

Andrej Zdravkovic

Natalija Marsenic

LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Bgd.

SIMULACIJA VIŠESTEPENE OTPARNE STANICE

Simulation of the Multiple Effect Evaporation Station

SADRŽAJ: U radu je prikazana realizacija jednog simulacionog modela petostepene otparne stanice. Na osnovu bilansa mase i energije postavljene su diferencijalne jednačine stanja jednog otparnog tela. Model petostepene otparne stanice dobijen je rednim povezivanjem simulacionih modela otparnih tela. Predloženi simulacioni model korišćen je za analizu rada otparne stanice. Na osnovu dobijenih rezultata moguće je formirati algoritam za upravljanje gustinom šećernog soka za izlazu otparne stanice.

ABSTRACT: The paper presents multiple effect evaporation station simulation model realization. Differential equations that describes single evaporation effect are formed using mass and energy balances. Multiple evaporation station model is described by the single effect serial connection. Proposed simulation model is used for evaporation station behaviour analysis.

1. UVOD

Otparavanje je proces u tehnologiji za dobijanje šećera, kojim se prečišćeni retki sok (koji izlazi iz difuzera), sa 12-15 Bx (procenata suve materije) ugušćuje do vrednosti od 60-65% (procenata suve materije) šećera na izlazu iz stanice za otparavanje, odakle ide na kristalizaciju. Gusti sok na izlazu treba da sadrži unapred zadatu količinu čvrste materije, za bilo koju kombinaciju količine retkog soka na ulazu i procenta čvrste supstance u njemu. Nominalne vrednosti za protok soka na ulazu i procenat čvrste supstance u njemu određene su radom fabrike i zasnivaju se na tekućoj količini šećera i kvalitetu šećerne repe. Protok soka može značajno da varira oko nominalne vrednosti.

Simulacija višestepene otparne stanice je radjena u okviru projekta "Automatsko upravljanje rafinerijom i otparnom stanicom - Simulacija rada otparne stanice", koji finansira Fond za tehnološki razvoj. Ovaj rad predstavlja pripremu za realizaciju drugog dela projekta prikazanog u radu "Analiza jednog rešenja

upravljačkog algoritma za višestepenu otparnu stanicu".

U prvom delu rada opisan je proces otparavanja. Na osnovu bilansa mase i energije postavljene su diferencijalne jednačine stanja jednog tela otparne stanice. Treći deo rada daje jednačine stanja potrebne za simulacioni model petostepene otparne stanice u secerani AIK "Senta". U četvrtom delu rada prikazani su rezultati simulacije otparne stanice. Umesto zaključka, date su smernice za korišćenje simulacionog modela u formiranju upravljačke šeme za otparnu stanicu u AIK "Senta".

2. PROCES OTPARAVANJA

Otparavanje se vrši u otparnim stanicama raznih konstrukcija, koje se sastoje od nekoliko tela. Kao grejni fluid pri otparavanju, koristi se sekundarna vodena para. Kako snabdevanje grejnom parom zavisi od termičkih potreba ostalih potrošača u fabrici, koristi se višestepena otparna stanica, kod koje su tela postavljena jedno za drugim da bi se sekundarna para iz prethodnog tela koristila kao grejni fluid narednog tela. Na taj način se značajno smanjuje utrošak grejnog fluida u odnosu na pojedinačne otparivače. U prvom telu sok se greje do ključanja pomoću otpale industrijske pare. Para iz prvog tela služi za zagrevanje rastvora u drugom telu, a para iz drugog za zagrevanje u trećem, itd.

Prečišćeni retki sok koji ulazi u stanicu, u sebi sadrži 12-15 % suve materije (Brix - Bx), a na izlazu iz stanice treba da sadrži unapred zadatu koncentraciju od 60-65Bx, nezavisno od količine retkog soka na ulazu i procenta čvrste materije u njemu.

Sekundarna para, koja služi kao grejni fluid obično se delom koristi u otparnoj stanici, a delom, u vidu ekstra pare, za druge potrebe.

3. JEDNO TELO OTPARNE STANICE

Može da se prikaže kao na sledećoj slici, gde su:

$\dot{m}_{D(1-1)}$ - ulaz grejne pare u telo,

$h_{D(1-1)}$ - entalpija grejne pare na ulazu u telo

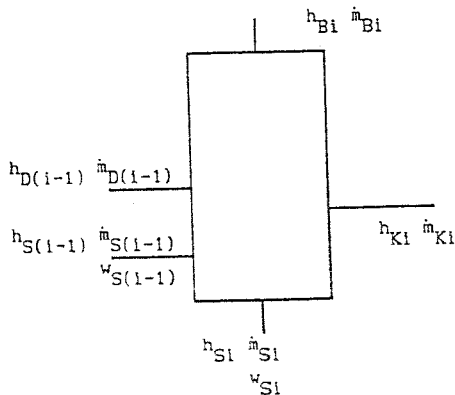
\dot{m}_{B1} - bridova para

$\dot{m}_{S(i-1)}$, \dot{m}_{Si} - ulazni i izlazni protok soka

$w_{S(i-1)}$, w_{Si} - procenat čvrste materije šećera u soku na ulazu i izlazu

\dot{m}_{Pi} - protok pare koja se odvodi za grejanje drugih delova fabrike,

\dot{m}_{Di} - para koja ulazi u sledeće telo kao grejna para.



4. JEDNAČINE STANJA PETOSTEPENE OTPARNE STANICE

Za više tela, možemo postaviti sledeće promenljive za ulaz i izlaz:

Ulazne veličine u i-to telo, (i=1,5) :

Sok:

$\dot{m}_{S(i-1)}$ [kg/h] - protok soka na ulazu u i-to telo, i na izlazu iz (i-1) tela,

$h_{S(i-1)}$ [kJ/kg] - entalpija soka,

$w_{S(i-1)}$ [%] - procenat čvrste materije u soku na ulazu u i-to telo, i izlazu iz (i-1) tela,

$r_{S(i-1)}$ [kg/m³] - gustina soka na ulazu u i-to telo,

Para:

$\dot{m}_{D(i-1)}$ [kg/h] - protok grejne pare na ulazu u i-to telo,

$h_{D(i-1)}$ [kJ/kg] - entalpija grejne pare.

Izlazne veličine za i-to telo:

Para:

\dot{m}_{Bi} [kg/h] - bridova para u i-toj stanici

h_{Bi} [kJ/kg] - entalpija bridove pare,

\dot{m}_{Ki} [kg/h] - protok kondenzata,

d)

h_{Ki} [kJ/kg] - entalpija kondenzata.

Sok:

\dot{m}_{Si} [kg/h] - protok soka na izlazu iz i-tog tela.

h_{Si} [kJ/kg] - entalpija soka.

w_{Si} [%] - procenat čvrste materije u soku na izlazu i-tog tela

ρ_{Si} [kg/m³] - gustina soka.

V_{Si} [m³] - zapremina soka u i-tom telu.

s_{Si} [m] - visina soka u i-tom telu.

A_{Si} [m²] - grejna površina poprečnog preseka i-tog tela.

Višestepena otparna stanica najčešće se opisuje jednačinama o promeni količine toplote, količine guste materije i protoka (/1/, /2/, /3/, /4/). Za dati sistem mogu da se napišu sledeće jednačine:

$$\frac{d(V_{Si}\rho_{Si}h_{Si})}{dt} = \dot{m}_{S(i-1)}h_{S(i-1)} + Q_1 - \dot{m}_{Si}h_{Si} - \dot{m}_{Bi}h_{Bi} \quad (1)$$

$$\frac{d(V_{Si}\rho_{Si}w_{Si})}{dt} = \dot{m}_{S(i-1)}w_{S(i-1)} - \dot{m}_{Si}w_{Si} \quad (2)$$

$$\frac{d(V_{Si}\rho_{Si})}{dt} = \dot{m}_{S(i-1)} - \dot{m}_{Si} - \dot{m}_{Bi} \quad (3)$$

$$V_{Si}(s_{Si}) = V_{Si,0} + A_{Si}s_{Si} \quad (4)$$

Prema dijagramima u /7/ (Baloh), mogu se izvršiti sledeće aproksimacije za zavisnost gustine soka u telu (jednačina 5) i zavisnost entalpije soka (jednačina 6): - gustina soka u telu zavisi od procenta čvrste materije i temperature soka na sledeći način (Baloh):

$$\begin{aligned} \rho_{Si}(w_{Si}, T_{Si}) &= f_1(w_{Si})f_2(T_{Si}) = \\ &= (171.43w_{Si}^2 + 357.14w_{Si} + 957.57) \cdot (-7.1552 \cdot 10^{-4}T_{Si} + 1.0703) \quad (5) \end{aligned}$$

- entalpija soka zavisi od procenta čvrste materije i temperature soka:

$$h_1(w_{S1}, T_{S1}) = f_3(w_{S1})f_4(T_{S1}) = 4.19 \cdot (1 - 0.474w_{S1}) \cdot T_{S1} \quad (6)$$

Protok soka koji izlazi iz tela regulišemo preko nivoa soka u telu, PI regulatorom, na sledeći način:

$$\dot{m}_{S1}(s_{S1}) = \dot{m}_{S1,0} - k_p(s_{S1,0} - s_{S1}) - k_i \int (s_{S1,0} - s_{S1}) \quad (7)$$

gde su k_p - proporcionalno dejstvo, i k_i - integralno dejstvo,

$$Q_1 = \dot{m}_{D(1-1)}(h_{D(1-1)} - h_K) \quad (8)$$

Kada se jednačine (4) - (8) ubace u sistem jednačina (1)-(3), dobije se sistem jednačina koji može da se predstavi u vektorskoj formi:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dw_{S1}}{dt} \\ \frac{dT_{S1}}{dt} \\ \frac{ds_{S1}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix}$$

Temperatura grejne pare $T_{D(1-1)}$ zavisi od temperature bridove pare na sledeći način:

$$T_{D(1-1)} = T_{B(1-1)} - \gamma, \quad \gamma = 0.5 \text{ za data tela.}$$

Temperatura brida u telima stanice zavisi od temperature soka

T_{S1} , na sledeći način:

$$T_{B1} = T_{S(1-1)} - \beta, \quad \text{gde } \beta \text{ zavisi od datog tela stanice.}$$

Protok bridove pare u telu se određuje na sledeći način:

$$\dot{m}_{B1} = (\dot{m}_{S(1-1)}h_{S(1-1)} + \dot{m}_{D(1-1)}h_{D(1-1)} - \dot{m}_{D(1-1)}h_{K(1-1)} - \dot{m}_{S1,0}h_{S1})/h_{B1}$$

Od te vrednosti bridove pare, određena količina ide na potrošače, \dot{m}_{P1} , a $\dot{m}_{B1} - \dot{m}_{P1}$ je količina grejne pare koja ide u sledeće telo, \dot{m}_{D1} , $i=1,5$.

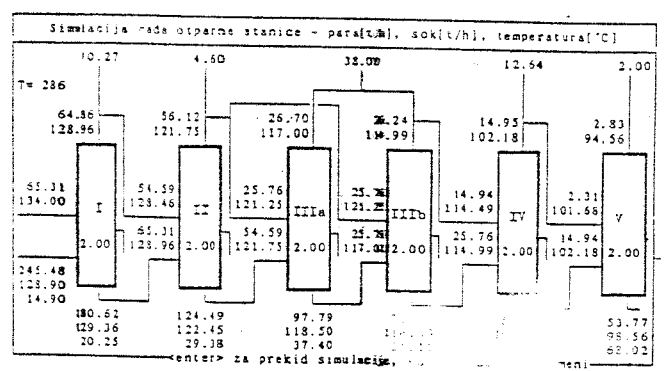
5. SIMULACIONI PROGRAM

Prema navedenim jednačinama realizovan je program za

simulaciju petostepene otparne stanice. Simulacija je vršena preko resavanja pridruženog sistema diferencijalnih jednačina Euler-ovom metodom.

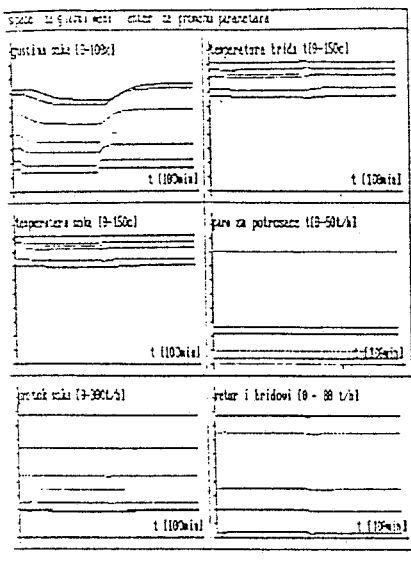
Realizovani simulacioni program pokazao je da su diferencijalne jednačine koje opisuju otparnu stanicu korektno postavljene. Simulacioni rezultati koji prikazuju vrednosti gustine soka u telima, protok soka i temperaturu, kao i protok i temperaturu grejne i bridove pare u ustaljenom stanju, dati su na slici 1, koja predstavlja grafički prikaz petostepene otparne stanice. Uticaj promene gustine ulaznog soka dat je na slici 2, dok se na slici 3 vidi uticaj varijacija ulazne grejne pare na gustinu izlaznog šećernog soka. Odziv na promenu potrošnje pare na potrošačima (III i IV) prikazan je na slikama 4 i 5. Poredjenja rezultata dobijenih simulacionim modelima sa raspoloživim podacima snimljenim tokom kampanje 91/92 u "AIK Senta" pokazuju da simulacioni model sa dovoljnom tačnošću opisuje petostepenu otparnu stanicu.

Na osnovu dobijenih simulacionih rezultata biće moguće predložiti upravljanje petostepenom otparnom stanicom, zatim postaviti model upravljanja na digitalnom računaru i pomoću simulacije petostepene otparne stanice proveriti kvalitet upravljanja i podesiti parametre regulatora pre instalacije na realan proces.

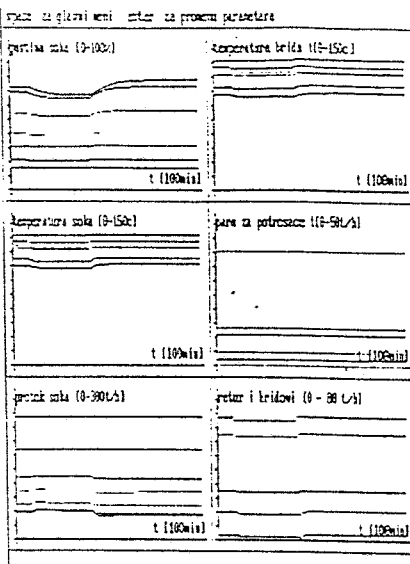


Slika 3 - Stacionarno stanje petostepene otparne stanice - prikazivanje na slici
 Napomena: Podaci su polazni (projektni). Na sledećim slikama su menjani po jedan podatak (po potrebi dva).

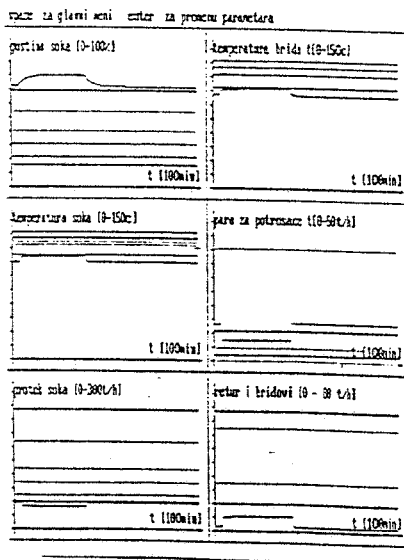
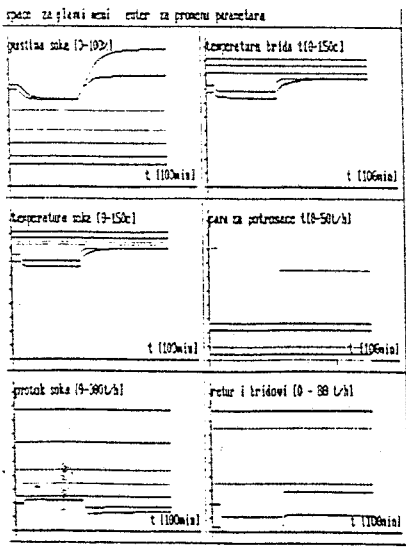
Slika 1: Ustaljeno stanje



Slika 2: w_{izl} se menja sa 14.9% na 13%, i na 16%



Slika 3: Promena ulazne grejne pare sa 65.31t/h na 64t/h.



Slika 4, 5: Promena potrosaca na III telu sa 38-20t/h i na IV telu sa 12.64-7t/h.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana realizacija jednog simulacionog modela petostepene otparne stanice. Predloženi simulacioni model korišćen je za analizu rada otparne stanice. Simulacioni rezultati u potpunosti odgovaraju realnim parametrima otparne stanice. Na osnovu dobijenih rezultata moguće je formirati algoritam za upravljanje gustinom šećernog soka za izlazu otparne stanice. Pored omogućavanja provere upravljačkog algoritma, simulacioni model, ukoliko se ugradi u upravljački algoritam, omogućava upravljanje gustinom izlaznog šećernog soka na osnovu suženog seta izmerenih vrednosti promenljivih stanja.

8. LITERATURA

- /1/ F. Rousset, Y. Saincir, M. Daclin: "Automatic Process Control of Multiple-Effect Evaporation", Zuckerind 114 (1989), Nr.4, pp.323-328, Nr.6, pp.470-476.
- /2/ M. Makela: "Mathematisches Formulieren und digitales Simulieren einer Verdampfstation in der Rubenzuckerindustrie", Zuckerind 106 (1981), Nr.11, pp.989-992.
- /3/ A. Lebert, F. Rousset, A. Duquenoy, P. Bonnenfant: "Simulation sur ordinateur d'un evapourateur de sucrerie a multiple effets", Industries Alimentaires et Agricoles (1980), pp.691-698.
- /4/ K. Urbaniec, M. Szczeniowski: "Nachbildung einer mehrstufigen Verdampfanlage unter Verwendung des CSMP-Systems", Zuckerind 105 (1980), Nr.7, pp.628-631.
- /5/ J.-C. Giorgi: "Automatisation de l'evaporation", Sucrierie Francaise - Aout-Septembre 1987.
- /6/ K. Urbaniec: "Developments in computer-aided monitoring of sugar factory energy balances", Zuckerind 116 (1991), Nr.6, pp.509-512.
- /7/ T. Baloh: "Warmeatlas fur die Zuckerindustrie", Hannover 1975.