



**2009  
SOKOBANJA**

## **ZBORNİK RADOVA BOOK OF PAPERS**

**14. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE  
14th Symposium on Thermal Science  
and Engineering of Serbia**

Sokobanja, 13-16.10.2009

Društvo termičara Srbije  
Mašinski fakultet u Nišu

# **ZBORNİK RADOVA**

## **14. Simpozijum termičara Srbije SOKOBANJA, 13-16.10.2009.**

Društvo termičara Srbije  
Mašinski fakultet Niš

**ISBN 978-86-80587-96-7**

**Izdavač:  
Mašinski fakultet Niš**

***Međunarodni programski odbor:***

dr Peter Novak, Slovenija  
dr Jordan Hristov, Bugarska  
dr Neven Dujčić, Hrvatska  
dr Vesna Barišić, Finska  
dr Petar Gvero, BiH, Republika Srpska  
dr Maria Ichim, Rumunija

***Programski odbor:***

dr Milan Radovanović  
dr Simeon Oka  
dr Predrag Stefanović  
dr Dragoslava Stojiljković  
dr Goran Jankeš  
dr Maja Đurović Petrović  
dr Vladan Karamarković  
dr Dragoslav Šumarac  
dr Dušan Gvozdenac  
dr Milun Babić  
dr Branislav Savić  
dr Gradimir Ilić  
dr Bratislav Blagojević  
dr Dragoljub Živković

***Počasni odbor:***

dr Miodrag Manić  
dr Zoran Boričić  
dr Dimitrije Voronjec  
dr Slobodan Laković  
dr Nenad Radojković

***Organizacioni odbor:***

dr Mladen Stojiljković  
mr Dejan Mitrović  
mr Mirjana Laković  
dr Branislav Stojanović  
dr Mića Vukić  
dr Jelena Janevski  
dr Gordana Stefanović  
dr Velimir Stefanović  
mr Goran Vučković  
mr Predrag Živković  
mr Dragan Kuštrimović  
Mirko Stojiljković  
Marko Ignjatović  
Jasmina Bogdanović Jovanović

***Predsednik organizacionog odbora***

*dr Mladen Stojiljković*

# UTICAJ REŽIMA PEČENJA NA KVALITET OPEKARSKIH PROIZVODA

## THE INFLUENCE OF FIRING REGIME ON QUALITY OF MASONRY PRODUCTS

Miloš Vasić, Zagorka Radojević, Milenko Maričić

*Institut za ispitivanje materijala, a.d., 1100 Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43, Srbija*

### Abstract:

Termički tretman višekomponentnih sirovinskih smeša, u procesu proizvodnje opekarskih proizvoda ima veliki uticaj na kvalitet finalnog procesa. Racionalizacija proizvodnje i unapređenja procesa pečenja a naročito dužine trajanja procesa pečenja kao i određivanje optimalnog režima pečenja je značajano ne samo sa stanovišta energetske efikasnosti već i sa stanovišta kvaliteta finalnih proizvoda. U ovom radu je dat prikaz analize kvaliteta opekarskih proizvoda iz jedne fabrike pre i nakon implementacije predloženih mera za uspostavljanje optimalnog režima pečenja, na osnovu analize podataka sa krive pečenja snimljenjene u pogonu. Analiza kvaliteta gotovih proizvoda izvršena je na osnovu važećih SRPS standarda i EN 771 +A1: 2005 standarada.

**Key words:** masonry product, firing curve, standard

### 1. Uvod

Tokom zagrevanja i pečenja opekarskih proizvoda, u njima se odigrava niz promena među kojima su najvažnije:

- izdvajanje zaostale, mehanički vezane vode,
- izdvajanje međuslojne i konstitucione vode,
- oksidacija organske materije i pirita, konverzija hidroksida u okside,
- razlaganje karbonata uz izdvajanje CO<sub>2</sub>
- kristalne transformacije kvarca pri zagrevanju i hlađenju, koje prate veće ili manje promene zapremine kristalnih tvorevina , kao i
- reakcije nastajanja novih silikata koje se odugravaju u čvrstom stanju.

Prilikom pečenja može doći do pojave defekata i narušavanja teksture proizvoda i to kako prilikom dovođenja toplote u procesu zagrevanja/pečenja ili u procesu odvođenja toplote odnosno hlađenju. Najčešći defekti koji se javljaju na opekarskim proizvodima su:

- pojava mikro pukotina,
- pojava S pukotina kao posledica naglog hlađenja
- pojava redukcionog jezgra,
- bubrenje proizvoda,
- ljuspanje itd.

## 2.0 Eksperimentalna istraživanja

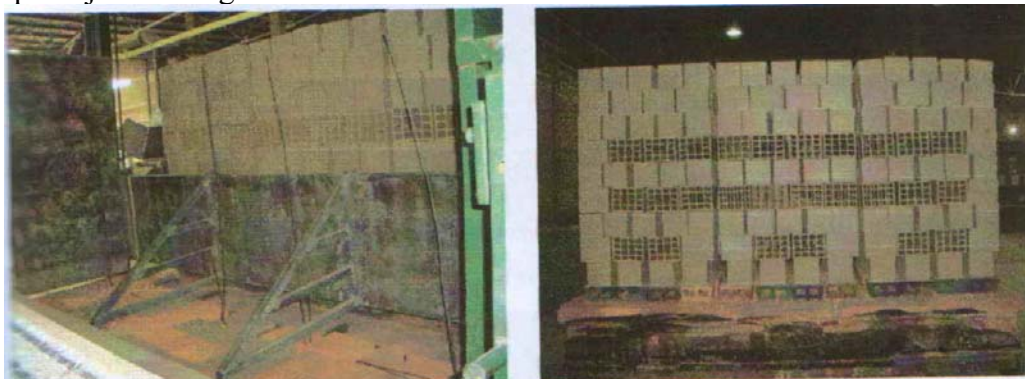
Podaci koji su izneti i korišćeni u radu bazirani su na rezultatima snimanja temperaturnog, materijalnog i energetskog bilansa tunelske peći urađenih u 2007. godini za jednog domaćeg renomiranog proizvođača, urađenog od strane saradnika Laboratorije za ispitivanje materijala IMS instituta. Rezultati o ispitivanju opekarskih proizvoda odnose se na proizvode iz istog pogona koji su urađeni neposredno pre sprovođenja snimanja režima pečenja i nakon izvršenih intervencija i izmena u režimu pečenja u tom pogonu. Obzirom da je Laboratorija za ispitivanje materijala IMS Instituta, akreditovana laboratorija, ovi podaci predstavljaju poverljive podatke, pa će u radu biti izneti samo podaci i zaključci bez navođenja imena proizvođača. U daljem tekstu pogon ovog proizvođača biće označen kao pogon A.

### 2.1 Dijagnosticiranje režima rada tunelske peći u pogonu A

Dijagnosticiranje režima rada tunelske peći u pogonu A sprovedeno je od 21. do 23. marta 2007. godine. Korišćena je oprema:

- Multifunkcionalni HVACR Dataloger DO 2003 proizvođača Delta OHM;
- Osam fleksibilnih termoelemenata tip K, model TJ36-CAIN-14U, proizvođača OMEGA, različitih dužina (od 1,2 do 2,4 m), u oblozi od inkonela, spoljašnjeg prečnika 6,3mm;
- Laptop Pentijum III, Compaq Armada M700;
- Anemometarska turbina sonda tip AP472S1 nernog opsega 0-20m/s proizvođača DELTA OHM;
- Čelija diferencijalnog pritiska tip PP473S1 mernog opsega 0-100mbara proizvođača DELTA OHM;

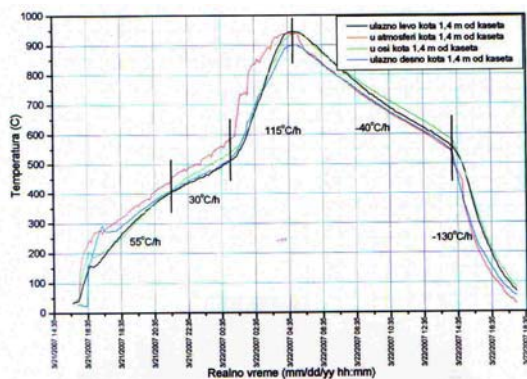
Snimanje temperaturnog režima realizovano je prodorom mernih sondi iz potpečnog kanala kroz vatrostalni ozid vagona tunelske peći u vatreni kanal. Merne tačke termoelemenata pozicionirane su na kotama 0.3 m (4 sonde) i 1,4 m (4sonde) od gornje kote kasete na pozicijama sredine II i VIII reda sloga opeka. Šest sondi je pozicionirano u paketu proizvoda, gde adekvatno prezentuju temperaturu materijala, dok su dve pozicionirane izvan sloga, u interesu praćenja temperature atmosfere u vatrenom kanalu, što je prikazano na slici 1. Po širini vagona sonde u slogu proizvoda su stavljene 0.45 m od leve i desne ivice vagona, kao i u osi vagona, dok su sonde za merenje temperature atmosfere postavljene 1.25 m od ulazno leve ivice vagona. Sve sonde su locirane na 0.85 m od prednje ivice vagona.



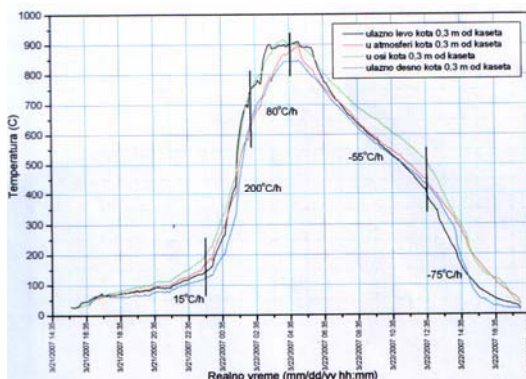
Slika 1. Pozicioniranje mernih sondi na vagonu tunelske peći

Tunelska peć je tipa "KELLER", ukupne dužine 109,5 m, vatrene kanala širine 3,55 m i visine 1,99 m. Dužina vagona tunelske peći je 2,80 m a kompoziciju vagona u peći formira 39 vagona. Tokom snimanja režima rada tunelske peći u peći je pečen šuplji blok od gline sa horizontalnim šupljinama, dimenzija: 190 x 250 x 190 mm. Na vagon tunelske peći slažu se 2 x 3 paketa proizvoda (devet redova). Visina sloga je 1,7 m. Energija za potrebe uspostavljanja režima pečenja

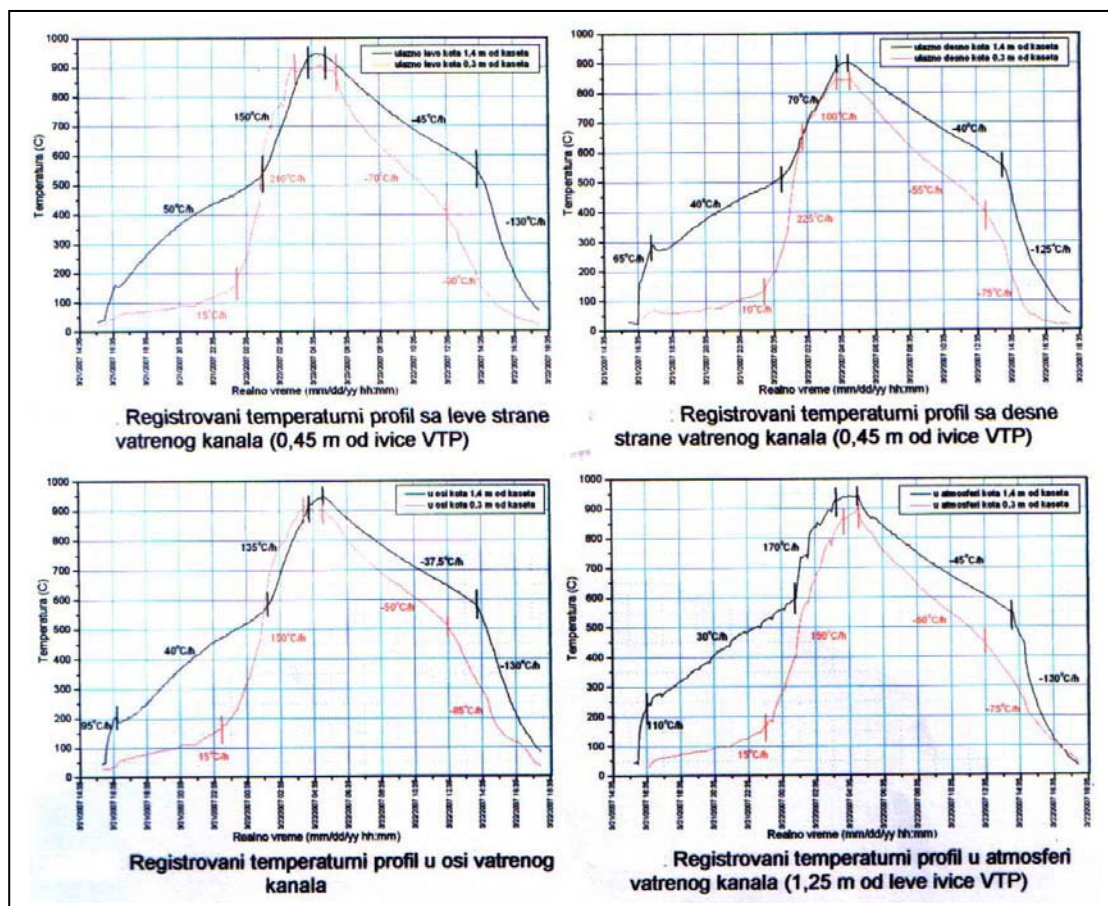
(i sušenja) proizvoda obezbeđuje se sagorevanjem mazuta preko pet grupa gorionika od po 6+5 gorionika u grupi.  
 Registrovani režimi pečenja tunelske peći dati su na sledećim slikama 2,3,4,5,6 i 7.



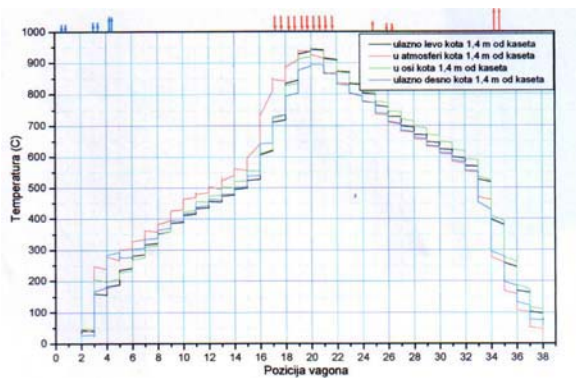
Slika 2. Temperaturni profil na gornjim kotama u funkciji vremena



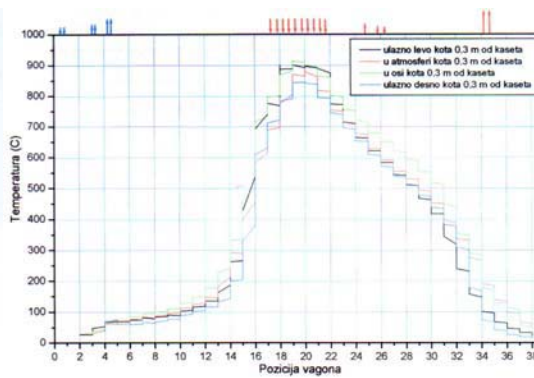
Slika 3. Temperaturni profil na donjim kotama u funkciji vremena



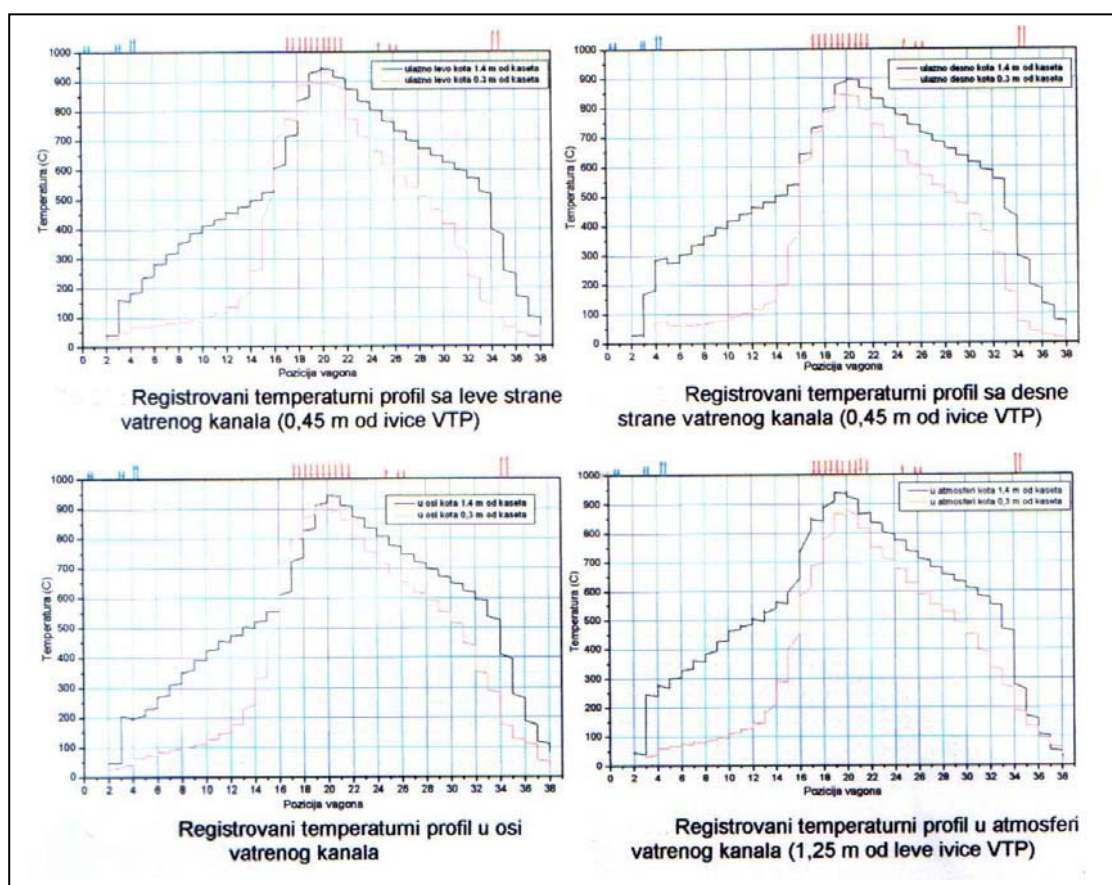
Slika 4. Temperaturni profili u funkciji vremena



Slika 5. Temperaturni profil na gornjim kotama u funkciji položaja vagona sa robom u peći



Slika 6. Temperaturni profil na donjim kotama u funkciji položaja vagona u peći.



Slika 7. Temperaturni profil u funkciji pozicije vagona

Analizirani su podaci o kvalitetu proizvoda na osnovu srpskog SRPS B.D8.011 i SRPS B.D1.015 i evropskog EN 771-1+A1: 2005 standarda.

U tabeli 1. dat je prikaz procentualnog odstupanja pojedinačnih pritisnih čvrstoća u odnosu na srednju vrednost opekarskog proizvoda 190 x 250 x 190 koji se proizvodi u pogonu A preuzetih iz izveštaja o ispitivanju ovog opekarskog proizvoda u periodu od 2006 do 2008 godine, kao i neposredno po snimanju režima pečenja (I kvartal 2007) i nakon izmena u režimu pečenja (II kvartal 2007godine).

2006	I kvartal 2007	II kvartal 2007	III Kvartal 2007	IV Kvartal 2007	2008	
Pre snimanja režima pečenja		Posle snimanja režima i izmena režima pečenja				
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> <sup>I</sup>	T <sub>4</sub> <sup>II</sup>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T
96.12%	99.79%	86.67%	104.92%	92.26%	99.37%	94.60%
102.98%	101.14%	122.98%	115.58%	92.87%	98.46%	117.19%
88.41%	82.55%	101.58%	96.42%	95.00%	103.00%	112.99%
102.04%	122.72%	93.93%	92.21%	97.75%	92.18%	90.78%
110.43%	93.91%	94.81%	98.87%	96.85%	98.46%	86.01%

### Napomena:

<sup>I</sup> Vremenski period kada su uočeni problemi u proizvodnji: pojava loma, pucanje proizvoda i dr.

<sup>II</sup> Vremenski period kada je izvršeno snimanje temperaturnog režima pečenja.

T<sub>1</sub> i T<sub>2</sub>, predstavljaju vremenski period od šest meseci a T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> i T<sub>6</sub> vremenski period od tri meseca. Odnosno to su periodi vremena protekli između ispitivanja kvaliteta proizvoda po SRPS B.D8.011 i SRPS B.D1.015 standardu.

Posebno treba uočiti T<sub>4</sub>-T<sub>6</sub> period kada je uspostavljeni kvalitet proizvoda zadovoljio evropski standard EN 771-1+A1: 2005 i po pitanju kategorije I u pogledu pritisne čvrstoće. Prema EN standardu od deset ispitanih uzoraka pet ispitanih uzoraka mora da ima vrednost pritisne čvrstoće u opsegu od 95 do 105 % vrednosti srednje pritisne čvrstoće, a drugih pet uzoraka mora da budu u opsegu od 80 do 120% od vrednosti srednje pritisne čvrstoće kako bi se zadovoljio uslov I kategorije.

### 3.0 Analiza rezultata

Sa slika od 2. – 4. vidi se sledeće:

- Tokom prvih 2h boravka u peći, proizvodi se na gornjim kotama zagrevju brzinom od preko 100<sup>0</sup>C/h, dok se na donjim kotama registruje zanemarljivo zagrevanje, što ukazuje na odsustvo strujanja vazduha, ili prodor „falš“ vazduha iz potpečnog kanala.
- O ovoj zoni temperatura atmosfere peći na gornjim kotama je za 50<sup>0</sup>C viša od temperature u slogu proizvoda, dok su na donjim kotama temperature bliske.
- Tri sata nakon ulaska u peć brzina rasta temperature na gornjim kotama se usporava, dok se na donjim kotama još uvek ne uspostavlja očekivani rast temperature.
- Tokom narednih 6h temperature na donjim kotama rastu brzinom od 10-15<sup>0</sup>C/h i dostižu 150<sup>0</sup>C. Za isto vreme temperatura na gornjim kotama raste brzinom od 40-50<sup>0</sup>C/h i u slogu dostiže 500-550<sup>0</sup>C. Temperatura u atmosferi kanala je za isto vreme dostigla vrednost od 600<sup>0</sup>C.
- Maksimalna razlika temperature po visini sloga iznosi 350-400<sup>0</sup>C, dok je razlika temperature atmosfere i sloga oko 40<sup>0</sup>C
- U periodu od 9-13h od ulaska u peć temperature na donjim kotama rastu brzinom od 150-225<sup>0</sup>C/h, prevazilazeći tokom poslednjih 2h temperature na gornjim kotama, što ukazuje na sagorevanje mazuta na platou vagona usled neadekvatnog raspršivanja goriva.
- Vršne temperature od 950<sup>0</sup>C su registrovane samo na gornjim pozicijama atmosfere, ose sloga i leve strane kanala. Na ostalim pozicijama iznose 900<sup>0</sup>C, izuzev na donjoj koti desne strane kanala gde je temperatura 850<sup>0</sup>C.
- Vreme boravka proizvoda na temperaturi iznad 800<sup>0</sup>C je svega 2h.
- Gornje kote sloga se do pozicije krajnjeg odsisa hlade sledećih 9 h brzinom od oko 40<sup>0</sup>C/h, dostižući 550-600<sup>0</sup>C i ulazeći u oblast fazne transformacije kvarca koju prati veliko širenje, što je uzrok pucanja i destrukcije proizvoda, a nakon toga se do izlaska iz peći narednih 4-5h hlade brzinom od oko 130<sup>0</sup>C/h.



- Donje kote sloga se od vršne temperature do 400-500<sup>0</sup>C hlade narednih 7h brzinom od 50-70<sup>0</sup>C/h, a nakon toga se do izlaska iz peći narednih 6h hlade brzinom od 75-90<sup>0</sup>C/h.

Sa slika 5,6 i 7 vidi se sledeće:

- Jačina prodora „falš“ vazduha opada sa udaljenjem od ventilatora dimnih gasova, što potvrđuje ispoljeni rast brzine zagevanja na donjim kotama, čemu doprinosi odsustvo dovoljnih količina vazduha za razmenu energije u delu peći između 10 i 16 vagona tunelske peći.
- U zoni predgrevanja na prvoj gorioničkoj grupi se nisu stekli uslovi za samopaljenje i potpuno sagorevanje mazuta jer materijal dolaskom na poziciju 17 vagona tunelske peći na gornjim kotama ima temperaturu od svega 610<sup>0</sup>C. Ovako mazut delom sagoreva na platou vagona doprinoseći naglom rastu temperature na nižim kotama u smeru strujanja dimnih gasova.
- Otsis vazduha za sagorevanje ne remeti značajno režim u zoni usporenog hlađenja, dok je baterija gornjeg odsisa zatvorena.
- Povećano strujanje vazduha levom stranom kanala doprinosi razlici temperatura na posmatranim kotama od 150<sup>0</sup>C do pozicije krajnjeg odsisa.
- Na poziciji krajnjeg odsisa izuzimaju se velike količine vazduha i realizuje se brzo hlađenje koje dovodi do pucanja prizvoda i to pre svega na gornjim kotama (oblast fazne transformacije kvarca).

#### 4.0 Diskusija rezultata ispitivanja

Analiza rezultata snimljenog temperaturnog režima ukazuje na:

- Prodor falš vazduha iz potpečnog kanala čiji uzroci su neadekvatna granulacija peska za peščarenje, sa velikim udelom prašine, nepopunjenost peščara, nemogućnost značajne regulacije „vuče“ dimnih gasova.
- Vidna razlika temperatura po visini vatrenog kanala.
- Nagli rast temperature kako na poziciji odsisa dimnih gasova (na gornjim kotama) tako i na poziciji ispred gorioničkih grupa (na donjim kotama), što pogoduje pojavi škarta.
- Pritisak i kapacitet ventilatora za sagorevanje ne obezbeđuju potrebne količine vazduha.
- U odsustvu dovoljne količine vazduha za hlađenje u zoni između krajnjeg odsisa i gorioničkih grupa proizvodi (naročito na gornjim kotama) dospevaju na poziciju krajnjeg odsisa nedovoljno ohlađeni, unutar oblasti fazne transformacije kvarca tako da dalje hlađenje izaziva pucanje prizvoda.

Na osnovu analize napred navedenih ispitivanja predložene su sledeće mere:

1. Ugradnja klapne na cevovodu usisne strane ventilatora dimnih gasova ili frekventnog regulatora motora ventilatora.
2. Prvi par betonskih šibera odsisa dimnih gasova otvoriti.
3. Obezbediti veći kapacitet i pritisak ventilatora vazduha za sagorevanje nabavkom moćnijeg.
4. Aktivirati bateriju naglog hlađenja na poziciji ispod haube za otsis vazduha za sagorevanje.
5. Obezbediti mernu opremu za praćenje pozicije „0“ pritiska u peći.
6. Pratiti pomoću postojeće merne opreme „vuču“ peći radi praćenja veličine odsisa prema dimnjaku i sušari.
7. U zoni predgrevanja treba osmisliti, projektovati i realizovati recirkulaciju dimnih gasova.
8. Preraspodelom vazдушnih tokova iz plašta i kanala peći povećati količine vazduha za hlađenje u delu peći od krajnjeg odsisa do gorioničkih grupa, kako bi materijal bio ohlađen ispod temperature transformacije kvarca.
9. Konstantno praćenje sirovine, procesa i prizvoda uz uvođenje sistema kvaliteta u pogon.

## 5.0 Zaključak

Na osnovu podataka o kvalitetu proizvoda prikazanih u tabeli 1. može se uočiti :

- da je u periodu neposredno pre snimanja režima pečenja i implementacije predloženih mera, kvalitet proizvoda bio relativno nizak
- da se u periodu neposredno po izvršenom snimanju režima pečenja i implementacije predloženih mera, kvalitet proizvoda popravio i da je zadovoljavao i stroge kriterijume standrda EN 771-1+A1
- da je u periodu neposredno po uspostavljanju snimanja režima pečenja i implementacije predloženih mera, pa sve do kraja sezone proizvodnje kvalitet proizvoda ostao konstantno dobar.
- Uvođenjem sistema kvaliteta i kontrole proizvodnje od eksploatacije sirovine na gliništu pa do pakovanja finalnog proizvoda, saradnja sa saradnicima iz IMS instituta i dnevno praćenje stanja u proizvodnom pogonu je dovelo do zavidnog kvaliteta proizvoda.

## 6.0 Literatura

1. Izveštaj o rezultatima snimanja temperaturnog režima, materijalnog i energetskog bilansa tunelske peći pogona „A“, Milenko Maričić, Beograd, 30.03.2007. godine
2. Uticaj režima pečenja u tunelskoj peći na pojavu defekata opekarskih proizvoda, Željko lalić, Zagorka Radojević i Radomir Vasić, KOMSEKO Kanjiža 2003 str. 309-316.
3. Analiza i procena dostignutog nivoa kvaliteta ciglarskih proizvoda u Srbiji u 2005 i 2006 godini prema JUS standardima i prema EN 771-1+A1: 2005, Miloš Vasoć, Milica Arsenović, Dragan Stanković i Radomir Vasić, Savetovanje o primeni direktive 89/106/EEZ za građevinske proizvode i standarda EN 771-1+A1:2005 u ciglarskoj industriji Srbije, zbornik radova str. 85-91.
4. Claus U., (1997) Mogućnosti i granice u pogledu brzog pečenja proizvoda ZI 5.