

DRAGIŠA M. TOLMAČ¹
SLAVICA PRVULOVIĆ²
LJILJANA Z. RADOVANOVIĆ¹

¹Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin",
Zrenjanin

²Tehnički fakultet u Boru,
Bor

STRUČNI RAD

66.065.5+536.2:641.1

PRILOG RAZVOJU TEHNOLOGIJE ZA KRISTALIZACIJU ŠEĆERA – MONOHIDRATA GLUKOZE

Tehnološka operacija kristalizacije obavlja se u specijalnim uređajima – kristalizatorima. U procesu kristalizacije vrši se odvođenje toplote iz sistema. Dato su numeričke vrednosti toplote kristalizacije i toplote hlađenja, kao i način njenog određivanja. U radu je prikazano tehnološko rešenje sistema i rešenje primene oslobođene toplote iz procesa kristalizacije za grejanje proizvodnog pogona. Sam rad predstavlja prikaz iz industrijske prakse, s obzirom da je projekat realizovan u privredi.

Kristalizacija se intenzivno usavršava od polovine 19. veka, kada je u praksu uveden kristalizator tipa Robert, sa prirodnom cirkulacijom. Radovima Prandla i Rejnoldsa stvorena su saznanja o važnosti brzine strujanja rastvora, pa je uvedena veštačka cirkulacija. Početkom ovog veka, konstruisan je kristalizator sa spoljašnjom zagrevnom komorom. Nakon toga počeo je intenzivan razvoj na regulisanoj kristalizaciji, tako da su ovi kristalizatori danas najviše u upotrebi.

Jedna od tehnoloških operacija u proizvodnji šećera je proces kristalizacije. U inženjerskom pogledu, kristalizacija je nejeftiniji proces u kome se stvara čvrst produkt, koji se poznatim metodama separacije izdvaja od preostalog sistema. U fizičko-hemijskom pogledu, kristalizacija je proces kojim sistem dolazi u stanje najmanjeg sadržaja energije, posredstvom stvaranja čvrste faze u obliku kristala. U procesnoj industriji je vrlo raširena primena metode industrijske kristalizacije, naročito u proizvodnji veštačkih đubriva, natrijum hlorida, šećera, sode itd.

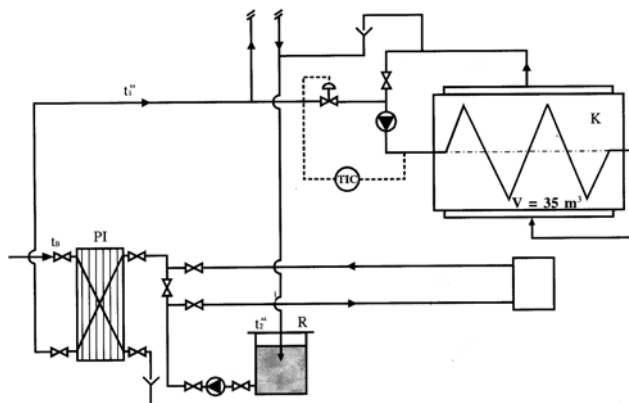
Karakter sistema utiče kako na ravnotežu u sistemu, tako i na kinetiku kristalizacije. Pošto je rast kristala proces difuzije, na kristalizaciju utiču svi parametri sistema koje utiču na difuziju.

Industrijski kristal predstavlja agregat malih kristala, često nepravilno složenih. Pored čistoće kristala, veliku ulogu igraju veličina, oblik, boja, sipkost, stanje površine kristala itd.

TEHNOLOŠKO REŠENJE

Proces kristalizacije šećera – monohidrata glukoze (prvi produkt), obavlja se u horizontalnim kris-

talizatorima (slika 1). Proces kristalizacije traje 45 časova, a u tom vremenskom periodu vrši se lagano hlađenje sistema. Da bi se proces kristalizacije obavio uspešno, potrebno je obezbediti kontinualno odvođenje oslobođene toplote. Kako je prikazano na slici 1, dato postrojenje realizovano je u privredi, u okviru projekta [7]. Izgrađeno postrojenje sadrži 12 komada kristalizatora, svaki zapremine od 35 m³.



Slika 1. Tehnološka šema instalacije kristalizatora.
Figure 1. Layout of crystallization installation

U procesu kristalizacije, šećerni sok se transformiše u kristale, te se dobija šećerovina sledećih karakteristika: $P_{SM} = 77\%$ suve materije i $w = 23\%$ vode.

Količina toplote koja se oslobodi sastoji se od toplote kristalizacije i toplote za hlađenje:

$$Q = Q_K + Q_T = r \cdot q + 1000 \cdot D_F \cdot c_p \frac{\Delta_{FF}}{\Delta t} \quad (1)$$

Količina toplote koja se oslobodi u procesu kristalizacije šećera – monohidrata glukoze pri $P_{SM} = 77\%$ i $w = 23\%$, data je u tabeli 1.

Iz table 2, početne i krajnje temperature procesa iznose:

Adresa autora: D. Tolmač, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Đure Đakovića bb, 23000 Zrenjanin, Srbija
E-mail: tolmac@beotel.yu
Rad primljen: Maj 09, 2007.
Rad prihvaćen: Septembar 11, 2007.

Tabela 1. Toplota oslobođena u procesu kristalizacije šećera – monohidrata glukoze*
Table 1. Heat release in the process of crystallization of sugar – glucose monohydrate

Vreme [h]	ρ [kg/m ³]	q [kg/m ³ h]	t_F [°C]	Q_K [kJ/m ³ h]	$\Delta t_{FF}/\Delta T$ [°C/h]	Q_T [kJ/m ³ h]	$Q_K + Q_T$ [kJ/m ³ h]
0	135	4,6	49	484	0,06	208	692
5	160	5,2	48,7	548	0,07	242	790
10	190	5,8	48,3	610	0,08	277	887
20	250	7,1	47,3	747	0,10	346	1093
30	330	8,3	45,9	874	0,13	450	1324
40	420	9,7	44,2	1021	0,18	623	1644
50	530	11,4	41,7	1200	0,25	865	2065

* ρ – gustina mase, q – količina izdvajanja kristala, t_F – temperatura matičnog soka, Q_K – toplota kristalizacije, $\Delta t_{FF}/\Delta T$ – brzina izdvajanja kristala, Q_T – toplota hlađenja

Tabela 2. Režim hlađenja u procesu kristalizacije šećera – monohidrata glukoze.
Table 2. Cooling regime in the process of crystallization of sugar – glucose monohydrate.

Vreme [h]	Temperatura			Količina izdvajanja kristala q [kg/m ³ h]	Količina toplote $Q = Q_K + Q_T$ [kJ/m ³ h]
	Šećerovine t' [°C]	Vode t'' [°C]	Razlika $(t' - t'')$ [°C]		
0				4,6	692
5	49,0	47,0	1,0	5,2	790
10	49,1	46,0	3,1	5,8	887
15	48,7	45,5	3,2		
20	48,0	44,0	4,0	7,1	1093
25	47,0	43,0	4,0		
30	45,0	40,4	4,6		
35	43,5	37,2	6,3	8,3	1324
40	41,5	32,0	9,5		
45	38,0	23,5	14,5	9,7	1644
50	36,0	21,0	15,0	11,4	2065

$t_1 = 49$ °C; $t'_2 = 36$ °C – za šećerovinu,

$t_2 = 47$ °C; $t''_1 = 21$ °C – za rashladnu vodu.

Na 25°C u beskonačnom razblaženju (1 kg hidratnog šećera u neograničenoj količini vode) toplota kristalizacije je $r = 105,3$ kJ/kg hidratnog šećera. Ova vrednost menja se na višim temperaturama i pri većim koncentracijama kristala. Za proračun se koristi podatak: $r = 105,3$ kJ/kg.

Računa se sa specifičnom toplotom od $c_p = 2,5$ kJ/kg K, na oko 77% suve materije, a dobija se iz formule:

$$c_p = P_{SM} \cdot c_{pS} + w \cdot c_{pw} \quad (2)$$

gde je: c_{pS} – specifična toplota šećera, w – procenat sadržaja vode, c_{pw} – specifična toplota vode.

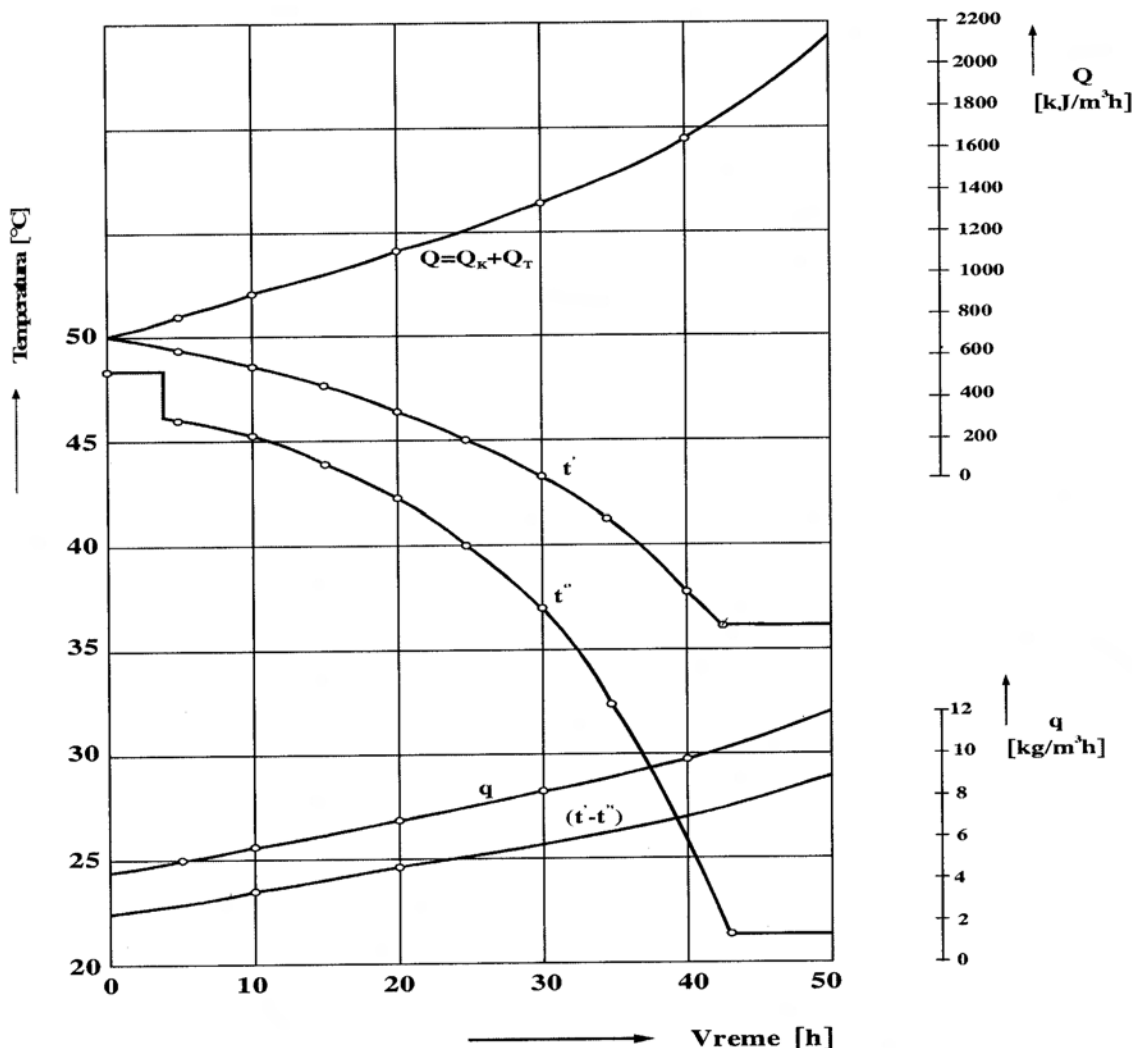
Smatra se da su ovi podaci za stacionarne uslove, a oslobođena toplota u toku procesa kristalizacije iznosi:

$$Q = 105,3 \cdot q + 3461 \cdot \frac{\Delta t_{FF}}{\Delta T} \quad (3)$$

Izračunate vrednosti prikazane su u tabeli 1. U toku procesa, toplota kristalizacije se povećava skoro tri puta, a toplota hlađenja sedam do devet puta od početne vrednosti (tabela 2). Pri istoj koncentraciji kristala na kraju ciklusa kristalizacije – proces kristalizacije, a time i efikasnost u potpunosti zavise od brzine prenosa toplote na kraju kristalizacije (slika 2).

Hlađenje se vrši veoma sporo. U početku je brzina promene temperature skoro 1 °C za svaka dva sata. Sporo hlađenje se postiže malom razlikom temperature šećerovine i rashladne vode.

U početku je razlika temperature 2 °C, pa raste do 4 °C. Posle 24 h, odnosno u drugom periodu kristalizacije, oformljeni kristali intenzivno rastu, te se ubrzava hlađenje. U tom cilju koristi se sve hladnija voda, pa se razlika temperature šećerovine i vode kreće od 4,6 do 15 °C. Efektivno vreme kristalizacije od 45 časova računa se od momenta kad je kristalizator napunjen, pa sve dok temperatura šećerovine opadne na 36 °C. Oslobođena toplota iz procesa kristalizacije koristi se za zagrevanje proizvodnog pogona (slika 1).



Slika 2. Režim hlađenja u procesu kristalizacije šećera – monohidrata glukoze
 Figure 2. Cooling regime of crystallization process of sugar – glucose monohydrate

ZAKLJUČAK

Na postrojenju od 12 kristalizatora, svaki za premine 35 m^3 analiziran je proces kristalizacije. Kao rezultat istraživanja dato je rešenje primene toplote oslobođene iz procesa kristalizacije. Oslobođena toplota iz procesa kristalizacije koji traje 45 časova, koristi se za zagrevanje proizvodnog pogona.

U toku procesa, toplota kristalizacije se povećava skoro tri puta, a toplota hlađenja sedam do devet puta od početne vrednosti. Pri istoj koncentraciji kristala na kraju ciklusa – proces kristalizacije, a time i efikasnost u potpunosti zavise od brzine prenosa toplote na kraju kristalizacije.

Određene su numeričke vrednosti toplote kristalizacije i toplote oslobođene u procesu kristalizacije šećera – monohidrata glukoze za različita vremena (od 0 do 50 h).

Rezultati prikazani u ovome radu mogu korisno poslužiti projektantima tehnoloških procesa kristali-

zacije, kao i korisnicima ovakvih i sličnih sistema u proizvodnji.

Iz ove oblasti se očekuje razvoj u sledećim pravcima:

- ušteda energije uvođenjem mehaničke kompresije pare,
- regulisana kristalizacija i modelovanje oblika kristala,
- usavršavanje teorije koncentrovanih rastvora i kristalizacije.

LITERATURA

- [1] D. Tolmač, Teorija projektovanja tehnoloških sistema sa primerima iz prakse, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2004.
- [2] D. Tolmač, Mašine i aparati, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1998.
- [3] B. Jačimović, S. Genić, M. Nad, J. Laza, Problemi iz toplotnih operacija i aparata, SMEITS, Beograd, 1996.

- [4] M. Lambić, Termotehnika sa energetikom, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1998.
- [5] M. Bogner, A. Petrović, Konstrukcije i proračuni procesnih aparata, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [6] M. Lambić, D. Tolmač, Tehnička termodinamika, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1997.
- [7] D. Tolmač, Glavni tehnološko-mašinski projekat pogona za proizvodnju dekstroze, "SM Inženjering", Zrenjanin 1987.

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR CRYSTALLIZATION OF SUGAR – GLUCOSE MONOHYDRATE

(Professional paper)

Dragiša M. Tolmač¹, Slavica Prvulović², Ljiljana Z. Radovanović¹

¹University of Novi Sad, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin

²Technical Faculty Bor, Bor

An installation that contains 12 crystallizers, each unit of volume 35 m³ was analyzed in this paper.

The effective time for crystallization from the moment when crystallizer is filled up until to the moment when the temperature of molasses falls to 36 °C was determined to be 45 h. Released heat from the crystallization process is used for warming production plant.

In the course of process, heat arises from crystallization increases nearly three times while from cooling, seven to nine times from the initial value. For the given crystal concentration at the end of the crystallization – process cycle, hereby its efficiency depend on the rate of heat transfer during crystallization.

Numerical values of heat released during crystallization and subsequent cooling of glucose – sugar monohydrate for different times (from 0 to 50 h) were determined.

The results presented in this paper may be useful to the designers of crystallization process, as well to users of such and similar equipment in production.

Key words: Crystallizers • Sugar
• Crystallization process •

Ključne reči: Kristalizator • Še-
ćer • Proces kristalizacije •