puta veće u odnosu na stope rasta potrošnje bakra. U periodu od 1985. do 2000. godine, potrošnja aluminijuma je imala mirniji rast sa prosečnom godišnjom stopom od 3,2 procenta. Trend porasta potrošnje aluminijuma u odnosu na bakar nastavljen je i u vremenskom periodu od 2000. do 2010. godine. U 2005. godini je potrošnja aluminijuma bila veća u odnosu na bakar 1,9 puta da bi u 2010. godini taj odnos iznosio 2,1 puta. Prosečna godišnja stopa rasta u ovom periodu je iznosila 4,9 procenta (tabela 49).

U periodu od 1950. do 1980. godine ostvaren je izuzetno visok rast potrošnje aluminijuma u velikoj meri usled supstitucije bakra u glavnim sektorima njegove potrošnje: elektroindustriji, građevinarstvu, industriji transportnih sredstava i proizvodnji potrošnih dobara.

Tabela 49. Potrošnja bakra i aluminijuma u svetu od 1950. do 2010. godine

Godina	Potrošnja u hiljadama tona		Period	Prosečne stope rasta (%)	
	Bakar	Aluminijum		Bakar	Aluminijum
1950.	3187	1584			
1960.	4738	4177	1951-1960.	4,3	11,7
1965.	6193	6605	1961-1965.	5,5	9,6
1970.	7291	10027	1966-1970.	3,1	8,7
1975.	7445	11454	1971-1975.	0,1	2,7
1980.	9396	15321	1976-1980.	4,3	6,0
1985.	9798	15600	1981-1985.	0,6	0,4
1990.	10886	17990	1986-1990.	2,9	2,9
1995.	12043	20965	1991-1995.	2,1	3,1
2000.	15187	24891	1996-2000.	4,6	3,5
2005.	16674	31877	2001-2005.	2,7	7,8
2010.	19364	40061	2006-2010.	3,1	5,0

Imajući u vidu njegove karakteristike (relativno visoka električna provodljivost, niska specifična težina, otpornost na oksidaciju kao i pogodnost za plastičnu preradu), a zatim i

znatno niže cene u tom periodu aluminijum je zamenio bakar u mnogim oblastima potrošnje bakra kao trajni supstitut ili kao alternativno rešenje. Rezultat svega toga je da je krajem devedesetih godina u proizvodnji energetskih kablova u svetu aluminijum je imao učešće od skoro 30 %, a u ukupnoj proizvodnji kablova i provodnika oko 8 procenta. S obzirom da se više od 50 % rafinisanog bakra troši u ovoj oblasti, dolazimo do zaključka da je samo u ovom sektoru supstituisano oko 570000 tona bakra godišnje. U građevinarstvu aluminijum ima veoma široku primenu. Kao supstitut bakra koristi se u izradi krovnih konstrukcija, grejnih tela, rashladnih uređaja, galanterije, gelendera, ukrasnih predmeta i sl. U industriji transportnih sredstava do najveće supstitucije bakra je došlo u proizvodnji hladnjaka, radijatora i raznih odlivaka koji se ugrađuju u putnička i teretna vozila, železničke vagona i lokomotive i druga sredstva.

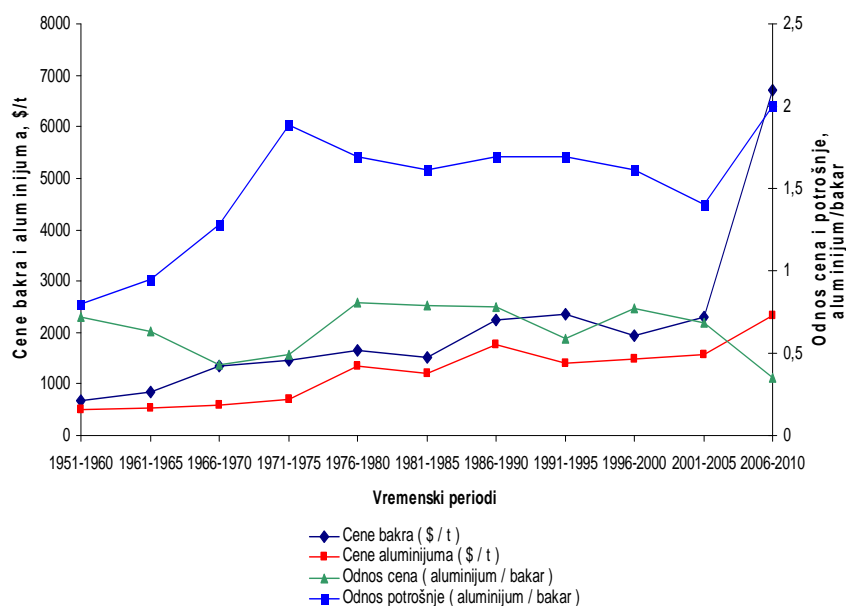
Bakar i aluminijum su na tržištu konkurentni metali čije se cene formiraju na međunarodnim berzama metala (LME, COMEX, NYMEX), tako da je od posebne važnosti istraživanje uticaja cena ovih metala na supstituciju bakra i kretanje njihove potrošnje. Analize pokazuju: (1) da su u periodu snažnog rasta potrošnje aluminijuma visoke cene bakra bile izuzetno važan faktor njegove supstitucije i (2) da postoji visok stepen međuzavisnosti cena bakra i aluminijuma i potrošnje ovih metala.[105,106]

Odnosi cena bakra i aluminijuma bili su veoma različiti u pojedinim vremenskim intervalima. Sa promenom tih odnosa nastajale su i promene u odnosima potrošnje tih metala. U periodu 1951-1960. godine prosečne cene aluminijuma i bakra bile su u relativnom odnosu 0,72:1 a potrošnja ovih metala u odnosu 0,80:1. U periodu 1966.-1975. godine odnos cena aluminijuma i bakra je pao na 0,43 odnosno 0,49 kada je zabeležen porast potrošnje aluminijuma u odnosu na bakar sa 1,28 na 1,89 (tabela 50 i sl. 38).

U periodu od 1976. do 2000. godine ovi odnosi cena i potrošnje između aluminijuma i bakra su se stabilizovali. U ovom periodu su se odnosi cena aluminijuma i bakra kretali od 0,59 do 0,81 ili u proseku 0,75 dok se odnos potrošnje kretao od 1,61 do 1,69 ili u proseku 1,66 (tabela 50 i sl. 38).

Tabela 50. Kretanje cena i potrošnje bakra i aluminijuma u zapadnom svetu  
u periodu 1950-2010. godine (prosek perioda)

Period	Cene bakra (\$/t)	Cene aluminijuma (\$/t)	Odnos cena (Aluminijum/bakar)	Odnos potrošnje (Aluminijum/bakar)
1951-1960.	678	492	0,72	0,80
1961-1965.	837	530	0,63	0,95
1966-1970.	1353	577	0,43	1,28
1971-1975.	1447	705	0,49	1,89
1976-1980.	1652	1338	0,81	1,69
1981-1985.	1525	1198	0,79	1,61
1986-1990.	2258	1766	0,78	1,69
1991-1995.	2355	1394	0,59	1,69
1996-2000.	1923	1480	0,77	1,61
2001-2005.	2297	1570	0,68	1,40
2006-2010.	6698	2327	0,35	2,00



Sl. 38. Kretanje odnosa cena i potrošnje bakra i aluminijuma u periodu  
1960-2010. godina (zapadni svet)

U periodu od 2000. do 2005. godine dolazi do rasta cene bakra u odnosu na aluminijum i to za 1,5 puta, pri čemu je odnos potrošnje aluminijuma i bakra iznosio 1,40. Trend rasta cene bakra se nastavio i u periodu od 2006. do 2010. godine kada je cena bakra

bila 2,9 puta veća u odnosu na cenu aluminijuma dok je potrošnja aluminijuma bila 2 puta veća (tabela 50 i sl. 38).

Mada visok rast potrošnje aluminijuma u odnosu na rast potrošnje bakra u periodu 1965-1975. godine nije bio uslovljen samo odnosom cena ovih metala, jer je potrošnja aluminijuma bila u fazi intenzivnog razvoja u mnogim privrednim sektorima, a ne samo u sektorima potrošnje bakra, nedvosmisleno se može zaključiti da su izuzetno visoke cene bakra na svetskom tržištu u tom periodu uslovile njegovu supstituciju aluminijumom u velikim razmerama. Ta supstitucija je bila daleko veća nego što se pretpostavljalo u analizama potrošnje bakra u svetu. Kretanje potrošnje bakra i aluminijuma u poslednje dve decenije ukazuje da je proces intenzivne supstitucije bakra aluminijumom u osnovi završen na sadašnjem stepenu razvoja tehnike i tehnologije i da su ovi metali postali konkurentni proizvodi čija je ukupna potrošnja veoma osetljiva na svaku veću promenu u odnosima njihovih cena i obrnuto.[104] Povećanje potrošnje jednog metala na račun smanjenja potrošnje drugog predstavlja dodatnu tražnju na berzi metala, usled čega dolazi do porasta cena tog metala, a do smanjenja cena drugog metala.

Optička vlakna su drugi po važnosti supstitut bakra koja se koriste kao provodnici u proizvodnji kablova za potrebe telefonije i elektronske industrije. Ovaj tehnološki nov materijal ima velike prednosti u odnosu na bakar i druge slične materijale. Prednosti se ogledaju u visokoj propusnoj moći, malim gubicima u transmisiji, minimalnoj deformaciji zvučnog signala i niskim troškovima ugradnje. U proizvodnji optičkih vlakana se koristi više tehnologija koje obezbeđuju visok kvalitet ovog proizvoda u skladu sa veoma strogim standardima. Ovi tehnološki postupci se konstantno usavršavaju, tako da se pored poboljšanja kvaliteta vlakana, smanjuju i troškovi njegove proizvodnje. Bazna sirovina za proizvodnju ovog proizvoda je silicijum-dioksid čije je učešće u ukupnim sirovinama 90 %, dok druge sirovine učestvuju sa 10 procenata. Sredinom sedamdesetih godina prošlog veka počela je masovna primena optičkih vlakana u telekomunikacijama i elektronskoj industriji. To je prouzrokovalo usporavanja, a zatim i opadanje potrošnje bakra u ovim oblastima, gde je bakar duže vremena imao dominantnu ulogu. Međutim, proizvodnja optičkih kablova je i

dalje ubrzano rasla. U 1993. godini vrednost proizvodnje ovih kablova u svetu je iznosila 4206 miliona, a u 1996. godini 5407 miliona dolara. Učešće ovih kablova u ukupnoj vrednosti telekomunikacionih provodnika je povećano u ovom periodu od 23,5 % na 26,1 procenata. U 2000. godini je u proizvodnji telekomunikacionih kablova supstituisano oko 600000 t bakra ovim materijalom.

Plastične mase su, takođe, u značajnoj meri supstituisale bakar. Plastika je savremeni materijal čija potrošnja raste u svim oblastima, potiskujući pritom klasične materijale. Kao supstitut bakra posebno je važna njena primena u građevinarstvu (instalacione cevi), industriji transportnih sredstava, proizvodnji trajnih potrošnih dobara, elektronici i drugim delatnostima. Prisutna je supstitucija bakra i nekim vrstama čelika u izmenjivačima toplote, vojnoj industriji i drugim oblastima, ali je ona manjeg značaja.

Može se zaključiti da je supstitucija bakra drugim materijalima poslednjih decenija prošlog veka bila veoma širokih razmera i da je ona bila najvažniji razlog velikog zaostajanja potrošnje ovog metala u odnosu na rast industrijske proizvodnje u svetu. Velika kriza u proizvodnji bakra, koja je počela sredinom sedamdesetih i trajala sve do sredine osamdesetih godina, u najvećoj meri je rezultat usporavanja rasta potrošnje bakra usled supstitucije drugim materijalima. Mnogi analitičari proizvodnje i potrošnje bakra nisu dovoljno pridavali značaj uticaju supstitucije u proizvodnji i potrošnji bakra u svetu u tom periodu. U tabeli 51 su dati glavni supstituti bakra po industrijskim sektorima kao što su elektroindustrija, građevinarstvo i ostale namene. Procena tržišta u 2007. godini za elektroindustriju iznosi 3500000 t, građevinarstvo 3800000 t i za ostale namene 3000000 t što ukupno iznosi 10300000 t.[107]



Tabela 51. Glavni supstituti bakra u industrijskim sektorima i procena tržišta u svetu u hiljadama tona u 2007. godini[107]

Industrijski sektor	Supstitut	Procena tržišta, u hiljadama tona
<b>Elektroindustrija</b>		
Telefonska žica	Bežična tehnologija, optička vlakna	800
Žica za autoindustriju	Aluminijumska žica, optička vlakna	700
Žica za transformatore	Aluminijumska žica	2000
<b>Ukupno</b>		<b>3500</b>
<b>Građevinarstvo</b>		
Žica u građevinarstvu	Aluminijumska žica	1400
Pokrivanje krovova	Limovi cinka, aluminijuma, bakarnih kompozita	500
Cevi za vodovod	Kompozitne bakarne cevi, plastične cevi, cevi od nerđajućeg čelika	1000
Grejači	Nerđajući čelik	200
Cevi za klima uređaje, izmenjivači toplote	Aluminijumske cevi	700
<b>Ukupno</b>		<b>3800</b>
<b>Ostalo</b>		
Mesingana šipka (ventili, vijci fitinzi)	Niskolegirane legure bakra	1800
Limovi bakarne legure (konektori, dugmići, nameštaj, dekoracija)	Niskolegirane legure bakra, obloženi materijali, čelik, aluminijum, plastika	1200
<b>Ukupno</b>		<b>3000</b>
<b>UKUPNO</b>		<b>10300</b>

U periodu 2007-2009. godine je supstituisano od 430000 t do 570000 t ili u proseku oko 500000 t katodnog bakra na godišnjem nivou. U tabeli 52 je data supstitucija bakra po industrijskim sektorima u periodu 2008-2009. godina gde se jasno vidi da je ista bila najizraženija u kablovskoj industriji sa 15 %, građevinarstvu i automobilskoj industriji sa 10 procenta.[108]

Tabela 52. Supstitucija bakra po industrijskim sektorima[108]

Industrijski sektor	Učešće, %
Kablovi u elektroindustriji	15
Bakarni limovi za pokrivanje krovova	10
Hladnjaci u automobilskoj industriji	10
Vodoinstalacione cevi	5

Supstitucija bakra po regionima u svetu u periodu 2008-2009. godine data je u tabeli pri čemu se može videti da je ona najviše bila izražena u Kini sa 130000 t, Evropi sa 100000 t i severnoj Americi sa 80000 tona (tabela 53).[108]

Tabela 53. Supstitucija bakra po regionima i svetu u periodu 2008-2009. godine[108]

<b>Naziv regiona/zemlje</b>	<b>Količina, t</b>
Kina	130000
Severna Amerika	80000
Zapadna i istočna Evropa	90000
Ostatak sveta	100000
<b>Ukupno, t</b>	<b>400000</b>

Međutim, poslednjih 15 godina stope rasta potrošnje bakra približne su stopama rasta industrijske proizvodnje, što ukazuje da je trend supstitucije usporen i da je uspostavljena ravnoteža u potrošnji bakra i njegovih supstituta na datom stepenu razvoja tehnike i tehnologije. Tome su doprineli i rezultati istraživanja primene bakra u novim oblastima, mada primena bakra u tim oblastima nije mogla da kompenzira ogroman pad potrošnje ovog metala zbog supstitucije drugim materijalima.

## 7. Karakteristike cene bakra na svetskim berzama metala

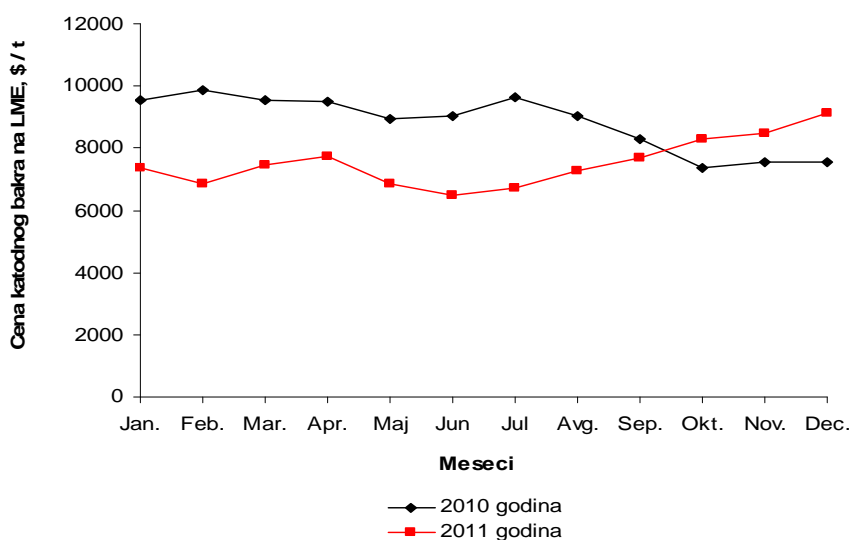
Za berzansku cenu bakra karakteristične su velike oscilacije cene bakra u kratkim vremenskim intervalima. Cena bakra se menja dnevno, mesečno i kvartalno, najčešće nezavisno od realnih odnosa proizvodnje i potrošnje, odnosno ponude i tražnje na svetskom tržištu.

Analiza kretanja cene bakra na Londonskoj berzi metala pokazuje da se u najvećem broju slučajeva mesečne promene cene kreću između 3 % i 10 %, a kvartalne između 10 i 25 procenata. U pojedinim periodima, kada se pojavljuju tendencije ubrzanog pada ili rasta cene, te promene su daleko veće. U tim slučajevima prosečne mesečne cene mogu biti manje ili veće u odnosu na prethodni mesec za preko 20 %, a kvartalne cene i za preko 50 procenta. Velike oscilacije cene bakra su karakteristične i za godišnje proseke. Promene

cena u ovom slučaju obično se kreću u rasponu između 2 % i 20 %, a u poslednjih četrdeset godina prošlog veka one su prosečno iznosile 16 procenata. Oscilacije cene su nekoliko puta veće nego promene odnosa proizvodnje i potrošnje. Najveće promene se pojavljuju u godinama kada nastaje depresija ili kada počinje konjunktura bakra na svetskom tržištu. U tabeli 54 i na sl. 39 su data kretanja cena katodnog bakra u 2010. i 2011. godini.

Tabela 54. Kretanje cene katodnog bakra na LME u periodu od 2010-2011. godine po mesecima sa mesečnim promenama izraženim u procentima[103]

Meseci	2010. godina	Mesečne promene, %	Kvartalne promene, %	2011. godina	Mesečne promene, %	Kvartalne promene, %
Januar	7382			9554		
Februar	6848	-7,2		9867	3,3	
Mart	7463	9,0		9530	-3,4	
April	7745	3,8		9483	-0,5	
Maj	6848	-11,6	-2,8	8926	-5,9	-5,2
Jun	6499	-5,1		9045	1,3	
Jul	6735	3,6		9618	6,3	
Avgust	7284	8,2	3,0	9040	-6,0	-1,8
Septembar	7709	5,8		8314	-8,0	
Oktoibar	8292	7,6		7347	-11,6	
Novembar	8470	2,1	19,2	7551	2,8	-16,7
Decembar	9147	8,0		7568	0,2	
<b>Prosek</b>	<b>7535</b>	<b>2,0</b>	<b>6,5</b>	<b>8820</b>	<b>-1,9</b>	<b>-7,9</b>



Sl. 39. Mesečne promene cene bakra na Londonskoj berzi metala

Mesečne promene cena u 2010. godini se kretale od 0,5 % do 11,6 %, a kvartalne 6,5 % dok su se u 2011. godini mesečne cene kretale od 2,1 % do 11,6 % a kvartalne od 7,9 procenata. Prosečna cena bakra u 2010. godini je bila veća od prosečne cene bakra u 2011. godini za 17 procenata. Ovakva nestabilnost cena stvara velike probleme u proizvodnji i potrošnji ovog metala. To prouzrokuje nesigurnost kod proizvođača bakra u planiranju proizvodnje i prodaje, a stalne promene cene izazivaju ogromne poremećaje u njihovim finansijskim tokovima. Potrošači bakra, takođe, imaju velike teškoće, posebno u proizvodnji proizvoda sa visokim učešćem bakra, jer njihovi kupci, po pravilu, ne prihvataju da se cene tih proizvoda obrazuju prema tekućoj ceni bakra na svetskom tržištu. Mehanizmi berze (terminske kupovine i prodaje i sistem hedžovanja) ne predstavljaju potpuno rešenje ovih problema, jer se mogu pojaviti velike razlike između ugovorenih i tekućih cena u momentu isporuke robe. Ako cena pada, proizvođači bakra ostvaruju pozitivnu razliku između ugovorene terminske i tekuće cene, ali ukoliko cena raste, oni će izgubiti značajan deo prihoda.

U dužem periodu kretanje cene bakra na svetskom tržištu ima ciklični karakter tako da se periodi visokih i niskih cena naizmenično smenjuju na 3 do 4 godine. Ovi ciklusi prate kretanje industrijske proizvodnje u svetu, ali se pojavljuju i nezavisno od tih kretanja. Oni su praktično posledica sporog prilagođavanja proizvodnje bakra zahtevima tržišta, što je i glavna karakteristika ove proizvodnje. Periodi niskih cena mogu trajati i duže u slučajevima kada dolazi do recesije u svetskoj privredi u momentu kada su svetske cene bakra već bile u depresiji. U periodu od 1960. do 2003. godine cene bakra u vreme depresije najčešće su bile realno niže za 15 % do 30 % u odnosu na nivo u prethodnom periodu.

Za donošenje strateških odluka u svim svetskim kompanijama koje se bave proizvodnjom bakra od velikog je značaja razumevanje cikličnog karaktera kretanja cene bakra na svetskom tržištu. Strateške odluke odnose se na izgradnju novih rudnika i topionica, zaustavljanje rada ili aktiviranje već izgrađenih kapaciteta. Takve odluke se zasnivaju isključivo na kretanju cene bakra u dužem periodu, uvažavajući već izražene

tendencije i sve značajne faktore koji mogu bitno uticati na njeno buduće kretanje. Vrlo često se kod nas i u svetu donose ocene o isplativosti proizvodnje bakra na osnovu tekućih cena bakra, čime mogu nastati ogromne posledice.

Takođe, cena bakra neposredno odražava kurs valute u kojima se kotira na berzama metala. Otuda se nivo i kretanje ove cene mora uvek posmatrati u kontekstu vrednosti tih valuta na novčanim berzama u svetu. Na Londonskoj berzi metala cene su kotirale u engleskim funtama od osnivanja ove berze do kraja osamdesetih godina, a zatim je uveden američki dolar kao zvanična valuta u kojoj se izražavaju cene metala na ovoj berzi. Poznato je da je kurs dolara veoma nestabilan u odnosu na druge konvertibilne valute (evro, englesku funtu, japanski jen, švajcarski franak) i da se menja često nezavisno od realnih privrednih kretanja u Sjedinjenim Američkim Državama. Problem stalnih promena kursa dolara trgovci na berzama metala rešavaju tako što hedžovanjem cena hedžuju i kurseve ove valute na novčanim berzama. U analizama realnih kretanja cene bakra i drugih obojenih metala u dužem periodu, koriste se razni metodološki postupci da bi se eliminisao uticaj opadanja vrednosti ove valute, mada nijedan od tih postupaka ne obezbeđuje potpuno rešenje ove vrlo složene problematike. Iz tog razloga se u analizi troškova, koristi deflator koji je utvrđen na osnovu kretanja eksportnih cena u svetu, prema statistici Ujedinjenih Nacija.

Ove karakteristike svetske cene bakra posledica su specifičnosti proizvodnje i potrošnje ovog metala, mehanizama i načina formiranja, uticaja krupnog kapitala, spekulativnih pojava. Cena bakra formira se skoro uvek pod uticajem predviđanja budućih kretanja u proizvodnji i potrošnji. Strateški karakter bakra, kao važne industrijske sirovine, takođe je značajan faktor kretanja cene ovog metala na svetskom tržištu.

Prosečna cena bakra na Londonskoj berzi metala u periodu od 1960. do 2000. godine, iznosila je 2778 \$/t, a u periodu od 1975. do 2003. godine 2055 američkih dolara po toni. U poslednjoj deceniji dvadesetog veka prosečna cena je bila 1930 američkih dolara

po toni. Tendenciju opadanja cene bakra možemo jasnije uočiti ako posmatramo kretanje prosečnih cena u kraćim vremenskim intervalima (tabela 55).[103]

Tabela 55. Kretanje prosečnih cena bakra u kraćim vremenskim periodima[103]

Period	Prosečne cene (vrednost US\$ 2000. g.)	Indeksi (u odnosu na prosek 1961-2000.)	Indeksi odnosu na prosek (1975-2000.)
1960-1963.	2611	96,3	126,3
1964-1974.	4438	163,8	214,7
1975-1980.	2367	87,3	114,7
1981-1985.	1989	83,4	96,2
1986-1990.	2236	82,5	108,2
1991-1995.	2073	76,5	100,3
1996-2003.	1737	64,2	84,2
2004.-2007.	5100	183,6	248,2
2008.-2011.	7115	256,1	346,2

U okviru opšte tendencije opadanja, cena bakra na svetskom tržištu je, krajem prošlog i početkom ovog veka, realno imala najniži nivo u posleratnom periodu. Od 1998. do 2003. godine ostvarena je prosečna cena od 1653 američkih dolara po toni. Posle izvesnog oporavka u 2000. godini, kada je ostvarena cena od 1823 \$/t, ponovo je došlo do velikog pada, tako da je cena u 2001. godini nominalno iznosila 1577 \$/t, u 2002. godini 1557 \$/t i u 2003. godini 1779 američkih dolara po toni. Ovo je istovremeno i najduži period depresije ovih cena.

U ovom periodu potrošnja bakra je bila niža u odnosu na proizvodnju za blizu 1300000 t, što je dovelo do rekordnog nivoa berzanskih i ukupnih komercijalnih zaliha bakra u svetu. Krajem 2002. godine berzanske zalihe su iznosile 1217000 t, a ukupne 1812000 t. U četvrtom kvartalu 2003. godine počelo je ubrzano smanjenje berzanskih i drugih zaliha, usled čega je došlo do rasta cene, da bi u 2004. godini dostigla prosečan nivo od 2843 \$/t, s tim što je rastu cene u znatnoj meri doprineo veliki pad američkog dolara u odnosu na druge vodeće valute u svetu. Najveće razlike u proizvodnji i potrošnji bakra su nastale u 2001. godini, kada je proizvodnja u svetu povećana 5,3 %, a potrošnja smanjena 4,5 procenta. U ovoj godini nastala je velika depresija u privredi industrijski razvijenih

zemalja. Posle velikog uspona u 2000. godini, nastao je pad industrijske proizvodnje u Americi 3,5 %, Japanu 6,5 % i Zapadnoj Evropi 0,1 procenata.

Potrošnja bakra u ovim zemljama je smanjena za 998000 tona, ili 12,1 procenat. Rast potrošnje u drugim zemljama, pre svega u Kini, Indiji, Rusiji i još nekim zemljama, nije mogao da kompenzira pad potrošnje u razvijenim zemljama. U 2002. i 2003. godini potrošnja bakra je bila uravnotežena sa proizvodnjom, ali su visoke zalihe i dalje vršile snažan pritisak na cenu ovog metala.

Ovako dug period niske cene bakra na svetskom tržištu može se tumačiti činjenicom da je depresija cena u 1998. i 1999. godini praktično nastavljena u narednim godinama usled velike recesije u svetskoj privredi, koja je počela u 2001. godini. Međutim, neki pokazateji o kretanju proizvodnje u sektorima sa najvećom potrošnjom bakra (stambena izgradnja, proizvodnja automobila i proizvodnja električne energije), ukazuju i na moguće veće promene u sferi potrošnje ovog metala u razvijenim zemljama i pojavu novih tendencija u ovoj oblasti. Iz prikazanog grafika na sl. 40 promena cena bakra na LME, zaključuje se da je potrošnja bakra počela da raste sredinom 2004. godine zbog velike potražnje istog na tržištu Kine.



Sl. 40. Dinamika kretanja cene bakra i globalnog ekonomskog rasta u periodu od 2004-2011. godine[109]

U periodu od 2006. do 2008. godine cene su bile stabilne i kretale su se od 7000 do 8000 američkih dolara po toni. Ceo ovaj period od 2004-2008. godine je pratio i globalni ekonomski rast koji se kretao od 4,9-5,4 procenta. Između 2008. i 2009. godine desio se nagli pad cene bakra na oko 3000 \$/t zbog svetske krize pri čemu je i globalni ekonomski rast pao na 2,8 %, odnosno 0,7 procenta. Ubrzo je ponovo nastavljen rast sredinom 2008. godine usled deficita u proizvodnji bakra u svetu i novih investicija što je uticalo da bakar u jednom trenutku dostigne rekordno visoku cenu od oko 11000 američkih dolara po toni.[109]

Oporavak cene bakra je nastavljen u periodu 2009-2010. godine uprkos posledicama koje je izazvala ekonomska i finansijska kriza. Dalji rast cene bakra je bio potpomognut velikom potražnjom u Evropi kao i u Kini. Rezultat toga je porast cene bakra od 5856 \$/t na kraju oktobra 2009. godine do 8053 \$/t na kraju septembra 2010. godine (sl. 40).

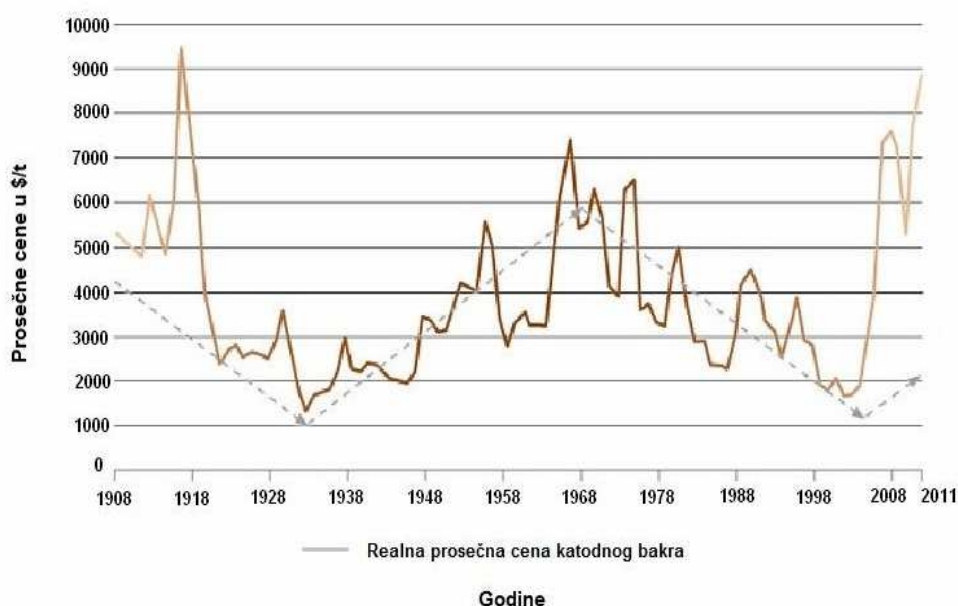
Prosečna cena bakra u 2011. godini je dostigla najvišu vrednost od 8811 \$/t što je 17 % više u odnosu na prethodnu godinu. Najveća cena bakra je zabeležena 14 februara i iznosila je 10179 američkih dolara po toni.

Na ograničeno snabdevanje tržišta bakrom je uticalo i stalno povećanje potrošnje bakra u Kini tako da je cena bakra ostala na nivou od 10000 američkih dolara po toni. Sredinom marta tragični događaji u Japanu (zemljotres i cunami) prouzrokovali su momentalni pad cene bakra, mada se ista vrlo brzo vratila na nivo gde je i bila. Razaranja u Japanu su zahtevala velike rekonstrukcije (obnovu porušenog) a to je zahtevalo značajnu potrošnju metala a naročito bakra. U tom trenutku cena bakra je pala na najniži nivo u toku godine od 6721 \$/t, da bi se do kraja godine stabilizovala na oko 7500 američkih dolara po toni.

U prošlom veku je jedino 1916. godine (uzimajući u obzir inflaciju) cena bakra premašila 9000 američkih dolara po toni. Realna prosečna cena bakra u periodu



1908-2011. godine iznosila je 4000 američkih dolara po toni (sl. 41). Glavni uzrok visokih cena bakra na svetskom tržištu je industrijalizacija Kine i BRIC država (Brazil, Rusija, Indija). Uzrok tome je spajanje tržišta bakra ovih zemalja tako da će potražnja za istim u budućnosti u velikom stepenu zavisiti od njihovog ekonomskog razvoja.



Sl.41. Realne prosečne cene katodnog bakra u \$/t u periodu 1908-2011. godine

Prema podacima objavljenim u časopisu CRU International, ukupna svetska proizvodnja u rudnicima je pala u 2011. godini na najniži nivo za zadnje tri godine i iznosila je 15,9 miliona tona. Na to su u prvoj polovini godine uticali brojni prekidi i štrajkovi u proizvodnji i socijalni nemiri.

U 2011. godini bilo je značajno povećanje proizvodnje u Africi, Okeaniji i Kanadi. Na drugoj strani, mnoge zemlje su zabeležile pad u proizvodnji u odnosu na 2010. godinu. Vodeća zemlja u ovoj grupi je bila Indonezija gde su bili štrajkovi u jednom od najvećih rudnika Grasberg, dok je Čile radio sa rudom koja je imala manji sadržaj bakra. Za zadnjih 5 godina, prosečan sadržaj bakra u rudi zemalja u centralnoj i južnoj Americi je pao oko 25 procenta. Sadašnji pad u proizvodnji bakra u rudarstvu i deficit ovog metala na tržištu je rezultat nedovoljnog stepena razvoja u prošlom periodu. Radovi na mnogobrojnim

rudarskim projektima su odlagani zbog finansijskih razloga uključujući i mnoge druge probleme operativne prirode.

Proizvodnja rafinisanog bakra u 2011. godini je iznosila 19,3 miliona tona tj. bila je 2,9 % viša u odnosu na 2010. godinu. U ovom rastu najveći udeo je imala Kina, sa povećanjem proizvodnje katodnog bakra za 517000 tona u 2011. godini i sa ukupnom godišnjom proizvodnjom od preko 5 miliona tona. Kina je nastavila da razvija svoje topioničke kapacitete naročito one za pretapanje bakarnog skrapa. Takođe, povećanje proizvodnje rafinisanog bakra je zabeleženo i u Evropi. Značajno povećanje proizvodnje rafinisanog bakra bilo je i u Africi, naročito u Zambiji, gde su se usled niskih proizvodnih troškova i povoljnije poreske politike mnoge kompanije odlučile za izgradnju topioničkih kapaciteta.

Na drugoj strani, krajem prošlog i početkom ovog veka aktivirano je više velikih projekata u Juznoj Americi, Indoneziji i Australiji sa niskim troškovima proizvodnje, koji su bitno uticali na povećanje ponude bakra na svetskom tržištu u uslovima kada je potrošnja znatno smanjena i kada je cena bakra već bila u dubokoj depresiji. Međutim, takvo stanje ne može dugo da traje, jer veliki deo svetske proizvodnje u tom slučaju ima gubitke, što vremenom dovodi do redukcije ili usporavanja rasta ponude, ukoliko proizvođači sa niskim troškovima ne obezbede odgovarajući rast proizvodnje.

Tabela 56. Učešće zemlje/regiona u potrošnji bakra u svetu po regionima u periodu 2010-2012. godine[85]

Zemlja/Region	2010	2011	2012
Kina	36	37	39
Ostatak Azije bez Kine	21	20	19
Evropa	21	21	20
Amerika	9	10	8
Japan	5	5	5
Svi ostali (ostatak Amerike, Afrika i Australija)	8	7	9
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

U tabeli 56 je dato učešće zemalja, odnosno regiona u potrošnji bakra u svetu po regionima u periodu 2010-2012. godine odakle se vidi da je učešće Kine i dalje visoko i

kreće se od 36 %-39 % sa trendom rasta za razliku od Amerike i Evrope gde je zabeležen opadajući trend.[85]

Na cenu bakra utiču stepen ekonomskog rasta i stabilnost finansijskog sistema. Trenutno, tri najjača ekonomska faktora koja mogu uticati na cenu bakra su: kriza u Evropi, recesija u Americi i usporavanje razvoja Kine.

## **8. Troškovi proizvodnje bakra u rekonstruisanoj topionici i novoj fabrici sumporne kiseline u Boru**

S obzirom da proizvodnja bakra ima strateški značaj za svaku zemlju, a samim tim i za celokupnu privredu, Vlada republike Srbije je 2009. godine odlučila da podrži program razvoja i stabilizacije RTB-a Bor i 2010. godine je dala garanciju za kredit od 135 miliona evra za modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline. Tome u prilog je išla i velika potražnja i visoka cena bakra od 9000 \$/t i zlata od 50584 \$/kg na svetskom tržištu.[72]

Rudarsko-topioničarski basen Bor i kanadska agencija za izvoz i razvoj (EDC) zaključili su Ugovor o zajmu u iznosu od 135 miliona evra za rekonstrukciju topionice u Boru i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline. Potpisivanjem ovog ugovora obezbeđeno je finansiranje modernizacije metalurških agregata u RTB-u Bor a iznos zajma je u skladu sa garancijom koju država Srbija daje za ovaj projekat. Iz odobrenih sredstava finansiraće se ugovoreni poslovi sa glavnim izvođačem radova, kanadskom inženjerskom kućom SNC Lavalin i njegovim podizvođačem, finskom kompanijom Outotec. Rok otplate zajma je deset godina sa grejs periodom od tri godine dok traje izgradnja novih postrojenja.

Obračun troškova prerade koncentrata u Topionici i dobijanja čistog (neto) ostatka, koji treba da pokrije sve ostale troškove otkopavanja otkrivke i rude, prerade rude, deponovanja otkrivke, i deponovanja flotacijske jalovine dat je u tabeli 57. Obračun

budućih troškova modernizovane topionice RTB-a Bor daje se na osnovu topioničkih troškova prema svetskim uslovima prerade koncentrata početkom 2011. godine.

Tabela 57. Troškovi topljenja i rafinacije svedeni po toni suvog koncentrata[72]

Naziv	Bakar		Zlato	
	Iznos	Jedinica	Iznos	Jedinica
Količina suvog koncentrata bakra	1000	kg suvog		
Bakar u koncentratu	21	%		
Bakar u toni suvog koncentrata	210	kg/t	3,5	g
Topioničko iskorišćenje	94,8	%	80	%
Metal koji se plaća	199	kg		
Cena metala na Londonskoj berzi (LME)	9400	\$/t	46,62	\$/g
Vrednost metala koji se plaća	1871	\$/t konc.	131	\$/t. konc.
<b>Topionički troškovi</b>				
Troškovi topljenja	75	\$/t konc.		
Jedinični troškovi rafinacije	0,075	\$/lb	6	US\$/oz
Ukupni troškovi rafinacije	33	\$/t konc.	0,84	\$/t
<b>Ukupno topionički troškovi</b>	<b>108</b>	<b>\$/t konc.</b>		
<b>Ukupno topionički troškovi po toni katodnog bakra</b>	<b>546</b>	<b>\$/t Cu</b>		
<b>Vrednost metala nakon odbijanja topioničkih troškova-neto ostatak</b>	<b>1766</b>	<b>\$/t konc.</b>	<b>130</b>	<b>\$/t konc.</b>

Za troškove topljenja i rafinacije, usvojeno je 75 \$/t suvog koncentrata, a za troškove rafinacije bakra 0,075 \$/lb. Za obračun neto ostatka koji zavisi od berzanske cene bakra i zlata usvojene su cene za bakar od 9400\$/t a za zlato 1450 \$/oz (46624 \$/kg). U tabeli 57 prikazan je obračun troškova topljenja i rafinacije, koji iznose 108 \$/t koncentrata ili svedeno na katodni bakar 546 \$/tona. Prosečne cene bakra i zlata u 2011. godini na Londonskoj berzi metala (LME) su iznosile 8820 \$/t, odnosno 50584 \$/kg.

Vrednost metala (bakra i zlata) nakon odbijanja topioničkih troškova je "neto ostatak" i isti iznosi 1893 \$/t koncentrata. Po svetskoj ceni troškova prerade u rekonstruisanoj topionici u Boru, neto topionički ostatak za planiranih 400000 tona koncentrata godišnje iznosi 757200000 dolara godišnje. (400000x1893 \$/t).

U tabeli 58 prikazani su ukupni troškovi modernizovane topionice bakra sa fabrikom sumporne kiseline, elektrolitičkom rafinacijom, flotacijom šljake i pogonom za

neutralizaciju otpadnih voda iz fabrike sumporne kiseline. Obračun troškova je rađen za proizvodnju 80000 t katodnog bakra i 400000 t sumporne kiseline. Ukupni fiksni troškovi iznose 90091837 \$ tj. 1126,15 \$/t katodnog bakra dok ukupni varijabilni troškovi iznose 26012918 \$ odnosno 325,16 \$/t katodnog bakra. U tabeli 58 su dati i ukupni troškovi rekonstruisane i modernizovane topionice sa fabrikom sumporne kiseline i rafinacijom bakra koji iznose 1451,3 \$/t katodnog bakra odnosno umanjeni za prihod od sumporne kiseline 1229,3 \$/t katodnog bakra.

Troškovi prerade nove topionice biće viši od svetskih cena prerade bakra u topionicama, kako je prikazano u tabeli 57. To naročito važi za period prvih sedam godina eksploatacije dok se ne otplate kreditna zaduženja za izgradnju nove topionice. Kao godišnji prihod koji umanjuje ukupne troškove topionice mora se uzeti prihod od prodaje sumporne kiseline. Prema ugovoru sa „IHP Prahovo” i sa nemačkom firmom ”Solvadis Commodity Chemicals”,uzeta je prodajna cena sumporne kiseline od 44,4 \$/t, što sa količinom od 400000 tona daje prihod od 17760000 dolara godišnje. Drugim rečima to će smanjiti troškove topionice za oko 222 \$/t katodnog bakra. Porast cene sumporne kiseline ide u prilog RTB-u Bor i ako se ta tendencija nastavi to će pozitivno uticati na smanjenje troškova prerade u topionici. Ukoliko se navedeni dogovor ostvari, plasman od 250000 tona godišnje sumporne kiseline biće u Prahovu a ostatak od 150000 t ići će u izvoz. Nemačka kompanija “Solvadis commodity chemicals“ je zainteresovana za kupovinu viška sumporne kiseline (150000 t/god.) koji preostane nakon plasmana na domaće tržište i na taj način bi se rešio trajno plasman sumporne kiseline. Cenu sumporne kiseline teško je predvideti jer je do 2007. godine bio otežan plasman i cene su bile ispod 55 dolara po toni. Od februara 2007. do februara 2008. u Americi su cene sumporne kiseline naglo skočile i kretale su se u opsegu od 165 do 275 dolara po toni. Prognoze su bile da će cena pasti i ustaliti se na oko 100 \$/t, međutim potražnja sumporne kiseline u Americi i dalje raste, tako da su cene dostigle i 300 dolara po toni.

Tabela 58. Ukupni troškovi rekonstruisane i modernizovane topionice sa fabrikom sumporne kiseline i rafinacijom bakra[72]

Troškovi	Iznos/god, \$	Cena po jedinici, \$	Ukupno, \$	\$/t katodnog bakra
<b>Fiksni troškovi, god.</b>			<b>90091837</b>	<b>1126,15</b>
Investiciono i pogonsko održavanje	5855012		5855012	73,19
Bruto lični dohoci	22749495		22749495	284,37
Tekuće održavanje i režija	1171003		1171003	14,64
Usluge	2274950		117101	1,46
Premije osiguranja	2166662		2166662	27,08
Doprinosi iz dohotka	5687374		5687374	71,09
Otplata kredita EDC	199800000		31857438	398,22
Otplata kredita domaćim bankama	128492860		20487754	256,10
<b>Varijabilni troškovi, god</b>	<b>Vrednost, jed.</b>		<b>26012918</b>	<b>325,16</b>
Topitelj SiO <sub>2</sub> , t	41360	47,36	1958810	24,49
Vodena para, t	83760	34,04	2851190	35,64
Troškovi električne energije, kWh	126859200	0,067	8448823	105,61
Tehnički kiseonik, t	103920	16,946	1761028	22,01
Kreč za neutralizaciju, t	14960	236,8	3542528	44,28
Tehnički azot, t	28480	14,80	421504	5,27
Vatrostalne obloge, t	150	2072	310800	3,89
Tečno gorivo, t	1188	581,64	690988	8,64
Feri sulfat, t	672	418,84	281460	3,52
Flokulant, kg	1800	22,2	39960	0,50
Procesna voda za sump. kisel., m <sup>3</sup>	1240000	1,184	1468160	18,35
Demi voda za kotlove, m <sup>3</sup>	624000	2,368	1477632	18,47
NaOH, t	1200	592	710400	8,88
Tečno gorivo za start, l	1709600	1,11	1897656	23,72
Dopuna katalizatora, l	25672	5,92	151978	1,90
<b>Ukupni troškovi, god</b>			<b>116104755</b>	<b>1451,3</b>
Prihod od sumporne kiseline		44,4	17760000	222
<b>Razlika, troškovi prerade topionice</b>			<b>98344755</b>	<b>1229,3</b>

Kako će se dalje kretati cene, teško je predvideti, ali za realizaciju ove investicije je svakako povoljno da cena sumporne kiseline bude što viša, jer na taj način utiče na pozitivan bilans prerade u topionici u RTB-u Bor.

Za obračun projektovanog ukupnog prihoda, koriste se sledeći elementi što je dato u tabeli 59. Procena ukupnog prihoda za tri osnovna proizvoda-katodni bakar, zlato i sumpornu kiselinu iznosi 821607200 \$/god.

Tabela 59. Projektovani ukupan prihod od prodaje bakra, zlata i sumporne kiseline

<b>Naziv</b>	<b>Količina, jed/god.</b>	<b>Ukupan prihod, \$</b>
Bakar, t	80000	743552000
Zlato, kg	1200	60295200
Sumporna kiselina, t	400000	17760000
<b>Ukupno:</b>		<b>821607200</b>

Direktne dobiti, odnosno koristi, dobijaju se kada se od ukupnog prihoda odbiju troškovi prerade u topionici i tako se dobije čisti topionički ostatak.

Tabela 60. Neto topionički ostatak obračunat po toni koncentrata i toni katodnog bakra

<b>Naziv</b>	<b>Vrednost, \$</b>
Ukupan prihod (vrednost proizvedenog metala)	821607200
Ukupni troškovi-rashodi topionice za 80000 t bakra	116104755
<b>Neto topionički ostatak</b>	<b>705502445</b>
<b>Cena koncentrata, 400000 t/god., \$/t</b>	<b>1763,76</b>
<b>Vrednost kg bakra (199 kg/t konc. bakra), \$/t</b>	<b>8863</b>

Dobijeni „neto topionički ostatak” koji iznosi 705502445 \$ je suma novca koja treba da pokrije sve ostale troškove. On je iskazan po toni koncentrata i toni katodnog bakra i iznosi 1763,76 \$/t, odnosno 8863 \$/t (tabela 60).

## ZAKLJUČAK

Predmet proučavanja ove doktorske teze je uporedna analiza potrošnje energije "standardnim" postupkom proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru sa savremenim autogenim postupcima topljenja. "Standardni" postupak se sastoji od sledećih faza: prženja u fluo-solid reaktoru, topljenja u plamenim pećima, konvertorovanja blister bakra u Pierce-Smith konvertorima i rafinacije u anodnoj peći. Ovaj postupak proizvodnje anodnog bakra zahteva veliku potrošnju energije koja je viša 35 % do 45 % u odnosu na savremene autogene postupke topljenja. U procesu topljenja u plamenoj peći za razliku od drugih postupaka izdvajaju se gasovi sa niskom koncentracijom sumpor-dioksida koja iznosi 0,5 % do 1,5 % tako da proizvodnja sumporne kiseline nije ekonomična.

Ekvivalent energije procesa (EEP) "standardnog" postupka proizvodnje bakra u topionici u Boru iznosi 20183 MJ/t anodnog bakra, odnosno 688,8 kg uslovnog goriva po toni anodnog bakra, dok ekvivalent energije pare (Ep) koja se javlja kao nusproizvod u procesu topljenja prženca iznosi 5525 MJ/t anodnog bakra. Najveće procentualno učešće u potrošnji energije ima proces topljenja u plamenoj peći koje iznosi 65,68 % a najmanje prženje šarže u reaktoru sa 6,06 procenta (tabela 12 i sl. 11). Učešće specifične potrošnje energenata po pogonima svedene na ekvivalent energije procesa (EEP) u proizvodnji katodnog bakra iznosi: 76,25 % u topionici, 15,50 % u elektrolitičkoj rafinaciji bakra i 8,25 % u proizvodnji sumporne kiseline (tabela 16 i sl. 13).

Tehnološki postupak proizvodnje anodnog bakra u topionici u Boru spada u visoko temperaturne procese. Produkti iz pojedinih faza procesa proizvodnje (prženac, bakrenac, blister bakar) sadrže veliku količinu toplotne energije koja ukupno iznosi 1030,258 MJ po toni suvog koncentrata. Deo ove toplotne energije se vraća u proces, a deo predstavlja sekundarnu toplotnu energiju koja se nepovratno gubi. Gasovi po fazama procesa proizvodnje sadrže toplotnu energiju i to: prženje 793,854 MJ/t suvog koncentrata, topljenje u plamenoj peći 2553,995 MJ/t suvog koncentrata, konvertorovanje 1286,557 MJ/t suvog koncentrata i plamena rafinacija 148,510 MJ po toni suvog koncentrata (sl. 15). Sa šljakom plamenih peći odlazi toplotna energija u količini od 920,858 MJ/t suvog koncentrata, a sa anodnim bakrom 104,661 MJ po toni suvog koncentrata. Deo toplotne energije prženca, bakrenca, šljake konvertovanja i plamene rafinacije i blister bakra koji ukupno iznosi 1340,857 MJ/t suvog koncentrata, koristi se u procesu. U proizvodnji anodnog bakra se oslobađa i velika količina sekundarne (otpadne) toplotne energije tako da bolje iskorišćenje otpadne toplote utiče na sniženje vrednosti ekvivalenta energije procesa i proizvoda. To potvrđuje i podatak da iskorišćenje toplotne energije iznosi 24 % ako se u toplotnom bilansu doda i toplotna energija proizvedene pare iz procesa topljenja u plamenoj peći (isporučuje se energani), a samo u tehnološkom procesu proizvodnje anodnog bakra 11,82 procenata (tabela 20 i sl. 16).



Upravo iz ovih razloga, pirometalurški proces proizvodnje anodnog bakra daje realne mogućnosti da se optimizacijom energetske i materijalne faktore ostvare značajne uštede koje mogu biti od velikog uticaja na proizvodni proces, koji se ogledaju kroz bolju ekonomičnost i očuvanje radne i životne sredine. Najbolji energetske efekti se postižu korišćenjem sekundarne (otpadne) toplote tehnoloških procesa tj. kada se energija na neki način vraća u proces, i to: zagrevanjem vazduha, zagrevanjem i sušenjem sirovine i goriva itd. Na primer, u proizvodnji sumporne kiseline kontaktnim postupkom u kome su sve reakcije egzotermne oslobađa se velika količina toplote u rashladnoj vodi koja se može iskoristiti za grejanje elektrolita u pogonu elektrolitičke rafinacije. Korišćenje visokotemperaturne sekundarne energije u mnogim slučajevima ima prednost u odnosu na primarnu energiju tako što se na njen račun smanjuje potrošnja primarne energije za ekvivalent toplote sekundarne energije, a to doprinosi smanjenju troškova održavanja postrojenja (nema skladišta za gorivo, uređaja za pripremu i sagorevanje istog).

Stogodišnje rudarenje i proizvodnja bakra u Boru usloveli su zagađeni vazduh, beživotne reke, oštećeno i uništeno poljoprivredno zemljište, i preko 11 t otpada po stanovniku borske opštine.

Najveći uticaj na životnu sredinu u postojećim pogonima za proizvodnju bakra u Boru ima topionica. Velika emisija  $\text{SO}_2$  ima za posledicu zagađenje vazduha u Boru i okolini. Gasovima se iz procesa proizvodnje anodnog bakra prosečno ponese oko 325000 t  $\text{SO}_2$ , 700 t As, 217 t Pb, 1075 t Zn, 700 t  $\text{NO}_x$  i 1,3 t Hg na godišnjem nivou.

Veliki ekološki problem predstavlja i emisija čvrstih čestica i to kako iz dimnjaka topionice tako i sa velikih površina flotacijskih jalovišta i deponija otkrivke. U emitovanim čvrstim česticama ima teških metala kao što su: As, Pb, Sb, Cu, Bi i drugi. Odlagališta jalovine sa površinskih kopova i flotacijska jalovišta su najveći izvori mineralne prašine, posebno u sušnim periodima godine. Sa brana flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj podiže se od 1,1 kg g do 45,3 kg prašine u sekundi čiji je domet i do 4,5 kilometara.

Proizvodnja bakra u stogodišnjem periodu dovela je do stvaranja visokih koncentracija  $\text{SO}_2$  koje su zajedno sa izlivanjem flotacijske jalovine uništili najplodnije zemljište površine od 25500 ha, čije učešće iznosi 60,6 % od ukupnog poljoprivrednog zemljišta borske opštine. Osim flotacijske jalovine u opasan otpad spada i topionička šljaka čiji godišnji priliv u proseku iznosi 400000 t i ista se deponuje na delu površinskog kopa blizu topionice.

Takođe, i otpadne vode nose značajan udeo zagađivača koji potiču iz koncentrata bakra, topitelja i energenata. Godišnja količina otpadnih voda iznosi 80000  $\text{m}^3$ -140000  $\text{m}^3$  i pri tom sadrži oko 500 t  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 100 t Cu, 320 t As, 30 t Pb, 100 t Zn i oko 1 t žive. Količina otpadnih voda iz pogona elektrolitičke rafinacije iznosi 21000  $\text{m}^3$ -40000  $\text{m}^3$  na godišnjem nivou koje pored sumporne kiseline sadrže najveći deo nečistoća koje su unete sa anodnim bakrom. Posle izdvajanja bakra, selena, plemenitih i platinastih metala (Au, Ag, Pt i Pd) zaostaju zagađivači koji sadrže: 21 t As, 12 t Pb, 1,25 t Zn na godišnjem nivou. Osim toga, otpadne vode iz pogona elektrolize nose i oko 5000 t  $\text{H}_2\text{SO}_4$  godišnje. Ove vode iz pogona sumporne kiseline i elektrolitičke rafinacije su toliko degradirane da se ne mogu klasifikovati ni u jednu od IV klase.

Ovi veliki ekološki problemi su se nagomilavali tokom decenija a rizici od ekoloških akcidenata su postajali sve veći tako da su u jednom trenutku mogli da ugroze zapadni i centralni Balkan, Dunav i Crno more. S obzirom da proizvodnja bakra ima strateški značaj za svaku zemlju, a samim tim i celokupnu privredu, Vlada republike Srbije je 2009. godine odlučila da podrži program razvoja i stabilizacije RTB-a Bor i 2010. godine je dala garanciju za kredit od 135 miliona evra za modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline. Program razvoja i stabilizacije je bio baziran prvenstveno na istraženim rudnim rezervama rude bakra i njenom kvalitetu u Boru i Majdanpeku, kao i mestu RTB-a u rasporedu svetske proizvodnje prema nivou troškova. Tome u prilog su išle i velika potražnja za bakrom u 2010. godini i visoke prosečne cene bakra i zlata koje su na svetskim berzama metala iznosile 9000 \$/t, odnosno 50584 dolara po kilogramu.

Istražene rudne rezerve u Boru i Majdanpeku mogu obezbediti eksploataciju bakra u narednih 50-60 godina sa godišnjim kapacitetom proizvodnje od 70000-80000 tona katodnog bakra. U pogledu kvaliteta, rudna ležišta Bora i Majdanpeka imaju prosečan sadržaj bakra u rudi od 0,35 % i spadaju u grupu siromašnih ležišta u svetu. Prosečan sadržaj u ležištima aktivnih rudnika i rudnika u razvoju sa klasičnim metodama eksploatacije, krajem devedesetih godina prošloga veka u zapadnom svetu, iznosio je oko 0,77 procenata. U ovim rudnicima sadržaj bakra je veoma različit tako što 70 % rudnih rezervi ima prosečan ili veći sadržaj bakra u rudi, dok 30 % ima niži sadržaj od prosečnog. Povećanje broja rudnika koji imaju niži sadržaj bakra u rudnim rezervama ukazuje da će rudna ležišta Bora i Majdanpeka biti u povoljnijoj poziciji u rasporedu svetske proizvodnje bakra. Što se tiče pratećih metala (zlata i srebra), ležišta Majdanpeka imaju vrednost ovih metala iznad prosečnih vrednosti u svetu, dok je najveće ležište, Borska reka, približno na nivou tih vrednosti. Veliki Krivelj i druga značajnija ležišta i sa ovog stanovišta pripadaju grupi siromašnih ležišta.

Iako je sadržaj bakra u rudi veoma važan faktor proizvodnje bakra, sa aspekta perspektive proizvodnje bakra u Boru i Majdanpeku, mnogo je važniji raspored svetske proizvodnje prema nivou troškova. Sadržaj bakra u rudi nije uvek presudan faktor nivoa troškova pojedinih rudnika i zemalja proizvođača bakra jer u mnogim slučajevima pozitivni efekti natprosečnog sadržaja mogu biti umanjeni ili u celosti poništeni negativnim uticajem drugih prirodnih faktora, među kojima su posebno značajni uslovi eksploatacije, mikro i makro lokacija, potrebna infrastruktura, sadržaj pratećih metala, odnos rude i jalovine i sl. Analize pokazuju da, pod uslovom da se izvrši modernizacija proizvodnih kapaciteta, bitno poveća produktivnost rada i smanje troškovi na nivo savremenih rudnika u svetu, proizvodnja bakra iz rudnih ležišta Bora i Majdanpeka objektivno bi mogla imati povoljnije mesto u rasporedu svetske proizvodnje prema nivou troškova u odnosu na mesto koje ima prema sadržaju bakra u rudi. Troškovi proizvodnje bakra iz ovih ležišta, u tom slučaju, bili bi veći za oko 20 % od prosečnih troškova u svetu početkom ovog veka, a iste ili veće troškove imalo bi od 20 %-25 % svetske proizvodnje, što je izuzetno važno za ocenu pespektive ove proizvodnje.

Uzimajući u obzir navedene aspekte, osnovni zadatak kompanije RTB-Bor u cilju modernizacije Topionice je bio zameniti reaktor i plamenu peć ("standardna" tehnologija topljenja) savremenom autogenom tehnologijom topljenja, a pri tome zadržati konvertore i anodne peći za rafinaciju. Prilikom izbora tehnologije topljenja za topionicu bakra u Boru stručni timovi su se na osnovu postavljenih baznih podataka i velikog broja urađenih studija odlučili da je za uslove u Boru najbolja finska tehnologija topljenja Outotec i da bi se sa njom postigli maksimalni tehnički i ekonomski pokazatelji.

Modernizovana topionica će imati kapacitet prerade od 400000 tona koncentrata bakra (prosečan sadržaj od 20,8 % Cu), odnosno proizvodnju od 80000 tona anodnog bakra na godišnjem nivou. Modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline pratiće i izgradnja postrojenja za neutralizaciju otpadnih voda iz procesa proizvodnje u fabrici sumporne kiseline i elektrolize, modernizacija odeljenja prijema i pripreme sirovina i odeljenja konvertora u delu odvođenja gasova ka fabrici sumporne kiseline, nova fabrika kiseonika kapaciteta 10000 m<sup>3</sup>/h kiseonika i 7000 m<sup>3</sup>/h azota, izgradnja jama za hlađenje šljake iz fleš peći i konvertora i nove flotacije.

Modernizacijom topionice i izgradnjom nove fabrike sumporne kiseline postižu se bolje iskorišćenje energije koncentrata i smanjenje specifične potrošnje goriva za 35 do 45 procenata. Nova tehnologija topljenja omogućava povećano iskorišćenje bakra sa 93 % na 98 % i pratećih plemenitih metala što za preradu od 400000 t koncentrata na godišnjem nivou znači 3500 t katodnog bakra više, odnosno oko 14 miliona dolara na godišnjem nivou. Takođe, sa povećanjem godišnje proizvodnje sumporne kiseline na 400000 t troškovi proizvodnje bi se smanjili za 9 do 13 miliona dolara. Sa ekološkog aspekta povećava se iskorišćenje sumpora sa 50 % na 98 % i time se popravlja ekološka slika Bora i okoline ne samo novom proizvodnjom koja značajno smanjuje emisiju SO<sub>2</sub>, već i ulaganjem u sanaciju višegodišnjim nerešenim stanjem odlagališta otkrivke i flotacijske jalovine.

Uvođenjem ovog postupka topljenja cilj je da se planski stabilizuje razvoj rudarstva u Boru i Majdanpeku što kao rezultat treba da da godišnju proizvodnju od oko 50000 tona

katodnog bakra u prvoj fazi realizacije u periodu od 2010. do 2014. godine, odnosno oko 70000 tona katodnog bakra u periodu od 2014. do 2016. godine. Da bi se ostvarila proizvodnja koncentrata od 400000 tona na godišnjem nivou potrebno je uraditi sledeće aktivnosti i u rudarskom delu što podrazumeva: aktiviranje površinskog kopa "Cerovo", povećanje kapaciteta rudnika i flotacija "Veliki Krivelj" i "Majdanpek", a samim tim i poboljšanje kvaliteta koncentrata bakra što podrazumeva povećanje sadržaja bakra u koncentratu na 20 do 21 procenata.

Za povećanu proizvodnju otkrivke, rude i jalovine iz rudnika Veliki Krivelj, rudnika Cerovo i rudnika Majdanpek, treba predvideti odgovarajuće kapacitete koji će omogućiti bezbedno deponovanje otkrivke i jalovine, uz donošenje programa neophodnih mera za popravljavanje kvaliteta otpadnih voda koje se ispuštaju iz jalovišta.

Proizvodnja bakra u prvoj fazi odvijace se u postojećim rudnicima: Veliki Krivelj, Jama Bor i Rudnik bakra Majdanpek. Pri tome kapacitet otkopavanja i prerade rude u Velikom krivelju će se povećati sa 8 na 10,6 miliona tona rude godišnje, u Majdanpeku će se kapacitet flotacije udvostručiti od 3 na 6 miliona tona rude godišnje, a najznačajnije povećanje desiće se u Jami Bor, eksploatacija oko 1,2 miliona tona u odnosu na sadašnjih 300000 tona na godišnjem nivou. Da bi se na kraju prve razvojne faze dostigla proizvodnja od 50000 tona katodnog bakra u rudarstvo treba investirati 125,9 miliona američkih dolara.

Druga faza iziskuje investicije od 121,9 miliona američkih dolara, a realizacija je predviđena u periodu od 2014. do 2016. godine. Poslednje 2016. godine u proizvodnju bi se uključio i rudnik Cerovo, sa kapacitetom prerade od 7,5 miliona rude godišnje, što bi značilo još 20000 tona bakra u koncentratu. Ulaganja u modernizaciju topionice i izgradnju nove fabrike sumporne kiseline su procenjena na 136 miliona dolara, što sa ulaganjima u rudarstvo iznosi ukupno 383,6 miliona dolara.

Prihodi i dobiti u stranoj valuti zavisice od plasmana bakra na domaćem ili stranom tržištu. Ako se polovina proizvodnje plasira u inostranstvu, ostvariće se značajan priliv deviznih sredstava. Plasman domaćim prerađivačima bakra, takođe donosi pozitivan efekat,

a to je smanjenje odliva deviza na uvoz bakra. Do sada je često bio slučaj da prerađivači uvoze bakar a da sa druge strane, RTB Bor izvozi bakar. To će dalje omogućiti da se izgrade novi pogoni za preradu bakra, kako bi se izvoz ili proizvodi više faze prerade koji su skuplji i koji bi donosili viši prihod omogućili viši profit.

U dužem vremenskom periodu stanovništvo Bora i okoline bilo je zaposleno isključivo u proizvodnji bakra. Sve investicije u poslednje vreme bile su vezane upravo za proizvodnju bakra. Investiranje u topionicu bakra doprinelo bi zadržavanju postojećih i otvaranju novih radnih mesta što bi imalo pozitivne ekonomske i socijalne efekte.

Procena budućih kretanja proizvodnje bakra podrazumeva poznavanje uticaja svih značajnih faktora ove proizvodnje. Dosadašnja predviđanja mnogih časopisa i stručnjaka koji se bave ovom problematikom su pokazala da su mnoge procene budućih kretanja u ovoj oblasti bile nerealne, a naročito procene koje se odnose na rudne rezerve i sadržaj bakra u rudi, stope rasta proizvodnje i potrošnje, cene bakra i drugo. Međutim, u praksi je ovo praktično nemoguće uraditi jer je vrlo teško predvideti sve promene koje mogu nastati u proizvodnji i potrošnji bakra kao posledica naučnog i tehnološkog razvoja. Zato ozbiljnije sagledavanje perspektive svetske proizvodnje bakra treba da se zasniva prvenstveno na poznatim činjenicama i na već izraženim tendencijama koje su analizirane u dužem vremenskom periodu.

Veoma važni pokazatelji proizvodnje bakra su: produktivnost, raspoložive rudne i potencijalne rezerve, sadržaj bakra i pratećih metala u rudi, zamena postojeće opreme i izgradnja novih kapaciteta, troškovi proizvodnje, regionalni raspored svetske proizvodnje, supstitucija i zaštita radne i životne sredine.

Istraživanje je pokazalo da je u prošlom periodu ostvaren ogroman rast produktivnosti u razvijenim zemljama tako da je ista u savremenim topionicama i elektrolitičkim rafinacijama povećana sa 250 t na 400 t katodnog bakra po radniku. Porast produktivnosti rada bio je najvažniji faktor jačanja konkurentne sposobnosti proizvođača bakra u tim zemljama. Produktivnost rada u razvijenim zemljama imaće manju stopu rasta

sa znatno manjim efektima, jer je u prethodnom periodu drastično smanjen broj zaposlenih radnika, a time i učešće živog rada u troškovima proizvodnje.

Realno je očekivati da će u zemljama u razvoju u narednom periodu doći do značajnog povećanja produktivnosti rada primenom savremenih dostignuća u razvoju tehnike i tehnologije. Povećanje produktivnosti rada u rudarstvu i metalurgiji zavisice od izvršenih kapitalnih ulaganja u rekonstrukciju i modernizaciju proizvodnih kapaciteta, u cilju povećanja produktivnosti rada i smanjenja troškova proizvodnje. Tome će znatno doprineti i rast realnih zarada radnika u tim zemljama. U celini, proizvodnja bakra i dalje će imati nadprosečni rast produktivnosti rada kao nužna pretpostavka opstanka velikog broja proizvođača bakra koji eksploatišu siromašnija rudna ležišta sa relativno visokim troškovima proizvodnje. Rast produktivnosti rada je vrlo važan ekonomski pokazatelj u cilju sagledavanja budućih kretanja troškova u svetskoj proizvodnji bakra.

Osnovu budućeg razvoja proizvodnje bakra čine raspoložive rudne i potencijalne rezerve[105], koje će se istražiti u budućem periodu. Međutim, skoro je nemoguće sa dovoljnom sigurnošću predvideti prirast novoistraženih rudnih rezervi i pored ogromnog napretka u metodama geoloških istraživanja. Takođe, procena potencijalnih rezervi je tesno povezana sa procenom veoma važnih elemenata, kao što su razvoj tehnike i tehnologije, kretanje cena bakra i pratećih proizvoda na svetskim berzama metala, troškovi eksploatacije i dr. Ovi razlozi su uticali da mnogi analitičari u svetu odustanu od predviđanja prirasta rudnih rezervi bakra koje nisu dovoljno istražene.

U ovom radu se pošlo od realne pretpostavke da će prirast rudnih rezervi u osnovi pratiti rast ove proizvodnje. Tu pretpostavku potvrđuju i dosadašnja kretanja u ovoj oblasti. U periodu 1951-1985. godine proizvodnja bakra iz primarnih sirovina je imala prosečnu godišnju stopu rasta od 3,4 %, rezerve bakra su rasle po stopi od 4,8 % godišnje. Najveći prirast rudnih rezervi ostvaren je od 1950. do 1975. godine kada je prosečna godišnja stopa rasta iznosila 5,8 %. Od 1976. do 1985. godine nastalo je usporavanje rasta rudnih rezervi (prosečna godišnja stopa je iznosila 2,6 %), ali je i u tom periodu njihov rast bio veći od rasta proizvodnje (1,4 % godišnje). U poslednjih 15 godina prošlog veka nastavljena je

tendencija usporavanja rasta rudnih rezervi u svetu, mada je došlo do značajnog povećanja rudnih rezervi u zemljama Latinske Amerike, Australiji i na Srednjem i Dalekom istoku. Krajem 90-tih godina na ovim područjima rudne rezerve su bile veće za blizu 100 miliona tona bakra u odnosu na stanje u 1985. godini i pored ogromnog povećanja rudničke proizvodnje bakra. Najnoviji podaci o rudnim rezervama krajem 2003. godine pokazuju da je ova tendencija zaustavljena i da je ponovo uspostavljena ravnoteža rasta proizvodnje i rudnih rezervi. Ukupne rudne rezerve najvećih proizvođača bakra u svetu su bile više 87,32 % u 2010. godini u odnosu na 2000. godinu i iznosile su 8589000 tona.

Drugi izuzetno važan aspekt perspektive proizvodnje bakra odnosi se na sadržaj bakra i pratećih metala u rudi (zlata, srebra, platine, paladijuma i dr.). Najvažnija ležišta rude bakra u svetu su porfirijuskog tipa koja obično imaju nizak sadržaj bakra (0,3 %-0,6 % Cu). Nizak sadržaj bakra u rudi se nadoknađuje eksploatacijom velikih količina rude koje se mere stotinama i hiljadama milionima tona. Prosečan sadržaj bakra u rezervama sada aktivnih rudnika i ležištima u pripremi ukazuje da će se nastaviti tendencija opadanja prosečnog sadržaja bakra u eksploatisanoj rudi u svetu. Prosečan sadržaj u zemljama koje su glavni proizvođači bakra u Čileu, Peruu i Indoneziji će i dalje opadati, ali će se povećati učešće zemalja sa natprosečnim sadržajem bakra u ukupnoj svetskoj proizvodnji. Prosečan sadržaj bakra u eksploatisanoj rudi u velikoj meri je u zavisnosti od kretanja cena bakra na svetskom tržištu. Zadržavanje cene bakra u dužem periodu na niskom nivou dovodi do privremenog ili trajnog zatvaranja rudnika sa niskim sadržajem bakra u rudi i na taj način dolazi do rasta prosečnog sadržaja bakra u svetu. Obrnuto, u slučaju visokih cena bakra u eksploataciju se uključuju ležišta sa niskim sadržajem bakra u rudi, što dovodi do pada prosečnog sadržaja.

U narednih 10-15 godina može se očekivati da će se nastaviti intenzivan proces redovne zamene postojeće opreme i izgradnje novih kapaciteta, što će značajno uticati na smanjenje troškova proizvodnje i povećanje produktivnosti rada. Razvoj nauke i tehnike će omogućiti dalji razvoj ove opreme, pri čemu će dominantnu ulogu imati kompjuterizacija i automatizacija procesa proizvodnje.



U razvoju klasičnih tehnologija dobijanja bakra u bližoj budućnosti se ne mogu očekivati krupne promene. U rudarstvu odvijaće se proces unapređenja metoda otkopavanja rudnih ležišta, transporta rude i jalovine, tehnologije prerade rude i koncentracije bakra i drugo. U metalurgiji bakra u velikom broju topionica u svetu je završen proces zamene postojećih tehnologija savremenim autogenim postupcima topljenja, te se u ovoj oblasti ne može računati na velike promene u bližoj budućnosti.

Međutim, najveći rezultati se očekuju u razvoju hidrometalurških postupaka proizvodnje bakra. Proizvodnja bakra ovim postupkom zasnovana na eksploataciji oksidnih ruda i dalje će se povećavati, mada usporenijim tempom jer je broj rudnih ležišta sa takvom rudom već u eksploataciji. Intenzivna istraživanja koja se vrše radi dobijanja bakra ovim postupcima iz sulfidnih ruda mogu predstavljati prekretnicu u razvoju proizvodnje bakra u svetu. Troškovi proizvodnje bakra bili bi bitno smanjeni, a značajno bi se povećale rezerve bakra čija bi eksploatacija u ovom slučaju bila ekonomski isplativa.

Troškovi proizvodnje kretaće se u skladu sa prirodnim uslovima dobijanja bakra, razvojem tehnike i tehnologije i rastom produktivnosti. Otuda se u bližoj budućnosti mogu očekivati uravnoteženija kretanja troškova sa znatno manjim promenama u strukturi svetske proizvodnje. S obzirom na očekivano usporenije opadanje sadržaja bakra u rudi, cene energenata i radne snage i dalje će značajno uticati na nivo troškova proizvodnje, ali će se taj uticaj relativno smanjivati sa razvojem tehnike i tehnologije i smanjenjem potrošnje ovih faktora proizvodnje. Osnovni cilj je da tehnološki razvoj poboljšava efikasnost procesa u rudarstvu i metalurgiji što bi se manifestovalo opadanjem troškova po jedinici proizvoda. Na tome treba stalno raditi jer treba imati na umu da je kvalitet resursa (nizak sadržaj bakra u rudi) sve niži.

Centralni problem u svetskoj proizvodnji bakra predstavljaju izuzetno velike razlike u nivou troškova proizvodnje, koje se u tim razmerama ne pojavljuju u drugim privrednim granama. U ovoj oblasti 15 % do 20 % svetske proizvodnje ne može da pokrije pune troškove proizvodnje (operativne troškove, amortizaciju i kamate na kredite). To će, dugoročno gledano, nužno dovesti do redukcije proizvodnje u rudnicima sa visokim

troškovima, koja se ne može u celosti nadoknaditi povećanjem proizvodnje sa nižim troškovima. Usled toga može se očekivati realni rast cena bakra na svetskom tržištu, ukoliko ne dođe do bitnih promena u obimu i strukturi potrošnje bakra.

Nizak sadržaj bakra u rudi i relativno visoki troškovi čine ovu proizvodnju veoma osetljivom na promene tržišnih cena bakra, te se krupne razvojne odluke u ovoj oblasti mogu donositi samo na osnovu sagledavanja dugoročnih tendencija. Pri tome treba imati u vidu da se svetske cene bakra, u dužem periodu ne formiraju na nivou prosečnih troškova proizvodnje u svetu, već se kreću iznad tih troškova, da bi se pokrili troškovi marginalnih proizvođača bakra. Proizvodnja bakra ima niske koeficijente elastičnosti jer u strukturi ukupnih troškova visoko učešće imaju fiksni i relativno fiksni troškovi. Za period od 1900-2009. godine troškovi u rudarstvu su smanjeni za skoro 4 puta, iako je sadržaj bakra u istom vremenskom periodu pao 3,7 puta.

Proizvođači bakra, za razliku od proizvođača u mnogim drugim oblastima ne mogu da obezbede odgovarajuće mesto na svetskom tržištu izmenama dizajna proizvoda ili drugim marketinškim aktivnostima. Samo smanjenjem troškova proizvodnje proizvođači bakra mogu ostvariti bolju konkurentsku poziciju na tržištu i veći profit. Poslednjih decenija dvadesetog veka na smanjenje troškova proizvodnje najveći uticaj je imala niska cena bakra.

U regionalnom rasporedu svetske proizvodnje bakra zadržaće se do sada izražene tendencije. Promene u narednom periodu neće biti dramatične kakav je bio slučaj u poslednjoj deceniji prošlog veka. Zemlje u razvoju će ostati glavni nosioci ove proizvodnje dok će se učešće Severne Amerike u ukupnoj rudničkoj proizvodnji i dalje smanjivati. Zemlje Latinske Amerike i Dalekog istoka imaće apsolutno dominantno mesto u budućoj proizvodnji bakra u svetu. Na to ukazuju i novi rudarski projekti koji su u pripremi ili realizaciji, naročito u zemljama Južne Amerike. U tabeli 44 su date procenjene investicije u rudarstvu u zemljama Latinske Amerike pri čemu se vidi da najveći proizvođači bakra kao što su Čile, Brazil i Peru ulažu 50-65 milijardi dolara u proširenje kapaciteta postojećih rudnika i realizaciju novih projekata u periodu do 2020. godine.

Proizvodnja bakra u zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza izašla je iz dugotrajne krize i poslednjih godina beleži značajno povećanje. Kina raspolaže skromnim rudnim rezervama, ali nastoji da maksimalno poveća svoju rudničku proizvodnju, a uvozom koncentrata i blister bakra teži da što više uposli metalurške kapacitete i obezbedi potrebne količine rafinisanog bakra. Proizvodnja bakra u Africi je i dalje na nivou oko 30 % dostignutog nivoa u 1980. godini. Međutim, realno je očekivati da će doći do oporavka proizvodnje i u ovom regionu, što bi značajno doprinelo povećanju ukupne svetske proizvodnje bakra. Treba računati na brži rast metalurških kapaciteta u zemljama u razvoju, zbog čega u dogledno vreme može nastati ozbiljan problem nedostatka koncentrata bakra na svetskom tržištu.

Može se zaključiti da je supstitucija bakra drugim materijalima poslednjih decenija prošlog veka bila veoma širokih razmera i da je ona bila najvažniji razlog velikog zaostajanja potrošnje ovog metala u odnosu na rast industrijske proizvodnje u svetu. Velika kriza u proizvodnji bakra, koja je počela sredinom sedamdesetih i trajala sve do sredine osamdesetih godina, u najvećoj meri je rezultat usporavanja rasta potrošnje bakra usled supstitucije drugim materijalima. Tako je u periodu 2007-2009. godine u proseku supstituisano oko 500000 tona bakra na godišnjem nivou. Supstitucija je najveće učešće imala u elektroindustriji i proizvodnji kablova (15 %), proizvodnje bakarnih limova (10 %), hladnjaka u autoindustriji (10 %) i proizvodnje vodoinstalacionih cevi (5 %). Gledajući regionalno, supstitucija je najviše bila zastupljena u Kini sa 130000 t a najmanje u Severnoj Americi sa 80000 tona.

Međutim, poslednjih 15 godina stope rasta potrošnje bakra približne su stopama rasta industrijske proizvodnje, što ukazuje da je trend supstitucije usporen i da je uspostavljena ravnoteža u potrošnji bakra i njegovih supstituta na datom stepenu razvoja tehnike i tehnologije. Tome su doprineli i rezultati istraživanja primene bakra u novim oblastima, mada primena bakra u tim oblastima nije mogla da kompenzira ogroman pad potrošnje ovog metala zbog supstitucije drugim materijalima.

Zaštita životne i radne sredine i dalje će predstavljati jedan od najvažnijih problema razvoja proizvodnje bakra. U prethodnom periodu postignuti su značajni rezultati, usled zamene tehnologije topljenja u razvijenim zemljama i u znatnoj meri u zemljama u razvoju. Međutim, proizvodnju bakra stalno prate novi ekološki problemi vezani za degradaciju zemljišta, zagađenje voda i vazduha i slično. Zahtevi za zaštitu životne sredine su sve veći i sve više imaju međunarodni karakter. Rešavanje ovih problema zahteva stalna ulaganja značajnih sredstava i pri tom dovodi do povećanja troškova proizvodnje. Troškovi zaštite životne sredine, pored svih dosadašnjih ulaganja, i dalje će imati značajno učešće u ukupnim troškovima proizvodnje bakra.

## LITERATURA

1. Davenport W, King M, Schlesinger M. and Biswas A. Extractive metallurgy of copper. Elsevier: Oxford; 2002.
2. Pitt H. C, and Wadsworth E. M. Current Energy Requirements in the Copper Producing Industries. Metallurgy Journal. June 1981;
3. Kellogg H.H. Sizing up the Energy Requirements for producing primary materials. Engineering and Mining Journal, April 1977;
4. Moreno A. (editor). World copper data book. Metal Bulletin Books. UK: Survey; 1999.
5. Alicia V, Antonio V, Immaculada A. Evolution of the decrease in mineral exergy throughout the 20<sup>th</sup> century. The case of copper in the US. Energy 2008;33(2):107-115.
6. Ehrlich R.P. Copper metallurgy. 1970.
7. Kellogg H.H, and Henderson J.M. Energy use in sulfide smelting of copper. Metallurgy Journal: New York 1976.
8. Outotec flash smelting technology. <http://www.outotec.com>; 2011.
9. Vučurović M. D, Knežević Č. Autogeni procesi u metalurgiji bakra. Institut za bakar-Bor: Beograd; 2000.
10. Anderson B, Hanniaba P and Harkki S. Use of Oxygen in the Outokumpu Flash Smelting Process. CIM Bulletin–The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, September 1992:172–177.

11. Landolt C.A and Fritz A. Copper making at Inco's Copper Cliff Smelter. In: Inter. Symp. Pyrometallurgy of Copper, Ottawa: August 1991:155–167.
12. <http://www.sulfuric-acid.com>
13. Me Kerrow, G.C, Themelis N.J, Tarassoff P, Hallett G.D. The Noranda Process. JOM. 1972; vol 4:25-32.
14. Themelis N.J and Kerrow M.C. Production of Copper by the Noranda process. Advances in extractive metallurgy and refining. London: International Metallurgy Meeting;1972.
15. <http://www.metsoc.org>
16. Shilasaaki T, Kanamori K and Hayashi M. Construction of new Mitsubishi furnaces for modernization of Naoshima smelter and refinery. In: Inter. Symp. Pyrometallurgy of Copper, Ottawa: August 1991:3–13.
17. Vanjukov A.V. Plavka v žitkoj vanie. Metallurgija: Moskva;1988.
18. Outotec Ausmelt TSL process. <http://www.outotec.com>; 2011.
19. Fountain C.R, Tuppurainen J.M. et al. New development for the Copper Isasmelt Process. In: Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Copper, Copper and Nickel operation, TMS Annual Meeting-The Minerals, Metals & Materials Society, Pennsylvania, February 1993:1461-1473.
20. Campos R.J, Achurre J.O and Rojas O.C. El Teniente converter. In: Inter. Symp. Pyrometallurgy of Copper, Ottawa: August 1991:229–246.
21. Stanković Ž. Upravljanje tehnološkim inovacijama u metalurgiji teških obojenih metala. RTB Bor i Institut za bakar-Bor; 2000.

22. Najdenov I, Radiša R, Raić T. K. Microeconomics of the materials and energents consumption in a simulated copper casting process. *La Metallurgia Italiana*.2012;5:
23. Davidović A, Najdenov I, Husović Volkov T, Raić T. K. Indukciona peć bez jezgra: konstrukcija, radni parametri i primena. *Livarstvo*. 2009;
24. Najdenov I, Raić T. K, Kokeza G. Aspects of energy reduction by autogenous copper production in the copper smelting plant Bor. Elsevier. *Energy* 2012;43:376-384.
25. Diaz C, at all. *Pyrometallurgy of copper. Volume IV*. New York: Pergamon Press; 1991.
26. Kellogg H.H. Energy efficiency in the Age of Scarcity. *Journal of Metals*.1974;25-29.
27. Kellogg H.H. *Conservation and Metalurgical process design*. The Institution of Mining and Metallurgy. London; 1977.
28. *Copper raw materials. Monthly publications. Commodities Research (CRU)*. London: 2004.
29. Alvarado S, Maldonado P, Barrios A, Jaques I. Long term energy-related environmental issues of copper production. *Energy* 2002;27:183-196.
30. Alvarado S, Maldonado P, Jaques I. Energy and environmental implications of copper production. *Energy* 1999;24:307-316.
31. *The World Copper Factbook 2011*. International Copper Study Group: 2011.
32. *Environmental protection as a challenge. Izveštaj Norddeutsche affinerie*. 2006.
33. *Izveštaji poslovanja Topionice i rafinacije bakra za 1996. godinu*. 1996;
34. Mitovski M, Ćirković M. *Energija u metalurgiji bakra*.Institut za bakar-Bor: Bor; 2007.

35. Knežević N. Č. Uticaj energetske i materijalne faktora procesa na rezultate topljenja bakarnih koncentrata u plamenim pećima. Bor; 1980.
36. Glavni tehnološki projekat konvertorske linije u topionici bakra u Boru. Institut za bakar-Bor. 1988.
37. Živković D. Ž, Savović Č. Veselin. Fizičko-hemijske osnove procesa topljenja i konvertovanja u metalurgiji bakra. Tehnički fakultet u Boru: Bor; 1996.
38. Corwin, T.K. et al. International Technology for the Nonferrous Smelting Industry. New Jersey: Data Corporation; 1982.
39. Kellogg, H.H. The State of Nonferrous Extractive Metallurgy. JM. 1982;
40. Najdenov I, Raić K, Kokeza G. Fuel consumption analysis in copper melting and refining plants. Metalurgija-Journal of Metallurgy. 2004; vol 10: 69-82.
41. Popović Z, Raić K. Energetika metalurških peći. Tehnološko-metalurški fakultet Beograd:Beograd; 1986.
42. Mitovski M. Energetska efikasnost pogona Topionice i rafinacije bakra u 2000. godini. Topionica i rafinacija bakra Bor; 2001.
43. Popović Z, Raić K. Peći i projektovanje u metalurgiji. Tehnološko-metalurški fakultet Beograd. Beograd; 1988.
44. Popović V. Z, Raić T. K. Pećne atmosfere. Savez inženjera metalurgije Srbije. Beograd;2006.
45. Chapman P.F and Roberts F. Metal resources and energy. London: Butterworth; 1983.
46. Jovanović M. Energetika metalurških peći. Beograd; 1970.



47. Bagrov O.N. Energetika osnovnykh proizvodstv tsvetnoy metallurgii. Metallurgiya. Moskva: 1979.
48. Berlin Z.L. Ratsionalnoe ispolzovanie vtorichnykh energoresursov tsvetnoy metallurgii. Metallurgiya. Moskva: 1972.
49. Diev N.P. Otrazhatelnaya plavka mednykh kontsentratorov. Metallurgiya. Moskva: 1965.
50. Queneau, P, Marcuson S.W. Oxigen Pyrometallurgy at Copper Cliff-A Half Century of Progress. JOM;January 1996;14-21.
51. Kupryakov Yu.P. Otrazhatelnaya plavka mednykh kontsentratorov. Metallurgiya. Moskva: 1976.
52. Knežević Č, Vučurović D. Primena kiseonika u Topionici bakra u Boru. Institut za bakar-Bor.Bor; 1971.
53. Mitovski M. Energetska efikasnost kriogenog procesa. Štamparsko-izdavačko preduzeće Bakar-Bor, Bor; 1994.
54. An energy profile of the US primary copper industry shows little to cheer about. E/MJ: 1976.
55. Ravich M.B. Metallurgicheskoe toplivo. Metallurgiya. Moskva: 1965.
56. Stepanov.V.S.Analiza energeticheskogo sovershenstva tehnologicheskikh protsessov. Izdvo-Nauka. Novosibirsk: 1984.
57. Bogner M. Termotehničar.Tom 1. Beograd: 1992.

58. Kokeza G, Raić K, Najdenov I. Uticaj potrošnje energenata u pogonima TIR-a na cenu koštanja katodnog bakra. VI savetovanje metalurga Srbije i Crne Gore-knjiga abstrakata, 2003;
59. Kokeza G, Najdenov I. Managing of Energy Costs in Function of Business Success, Example-Copper smelter and rafination Bor. Zbornik radova Energy-Zlatibor. 2005; ISSN 0354-8651:37-39.
60. Najdenov I, Raić K, Kokeza G, Vučurović D. Upravljanje potrošnjom energenata u procesima topljenja i rafinacije bakra. Tehnološko-metalurški fakultet Beograd. 2004;
61. Kokeza G, Raić K, Najdenov I. Optimiziranje potrošnje energenata u pogonima TIR-a. Srpsko hemijsko društvo-knjiga abstrakta. 2003;
62. Najdenov I, Raić K, Kokeza G., Economic insight into energents consumption in copper melting and refining plants of Serbia using the method of reduction to conditional fuel (coal equivalent). Metalurgia International 2011; vol. 16: 79-86.
63. Husović V. T, Raić K. Goriva i sagorevanje. Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd: Beograd; 2008.
64. Husović V. T, Raić K. Metalurške peći. Savez inženjera metalurgije Srbije. Beograd; 2010.
65. Nikolić M, Mihaljović Milanović Z. Z, Šahin M. Ekonomika energetike. Ekonomski fakultet Beograd: Beograd;2003.
66. Lane W. Poland's copper metallurgical center at Glogow. EMJ.1986.
67. Front-end engineering study for RTB Bor smelter modernization project. May 25; 2010.

68. Postrojenje za iskorišćenje otpadne toplote iz tehnoloških procesa topionice i fabrike sumporne kiseline u okviru kompleksa RTB Bor grupa-TIR Bor doo. Knjiga V: Studija opravdanosti. Energoprojekt. Decembar 2012. god;
69. Lokalni Ekološki Akcioni Plan Bora-LEAP.
70. Stanković Ž, Nikolić M. Prvi vek borske ekstraktivne metalurgije 1906-2006. RTB-Bor i Megatrend univerzitet Beograd; 2009.
71. Službeni glasnik republike Srbije. Br. 30/97 i 35/97
72. Studija opravdanosti rekonstrukcije topionice i dogradnje fabrike sumporne kiseline u Rudarsko topioničarskom basenu Bor u Boru. Projmetal-Beograd; 2011.
73. Stavrić B, Kokeza G. Upravljanje poslovnim sistemom. Tehnološko-metalurški fakultet Beograd:Beograd; 2009.
74. Cvetanović N. Bakar u svetu. IP NAUKA Beograd: Bor; 2005.
75. Tilton E. J and Landsberg H. H. Innovation, Productivity Growth and the Survival of the U. S. Copper Industry: 1997.
76. Crowson P. Changes in the Production Costs of Copper. 1970-1986 CIPEC; 1988.
77. Production Cost at North American mines. 1987.
78. Copper Industry Development in the period 1980-1990. 1981.
79. Gentry D. W. and O 'Neil T. J. Mine Investment Analysis. New York. 1984.

80. Valenzuela A, Palacios J, Cordero D, Sanches M. The Chilean Copper Metalurgical Industry An Update. 2003.
81. Cost Reductions at Codelco. Copper Studies; 1988.
82. Velasco P. The Mineral Industry of Chile. US Geological Survey-Mineral Yearbook; 2000.
83. Brundenius Claes. Changes to the copper industry. Edward Edgar Publishing: Massachusetts; 2003.
84. The Mineral Industry of Indonesia. US Geological Survey Minerals Yearbook: 2001.
85. Southern copper corporation report.2008-2012.
86. Kolarić V. Teorije dinamike troškova. Rad. Beograd: 1975.
87. Commodity insights Yearbook.2011.
88. Butterman W. C. Mineral Commodity Profile Copper. US Bureau of Mines: 1983.
89. Brook Hunt, CRU. Historical reports. MinEx Consulting estimates.2011.
90. USGS, Brook Hunt, CRU. MinEx Consulting estimates.2011.
91. Freeport-McMoRan Copper&Gold. Connecting the Future. Annual Report 2011.
92. [www.BrookHunt.com](http://www.BrookHunt.com)
93. USGS, Mudd, Brook Hunt, UBS. MinEx Consulting.2009.
94. The World Copper Factbook 2012. International Copper Study Group: 2012.
95. World Bureau of Metal Statistics. World Metal Statistics. London.

96. International Copper Study Group.
97. Industry overview. GFMS;2010.
98. Industry overview. USGS;2010.
99. Centro de estudios del Cobre La Minería.Cesco.2012.
100. Copper drives us forward. Aurubis annual report 2011/12.
101. [www.wroughtcopper.com](http://www.wroughtcopper.com)
102. Drescher H. W. Copper Application and Markets Then, Now and Tomorrow.CIPEC;1988.
103. [www.lme.com](http://www.lme.com)
104. Joaquin V. Changes in Copper Consumption Patterns: Myth or Reality ? CIPEC: 1989.
105. Bloomsbury Minerals Economies.The Three Main Drivers of LME Prices. London: 2002.
106. Rudolf W. Wolff Guide to the London Metal Exchange.1980. i 1995.
107. Substitution: Copper vs its Competitors (by Major Use). World Copper Factbook;2007.
108. Vital statistics on copper substitution. ICA/CRUThomson Reuters.
109. Aurubis report on fiscal year. 2009/10.

## **Biografija**

mr Ivan Najdenov, dipl. inž. metalurgije rođen je 05.04.1977. godine u Majdanpeku. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Boru. Tehnički fakultet u Boru, odsek opšte metalurgije završio je 2001. godine sa prosečnom ocenom studiranja 8,44. Ivan Najdenov se zaposlio 2001. godine Topionici i rafinaciji bakra u Boru u pogonu Livnica bakra i bakarnih legura i u vremenskom periodu od 2001. do 2010. godine obavljao sledeće poslove: Tehnolog u livnici fazonskih odlivaka, rukovodilac pripreme i rukovodilac Nove livnice. Zbog modernizacije Topionice i izgradnje nove Fabrike sumporne kiseline u periodu od 2010-2012. godine je radio u pogonima Topionice i Fabrike sumporne kiseline na rukovodećim mestima. Trenutno radi u pogonu Topionica kao rukovodilac organizacione jedinice topljenja na plamenoj peći. Ivan Najdenov je 2004. godine na Katedri za metalurško inženjerstvo na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, odbranio magistarsku tezu, pod nazivom: "Upravljanje potrošnjom energenta u procesima topljenja i rafinacije bakra".

Kandidat Ivan Najdenov je u toku svog dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada objavio kao autor ili koautor više naučnih radova na domaćim i stranim stručnim konferencijama, kao i u domaćim i stranim časopisima.

Od stranih jezika kandidat zna engleski i nemački.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а Најденов Иван

број индекса       /      

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Управљање процесима шпљења и рафинације бокра у функцији  
унапређења енергетске ефикасности и економске одрживости

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 31.01.2013.

Најденов Иван

## SAGLASNOST

Saglasni smo da se relevantni tehnički podaci pogona Topionice - kompanija RTB-Bor koriste isključivo za potrebe analize u doktorskoj disertaciji **“Upravljanje procesima topljenja i rafinacije bakra u funkciji unapređenja energetske efikasnosti i ekonomske opravdanosti.”** kandidata mr Ivana Najdenova, dipl. inž. metalurgije, zaposlenog u RTB-Bor.

Obrazloženje:

- Dana 21.5.2009. godine na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije **“Upravljanje procesima topljenja i rafinacije bakra u funkciji unapređenja energetske efikasnosti i ekonomske opravdanosti”** kandidata mr Ivana Najdenova dipl. inž.met.

- Izveštaj o uradenoj doktorskoj disertaciji usvojen je 31.01.2013. godine na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

- Ova saglasnost je neophodna kako bi se kompletirala potrebna dokumentacija za sprovođenje postupaka davanja saglasnosti Veća naučnih oblasti tehničkih nauka (Univerzitet u Beogradu).



Zamenik direktora TIR-a





Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Управљање процесима поштовања и рофинирање бокса у функцији  
уношења енергетске ефикасности и економске оптимизације

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 31.01.2013.

Никола Швај

1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.





















