

KONTROLA KVALITETA PROIZVODA U OPEKARSKOJ INDUSTRIJI

PRODUCTS QUALITY CONTROL IN BRICK INDUSTRY

Jusuf Duraković, doc. dr
Diana Ćubela, doc. dr
Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici
Zenica, BiH

Mirjana Kovač
Federalno ministarstvo okoliša i turizma

REZIME

Kao dio definisanja i primjene matematičkog modela optimizacije potrošnje goriva uz dobijanje kvaliteta proizvoda po zahtjevima standarda za opekarske proizvode, koji je dio doktorske disertacije pod naslovom „Definisanje optimalnih tehnološko-termičkih parametara procesa proizvodnje opeka u protočnim pećima” omogućeno je arhiviranje i statistička obrada podataka rezultata ispitivanja osobina opeke nakon svakog proizvodnog procesa i povezivanje tih rezultata sa temperaturnim režimom rada peći i potrošnjom goriva. Rezultat toga je kvalitet proizvoda koji svaki put zadovoljava postavljene zahtjeve standarda uz istovremenu optimizaciju potrošnje energije.

Ključne riječi: kvalitet, proizvod, energija, matematički model, statistička obrada podataka

SUMMARY

As part of the definition and application of mathematical model of optimization of fuel with obtaining a quality product by the demands of standards for brick products, which is part of the doctoral thesis entitled "Definition of optimal technology-thermal parameters of the production of bricks in the tunnel furnace" enabled archiving and statistical data processing results testing feature brick after each production process and to connect these results with the temperature working furnaces and fuel consumption. The result is a quality product every time meets the standards set by the simultaneous optimization of energy consumption.

Key words: quality, product, energy, mathematical model, statistical data processing

1. UVOD

Osnovni koncept modela optimizacije ima tri dijela. Prvi dio koncepta je pretpostavka da sigurno postoji povezanost vrijednosti karakteristika proizvoda sa režimom održavanja temperaturnih polja u peći, vatrostalnom ozidu peći, vagona i proizvoda. Ova povezanost je po svojoj prirodi dosta komplicirana (kako po prirodi djelovanja pojedinih faktora tako i po

broju faktora koji mogu biti od uticaja). Na sreću, proizvodni proces je u suštini mehanizam koji praktično realizira djelovanje ove povezanosti tako što svakom proizvodu pridjeljuje vrijednosti osobina u svakoj kampanji za koju, s druge strane, mjerenjem je moguće utvrditi toplotni ekvivalent zagrijavanja peći a time i potrošnju energije po kg proizvoda. Dakle, sa stanovišta praktične primjene modela moguće je odrediti parametre režima zagrijavanja peći koji daju proizvode sa osobinama u granicama tolerancije s jedne strane i s druge strane, daje minimalnu potrošnju goriva po kg proizvoda.

Prema formulama toplotnog bilansa može se utvrditi i priroda djelovanja vrijednosti pojedinih varijabli toplotnog bilansa na specifičnu potrošnju goriva. U bloku za tabelarne i grafičke prikaze međuovisnosti postoji mogućnost uvida u prirodu uticaja pojedinih varijabli toplotnog bilansa na specifičnu potrošnju goriva. Polazeći od ove osnovne ideje može se analizirati povezanost osobina proizvoda i osobina sirovina.

Treći dio također polazi od prvog dijela ali povezuje karakteristike režima rada peći sa temperaturnim ekvivalentom toplotnog režima u peći ili sa temperaturnim poljem u proizvodima.

Iako su skoro sve karakteristike peći i proizvoda, vagona i svih drugih medija vezanih za rad peći u fazi proizvodnje u stvari funkcije vremena, s jedne strane, a s druge strane, digitalni kompjuter radi sa diskretnim numeričkim vrijednostima svih varijabli, potrebna je diskretizacija modela i numerička forma modela optimizacije. U biti diskretizacija je vrlo jednostavan prikaz svih funkcija $F_{(t,T,x,y,z)}$ koje ovise o vremenu, temperaturi i mjestu u peći pomoću skupa diskretnih vrijednosti

$$F(V_{rij}, T_{ej}, x_{k1}, y_{k2}, z_{k3}) \quad \text{za } i=0,..I; j=0..J, k_1=1..K_1; k_2=1..K_2, k_3=1..K_3.$$

Diskretizacija ima nekoliko faza .

Prva faza sastoji se od formiranja podataka. Najprije je potrebno odrediti broj vrijednosti za svaki od indeksa i, j, k_1, k_2, k_3 . To su vrijednosti I, J, K_1, K_2, K_3 .

1. S obzirom da su dimenzije širine i visine peći male u odnosu na dužinu peći, umjesto tri prostorne koordinate x_{k1}, y_{k2}, z_{k3} posmatra se samo dužina x_{k1} ili x_k .

Ovo je bitno pojednostavljenje modela koje omogućava sve proračune u realnom vremenu procesa. Sve vrijednosti $T_e(\text{vrij}[i], x[k])$ treba posmatrati kao konstante na presjeku peći $x[k]$.

2. Kod temperaturnog polja proizvoda uzima se u obzir položaj tačke (i, x_k, y_{k2}, z_{k3}) tako da se vrijednosti temperatura za različite y_{k2} i z_{k3} uzimaju u ovisnosti od vremena t prema zakonima prijelaza toplote i promjena temperature (indeks "i" je indeks za vrijeme $\text{vrij}[i]$).

3. Kako se vagoni sa proizvodima potiskuju u jednakim vremenskim intervalima iz jedne u drugu poziciju u peći, posmatra se temperaturno polje proizvoda na dva načina.

Naime, $T_e(t_{[i]}, x_{[k]})$ može se poistovjetiti sa

$$- T_e(t_{[i]}, x_{[i]}), \quad (1)$$

$$- T_e(t_{[k]}, x_{[k]}). \quad (2)$$

U prvom slučaju (1) temperatura $T_e(t_{[i]}, x_{[i]})$ se posmatra kao funkcija vremena $t_{[i]}$ jer se neki posmatrani vagon sa proizvodima u trenutku $t_{[i]}$ nalazi u poziciji $x_{[i]}$ i to važi za svaki vagon.

U drugom slučaju (2) temperatura $T_e(t_{[k]}, x_{[k]})$ se posmatra kao temperatura proizvoda u poziciji $x_{[k]}$ u peći jer se svaki vagon nakon isteka istoga vremena Δt nađe u poziciji $x_{[k]}$.

2. PRIPREMA PODATAKA ZA OBRADU

Svaka matrica podataka koja se mora formirati prema prvoj fazi ima svoje ime. Ovo je važno radi identifikacije i razlikovanja podataka prema njihovom smislu i značenju. Ime ukazuje na što se odnose i o kakvim podacima je riječ. Na primjer, ime „Topl_bil_Pl_Pune opeke_Visoko” ukazuje da se radi o podacima toplotnog bilansa za peć kad ona radi na plin a odnose se na pune opeke. Sam korisnik može formirati ime koje mu odgovara. Mehanizam rada sa datotekama ne zavisi od izbora imena datoteka.

Budući da se ovi podaci koriste u obradama podataka moraju se uvesti oznake za elemente matrica kako bi formule, sa kojima se radi u obradama bile jasne. Priloženi primjeri podataka najbolje ilustriraju kako izgledaju konkretne vrijednosti matrica podataka.

1. Matrica podataka za toplotni bilans je tako koncipirana da ima tri kolone i 120 redova. U svakom redu u prvoj koloni navedeno je ime varijable, u drugoj koloni navedena je jedinica mjere i u trećoj koloni navedena je vrijednost varijable. Ovo se ponavlja u svakom od 120 redova. Dakle, matrica sadrži 120 različitih varijabli. Imena za red=1,2 i kol=1,2,3,4 su matrice toplotnog bilansa za različite proizvode i vrstu goriva.
2. Matrica podataka o temperaturnim poljima sadrži podatke o temperaturama u tačkama položaja gorionika u peći: $D_e[g]$ je pozicija mjerenja temperature «g» računajući od početka peći a $V_e[g]$ je oznaka za temperaturu. Podaci o $D_e[g]$ i $V_e[g]$ su u koloni 1 matrice podataka o poljima temperatura. Značenje podataka u ostalih 5 kolona vidi se iz zaglavlja podataka. Imena za 3 i 4 red i kolonne 1,2,3,4 su datoteke temperaturnih polja.
3. Matrica podataka o sirovinama i proizvodima ima do 12 kolona i 300 redova. Ovako veliki broj redova je potreban radi arhiviranja konkretnih mjerenja osobina sirovina i proizvoda potrebnih za kasnije analize.

Datoteka protokola ili datoteka optimalnog proračuna je jedna velika matrica sa 300 redova i 50 kolona. Ova datoteka je najvažnija i sadrži podatke koji se redovno prikupljaju za vrijeme rada peći i praktično ovu datoteku sa parametrima toplotnog bilansa treba redovno ažurirati (upisivati). Svi ostali podaci su u vezi sa ovom datotekom.

Podaci ove datoteke su osnova svih proračuna jer se direktno koriste u proračunima za traženje optimalnog režima rada tunelske peći a preko nje se mogu pored direktnog upisa formirati proračunski dio datoteke o toplotnom bilansu i datoteke o temperaturnim poljima.

- a) Svaki red datoteke protokola sadrži podatke jedne opservacije seta podataka o svim osobinama proizvoda i temperaturama na 18 mjesta u peći koje određuju temperaturni ekvivalent toplotnog režima u peći, dobivenim u i-toj opservaciji smješteni su u i-tom redu (red=i) matrice. Ovo je veza sa datotekama temperaturnih polja. Svakom redu dopisuju se kao aktuelni podaci temperature dimnog plina (T_{dmp1}), zraka (T_{zr}), temperature proizvoda na izlasku iz peći (T_{kk}) i oznaka jesu li osobine proizvoda za taj red zadovoljavajuće ili ne. Ova oznaka ujedno znači i broj upotrebljivih (upisanih) redova. (U redovima u kojima nema podataka nije upisan ovaj podatak).
- b) U kolone kol=41, kol=42, kol=43, kol=44, kol=45 upisuju se ocjene kvalitete a osobine proizvoda X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 .
- c) Predviđeno je maksimalno 50 karakteristika čije su vrijednosti u redu sa rednim brojem opservacije red ili i=red. Prema statističkoj teoriji u uzorcima za pojedine statističke analize (regresije ili korelacije) broj opservacija treba da bude najmanje dvostruko veći od broja varijabli u opservaciji.

- d) Za date uslove statistička analiza odnosi se na osobine proizvoda i sirovina pa je već 25 opservacija dovoljno za upotrebljiv proračun za traženje optimalnog režima rada peći. Podaci o temperaturama se tretiraju kao stohastičke funkcije kod kojih su fluktuacije nižeg reda od fluktuacija varijabli osobina proizvoda i sirovina pa je moguće uzeti samo osobine proizvoda i sirovina sa izraženim stohastičkim aspektom dok se temperature tretiraju sa jače izraženim determinističkim aspektom.
- e) Ideja da se koriste podaci protokola o stvarnim podacima o radu peći za optimalni proračun uvedena je baš kod toplotnih agregata u metalurgiji i nije nova. ("historijski model"). Primjena brzih kompjutera omogućila je ovakav pristup problemu određivanja zakonitosti evolucije mnogih procesa naročito u domenu metalurških agregata. Režim rada peći u sadašnjosti i budućnosti može biti jedan od već ranije korištenih režima (kao što je slučaj sa svim proizvodnim procesima gdje se proizvode proizvodi datih osobina). Koristeći podatke iz ranijih već realiziranih režima rada peći možemo tražiti onaj koji najbolje odgovara zahtjevima u trenutnim uslovima. Dugoročno gledano, ideja ovakvog pristupa ima nekoliko dobrih osobina zbog kojih se ovaj pristup sve više koristi.

e₁) Pouzdanost primjene ovog pristupa stalno se povećava kako se proces duže koristi. Nakon određenog vremena primjene ovog postupka proces traženja optimalnog režima postaje stabilni "Stady State" proces u kojem su eventualne fluktuacije varijabiliteta varijabli reducirane na minimum.

e₂) Režim rada mnogih agregata je često dosta predodređeno definiran pa nema mnogo upotrebljivih rješenja što ograničava mogućnost slobode u biranju optimalnog rješenja. Historijski pristup potpuno eliminira ovu u praksi limitirajuću situaciju. Naime, postupkom se bira jedno od već korištenih upotrebljivih rješenja koje je već davalo zadovoljavajuće osobine proizvoda pa nema opasnosti da će biti korišten neki režim rada koji nije upotrebljiv jer ne daje zadovoljavajuće osobine proizvoda.

e₃) Proračuni su redovito vrlo složeni pa je poželjno imati što manje mogućih upotrebljivih rješenja (radi bržeg pretraživanja podataka i proračuna) između kojih se bira optimalno rješenje, ali prevelika redukcija skupa upotrebljivih rješenja nije prihvatljiva zbog opasnosti da se tako isključe neka upotrebljiva rješenja među kojima može biti i optimalno rješenje. Historijski postupak biranja optimalnog rješenja implicitno eliminira opasnost da se ispusti neko upotrebljivo rješenje jer uključuje sva upotrebljiva rješenja koja su ranije bila provjerena.

e₄) Uvijek postoji mogućnost uključivanja posve novog upotrebljivog rješenja koje ranije nije bilo korišteno ako se utvrdi ili želi provjeriti njegova upotrebljivost. Treba samo u novi red opservacija upisati podatke o temperaturama i osobinama proizvoda.

Važno je istaći koliko je nužno striktno poštovati fundamentalni zahtjev da se podaci o osobinama proizvoda u jednom redu (opservaciji) moraju odnositi baš na one proizvode koji su bili u postupku proizvodnje u vremenu kad je u peći bio režim zagrijavanja izražen temperaturnim ekvivalentom režima zagrijavanja peći koji je zapisan baš u tom redu (opservaciji).

Podaci o kvalitetu proizvoda reducirani su na ocjenu osobina izraženu stupnjem odstupanja od nominalne vrijednosti osobine. Kontrola kvaliteta prema ISO standardima predviđa ovakav način ocjene kvalitete proizvoda ovisno od posmatrane osobine. Ustvari, proizvod je prihvatljivog kvaliteta ako sve osobine proizvoda leže unutar propisanih granica tolerancije. Ako jedna od karakteristika nije zadovoljavajuća, proizvod nije zadovoljavajući. Granice tolerancije neke osobine određene su traženom vrijednošću (nominalna vrijednost) i

odstupanjem od ove vrijednosti. Posmatrana osobina mora imati vrijednost u intervalu $[L_d, L_g]$. Ocjena OC osobine uvodi se prema sljedećoj tabeli.

Tabela 1. Definicija ocjena OC osobina proizvoda (s -standardna devijacija osobine)

Vrijednost osobine $[X]$	ocjena $[OC]$
$\langle X \rangle = TV - 7.s/6$	4
$TV - 7.s/6 < X \leq TV - 5.s/6$	3
$TV - 5.s/6 < X \leq TV - 3.s/6$	2
$TV - 3.s/6 < X \leq TV - .s/6$	1
$TV - .s/6 < X \leq TV + s/6$	0
$TV + s/6 < X \leq TV + 3.s/6$	1
$TV + 3.s/6 < X \leq TV + s/6$	2
$TV + 5.s/6 < X \leq TV + 7.s/6$	3
$TV + 7.s/6 < X <$	4

Ovako uvedene ocjene imaju nekoliko prednosti:

1. Prvo, na ovaj način se unificira ocjena kvaliteta proizvoda posmatrajući svaku od osobina X .
2. Drugo, pri obradi i proračunima eliminišu se nepotrebne komplikacije radi različitih jedinica osobina X , jer su ocjene OC bezdimenzionalne.

Uzima se da je proizvod dobar u pogledu osobine X ako je ocjena za tu osobinu u skupu $[0,1,2]$, a nije zadovoljavajući ako je ocjena izvan ovog skupa. Dakle, uzima se da je

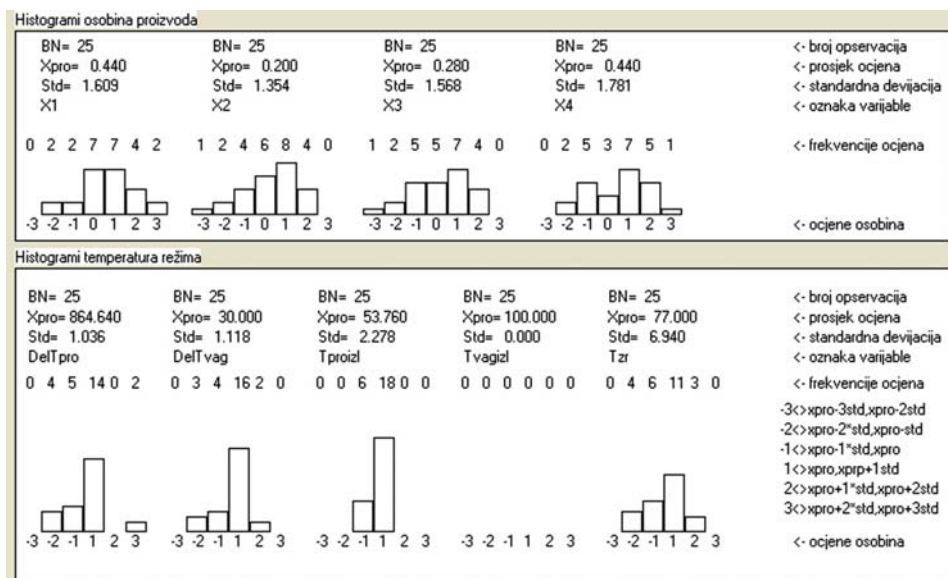
$$L_g = TV + 2.s/6$$

$$L_d = TV - 2.s/6.$$

U proračunu za optimalni režim primjenjuje se jedna prosta procedura koja svakoj opservaciji upisanom redu podataka na kraju (u koloni 50) dodaje 'ide' ako je OC unutar skupa $[0,1,2]$ a 'ne' ako X nije u skupu $[0,1,2]$.

U zaglavlju matrice navedena su imena ili oznake varijabli koje se kasnije koriste u formulama i proračunima. Na kraju matrice mogu se dodati (posebnom procedurom) tri reda u kojima se unosi ukupan broj upisanih redova BUR (Broj Upisanih Redova), prosjek $\text{pros}(x)$ i varijanca $\text{Var}(x)$ svake od numeričkih varijabli. Ovi redovi se kasnije mogu koristiti u različitim analizama ali i za definiranje granica tolerancije. Navedene vrijednosti odstupanja vrijednosti osobina od zadatih vrijednosti mogu biti predmet analize s ciljem poboljšanja kvaliteta proizvoda (smanjenje propisanih odstupanja).

Kao i u slučaju osobina sirovina i proizvoda i kod matrica podataka o proizvodima i temperaturama se formira tabela zajedničkih podataka o osobinama proizvoda i temperaturama proizvoda. Ovi podaci su potrebni za određivanje granica svake od 42 temperature vagona i, j -toj poziciji u peći na osnovu zadatih granica tolerancije osobina proizvoda. Varijable su označene u tabelama na način kako će biti korištene u proračunima, slika 1.



Slika 1. Histogrami osobina proizvoda i temperaturnih režima

3. ZAKLJUČAK

Matrica sa 50 kolona i 300 redova u koju se tokom proizvodnje unose podaci o temperaturama i kvalitetu proizvoda predstavlja najbitniji dio optimizacije u koju se svakodnevno unose podaci o kvalitetu proizvoda i temperaturama po zonama u peći. U jednu datoteku se mogu smjestiti svi podaci o skoro dvogodišnjoj proizvodnji. U toku jedne godine teoretski je moguće napraviti oko 165 kampanja a jedna datoteka može da arhivira podatke za 300 kampanja. Pored radnih datoteka različitih vrste proizvoda postoje još tri slobodne datoteke koje služe kao arhiva podataka. Na osnovu navedenog može se zaključiti da je moguće u modelu pohraniti podatke za period od oko 7 godina i uvijek tražiti kampanju sa najboljim rezultatima. Iz svih tih kampanja bira se onaj red koji daje najmanju potrošnju energije i najbolji kvalitet proizvoda. Sve se ovo može odnositi i na različite proizvode kao što su šuplji proizvodi, puni, blokovi i ploče. Ovo ukazuje na jednu praktičnu stvar da model sve što se više koristi postaje precizniji i uvijek nam nudi rješenje koje je u praksi dalo najbolji rezultat.

4. LITERATURA

- [1] Mikulaš Šveda: New look at mathematical relationships among physical properties of brick products, *British Ceramic Transactions*, 3/2000
- [2] Jeschar, R., H-G Bitner: Possibilities for the optimization of tunnel kiln processes in the brick and tile industry Quality improvement and reduction in energy consumption, *Ziegelindustrie International*, 10/1989
- [3] Jeschar R., H-G Bittner: A Mathematical Model for Layout and Optimization of Tunnel Furnace Processes in the Field of Ceramic Industry, 12th IMACS World Congress on Scientific Computation, 1988
- [4] Karsten Junge: Energy demand for the production of bricks and tiles, *Ziegelindustrie International*, 4/2002
- [5] H. Lingl: Technical trends towards energy saving in brickmaking, *Ziegelindustrie International*, 12/1997
- [6] V.I.Smironov: Kurs višej matematiki, Tom III, Moskva 1963
- [7] J. Duraković: Doktorska disertacija, Univerzitet u Zenici, 2006. godine