

PROCESS OF OBTAINING OF SUGAR FROM SUGAR BEET AND INFLUENCE ON ITS QUALITY*Tatiana Bojňanská, Marek Bennár, Helena Frančáková, Marián Tokár***ABSTRACT**

Cooking of massecuites has been study in the connection with different particle size distribution of white sugar. During the crystallization is possible to operate with parameters which have influence on particle size of white sugar. Dry matter of juice in crystallizer, volume of the standard syrup in crystallizer and heating curve of crystallization process are constant parameters in this process. Quantity of slurry (seed magma crystallizate) and volume of slurry massecuite are parameters which can be changed for control the particle size distribution of white sugar. Five variants of viable parameters have been trying for obtain ideal particle size distribution of white sugar. As a best has been evaluated variant with 1100 cm³ of slurry and 20 % of volume of slurry massecuite in crystallizer. This variant has had the crystals proportions captured by the sieves between 1.00 and 0.40 mm with minimal differences in weight. More results have been related to reduction of losses of sugar in molasses with the right setting for the line of cooling crystallization process. The losses of sugar can be reduced by adding two coolers in the end of cooling crystallization process what will decrease a temperature to 40°C. This temperature will lead to more efficient crystallization in the cooling crystallization process.

Keywords: crystallization process, crystal size, slurry, slurry massecuite, cooling temperature.

ÚVOD

V súčasnej dobe sa v našich podmienkach pestuje cukrová repa len za účelom získavania sacharózy, pričom jej pestovanie prispieva vedľajšími produktmi vznikajúcimi pri jej spracovaní (skrojky, vysladené rezky, melasa) aj k určitým úhradám v krmivárskych bilanciách.

Na Slovensku sú v súčasnosti v prevádzke dva cukrovary, a to v Trenčianskej Teplej a v Sereďi. Cukrovarníctvo patrí medzi problémové odbory, pretože s výnimkou rokov 1995 a 1996 bolo stratové (Janíček, 2010). Aj keď sa v cukrovarníctve postupne profilujú silné podniky s predpokladmi prosperity, väčšina ekonomických a finančných ukazovateľov zaznamenala priemerné negatívne tendencie. Problémy sú spôsobené vysokou cenou suroviny a nízkou možnosťou odbytu cukru. V súčasnosti je vo väčšine subjektov rozhodujúci podiel zahraničného kapitálu (Suhr, Schulze, 2003). Prínos technológií umožňuje pracovať ekonomickejšie, čím sa v kombinácii s cenovými výhodami potenciálne zvyšujú konkurenčné výhody (Wunsch, 2005).

V podmienkach strednej Európy je cukrová repa jedinou plodinou, ktorá je spracovávaná za účelom získavania sacharózy. Bola vyšľachtená tak, aby pri pomerne dlhej vegetačnej dobe a v podmienkach úrodných pôd mierneho zemepisného pásma poskytovala maximálne výnosy cukru (Tichá, 1990; Ober et al., 2005).

Získavanie cukru je nepretržitý proces, cieľom ktorého je zvyšovať kvocient čistoty cukrovarníckych štiav a medziproduktov. Princípom je extrakcia sacharózy z repných rezkov a jej následná kryštalizácia z presýtených roztokov. Pre cukorné roztoky je typické, že tvoria presýtené roztoky a takéto roztoky obsahujú viac rozpusteného cukru ako zodpovedá nasýtenému roztoku. Tento prebytočný cukor vykryštalizuje buď spontánne, ak je presýtenie v labilnej oblasti, alebo po zaočkovaní, ak je presýtenie v metastabilnej oblasti. Hranice metastabilnej oblasti sú ovplyvnené predovšetkým teplotou, čistotou a prítomnosťou tuhej

fázy. Spodná hranica zodpovedá nasýtenému roztoku (Gebler, Bubeník, 1993; Poel et al., 1998).

Pri kryštalizácii v cukrovaroch sa pracuje s presýtenými roztokmi, ktoré sa získavajú odparovaním vody v zrnči alebo ochladzovaním cukrovín v kryštalizátore (Hartel, 2001).

Podľa Rohani et al. (1999a) je kryštalizačný proces zložený z dvoch fáz. Prvou je nukleácia (vznik zárodokov), na ktorú nadväzuje druhá fáza, čiže vlastný rast kryštálov. Pri teoretickom vysvetľovaní kryštalizačného procesu dochádza postupne k transportu molekúl sacharózy z roztoku k difúznej vrstve v okolí kryštálov, k difúzii molekúl sacharózy difúznou vrstvou, k povrchovej difúzii molekúl na povrchu kryštálov a k zaradeniu do kryštálovej mriežky (Rohani et al., 1999b).

Z hľadiska kvality finálneho produktu, čiže rafinovaného cukru, je etapa kryštalizácie jedna z najdôležitejších, pretože riadenie kryštalizácie spolu s dozrievaním zadinovej cukroviny ovplyvňuje hmotnostný podiel požadovaných veľkostných frakcií cukru (Velazquez-Camilo et al., 2009). Cieľom práce prezentovanej v príspevku bolo analyzovanie a vyhodnotenie viacerých spôsobov kryštalizácie so snahou odporučiť optimálny postup očkovania a náťahu očkovacej cukroviny a optimálne množstvo vody a melasy pridávaných do zadinovej cukroviny pre čo najlepšie vycukrenie melasy počas ich dozrievania.

MATERIÁL A METODIKA

Pri stanovovaní rozdelenia veľkosti častíc bieleho cukru oševom boli analyzované vzorky bieleho cukru, ktorý bol odoberaný z dopravníkového pásu vždy po usušení po každom vare A produktu (biely cukor).

Kryštalizácia vo varostrojoch bola realizovaná s dvoma úrovňami pridaného mikroočka a štyrmi variantmi náťahu očkovacej cukroviny (tabuľka 1). Spracované boli výsledky z desiatich varov pri každom variante a vo výsledkoch sú uvedené priemerné hodnoty týchto meraní.

Pre stanovenia rozdelenia veľkosti častíc bieleho cukru oševom bola použitá metóda GS2/9-37 (ICUMSA Method, 2007) založená na rozdelení častíc pomocou sústavy

vhodných sít (spolu 7, s veľkosťami ôk 2,00 mm; 1,00 mm; 0,80 mm; 0,63 mm; 0,40 mm; 0,32 mm). Použitý bol granulometer typu AS 200, Retsch, ktorý pracuje s amplitúdou 1,5 mm.g⁻¹ počas 10 minút.

Tabuľka 1 Varianty mikroočka a náťahu očkovacej cukroviny

	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D	Varianta E
množstvo mikroočka, cm ³	1000	1000	1100	1100	1100
náťah očkovacej cukroviny, %	15	19	19	20	22

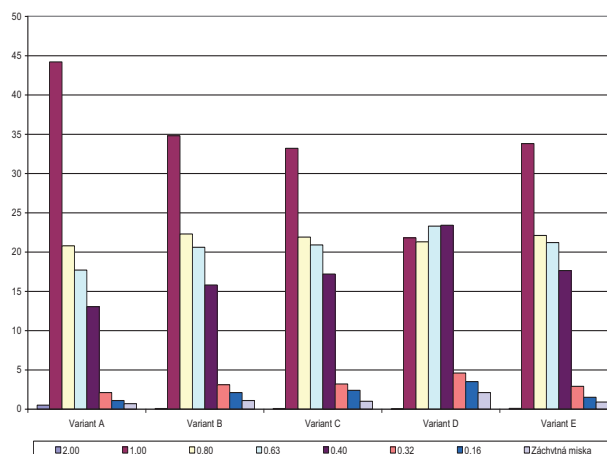
Zadinová cukrovina bola odoberaná z varostrojov na varni každých 8 až 12 hodín a vzorky boli priradené ku konkrétnemu variantu, ktorý bol aplikovaný pri dozrievaní zadinovej cukroviny. Osem rôznych variantov zahŕňalo prídavok melasy v množstve 500 dm³. h⁻¹, 1000 dm³. h⁻¹ alebo 1500 dm³. h⁻¹ do refrizerantu 1 alebo refrizerantov 1, 3, 5, resp. dávkovanie vody v množstve 500 dm³. h⁻¹ alebo 1000 dm³. h⁻¹ do refrizerantov 1, 3, 5. Na všetkých variantoch boli sledované hodnoty teploty, sacharizácie, polarizácie a kvocientu čistoty.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Problematika varenia cukrovín bola riešená v súvislosti s podielom kryštálov rôznej veľkosti vznikajúcich v priebehu kryštalizácie. Proces varenia cukrovín je možné ovplyvniť viacerými spôsobmi, avšak medzi stále veličiny, ktorých hodnoty sa v priebehu varenia nemenia, patrí: sušina šťavy, pri ktorej sa mikroočko pridáva do očkovacieho varostroja a A varostroja, hladina šťavy vo varostrojoch pri základnom náťahu, a varná krivka. Medzi veličiny, ktoré je možné v priebehu varenia meniť, a tým vplývať na rozdelenie veľkosti častíc produktu, patrí množstvo mikroočka a množstvo očkovacej cukroviny pridávanej do A varostrojov (Velazquez-Camilo et al., 2010).

V rámci prezentovaného výskumu bolo realizovaných päť variantov odlišujúcich sa množstvom mikroočka a náťahu očkovacej cukroviny (tabuľka 1) a výsledky, tj. percentuálne podiely zachytené na sítach s otvormi s predpísanými otvormi sú graficky spracované na obrázku 1.

Z hľadiska granulometrickej analýzy bol najmenej vyrovnaný variant A, na ktorom bol extrémne vysoký podiel veľkých kryštálov sacharózy, ktoré zostali zachytené na site s veľkosťou otvorov 1,00 mm (až 44,2 ± 4,5 %). Na tomto variante bol použitý najnižší náťah očkovacej cukroviny, čo v konečnom dôsledku spôsobilo nízky počet jedincov (kryštálov), ktoré v priebehu varenia narastali do pomerne veľkých rozmerov. Drobnejšie kryštály zachytené na sítach 0,63 mm a 0,40 mm boli zastúpené hmotnostne menej významne.



Obrázok 1 Podiely zachytené na sítach s rôznymi otvormi, %

Na variantoch B, C a E bolo granulometrické vyhodnotenie podobné ako na variante A, len podiel najväčších kryštálov bol o niečo menší (pod 35 %).

Získané hodnoty boli štatisticky vyhodnotené pri hladine významnosti $\alpha = 0,95$ a za podmienky, že P – hodnota je menšia ako 0,05 (tabuľka 2).

Bolo potvrdené, že na variante A bol preukazne najvyšší podiel veľkých kryštálov sacharózy (s rozmermi 1,00 – 1,99 mm) a preukazne najnižší podiel kryštálov s veľkosťou 0,63 – 0,79 mm, 0,40 – 0,62 mm, 0,32 – 0,39 mm a 0,16 – 0,31 mm.

Tabuľka 2 Štatistické vyhodnotenie rozdelenia veľkostí častíc bieleho cukru

Varianta	Veľkosť ôk na sítach (mm)							zachytná miska
	2,00	1,00	0,80	0,63	0,40	0,32	0,16	
A – B	*	*	*	*	*	*	*	
A – C	*	*		*	*	*	*	
A – D	*	*		*	*	*	*	*
A – E	*	*	*	*	*			
B – C								
B – D		*		*	*	*	*	*
B – E								
C – D		*		*	*	*	*	*
C – E							*	
D – E		*		*	*	*	*	*
P-value	0,000	0,000	0,104	0,000	0,000	0,001	0,000	0,0381

* potvrdzuje štatistický rozdiel medzi variantmi a podielmi na jednotlivých sítach

Najvyrovnanejšie boli veľkostné podiely kryštálov na variante D. Kryštály s veľkosťou zachytenou na sítach s veľkosťou otvorov 1,00 mm, 0,80 mm, 0,63 mm a 0,40 mm, čiže kryštály väčšie ako 0,40 mm, tvorili podiel 89,83 % z celkového množstva kryštálov. Navyše, podiely jednotlivých frakcií sa pohybovali od 21,3 ± 1,2 % do 23,4 ± 1,9 %, čiže touto vyrovnanosťou bola potvrdená rovnomerná práca varne. Granulometrické zloženie bieleho cukru získaného na variante D bolo optimálne. Pri náťahu očkovacej cukroviny vo výške 20 % a prídavku mikroočka vo výške 1 100 cm³ nedochádza k vysokému energetickému zaťaženiu cukrovaru a z hľadiska hodnotenia kryštálov sú kryštály pri takejto kombinácii najkvalitnejšie a najrovnomernejšie (Poel et al., 1998). Čím je väčší náťah

očkovacej cukroviny do varostroja, tým väčšie množstvo kryštálov vznikne pri varení. Avšak výška náťahu očkovacej cukroviny je limitovaná, pretože pri príliš vysokom náťahu by sa vytvorilo veľké množstvo kryštálov, ktoré by do konca varu nemohli narásť na požadovanú veľkosť (Christofides et al., 2006). Parametre zvolené na variante D sú najvhodnejšie aj pre ideálny chod odstredieviek pri odstredovaní cukru od materského sirupu.

Veľkosť kryštálov je voliteľný parameter, ktorý súvisí s ďalšou manipuláciou s cukrom a s ekonomickou náročnosťou jeho výroby. V minulosti boli spotrebiteľia zvyknutí na cukor s väčšími kryštálmi, ktorý je stabilnejší (napr. pri dlhej preprave) a menej hygroskopický. Ekonomicky výhodnejšie je však vyrábať drobnoznný kryštál.

Z hľadiska požiadaviek na kvalitu cukru je očakávaný podiel kryštálov s veľkosťou viac ako 0,40 mm nad

70 %. Tento kvalitatívny parameter bol vyhovujúci na všetkých variantoch, čiže všetky finálne produkty je možné považovať z hľadiska tohto ukazovateľa za kvalitné (Sutradhar, 2004).

Z hľadiska riadenia nárastu kryštálov na požadovaný rozmer má veľký význam dozrievanie zadinovej cukroviny. Cukrovina vypustená zo zrníčov je v kryštalizátoroch homogenizovaná s miešacím sirupom a za stáleho miešania ďalej kryštalizuje pri postupnom ochladzovaní. Doba ošetrenia cukroviny v kryštalizátoroch závisí od čistoty a trvá 2 až 70 hodín. Kryštalizácia zadinových cukrovín prebieha najpomalšie (24 – 70 hodín) v dôsledku vysokej koncentrácie necukrov a je realizovaná v kontinuálnych vyzrievacích linkách skladajúcich sa z kaskády chladených horizontálnych alebo vertikálnych kryštalizátorov (Vaccari et al., 2002, Vaccari et al., 2005).

Varenie zadinovej cukroviny sa uskutočňovalo v dvoch varostrojoch, z ktorých sa cukrovina spúšťala do dvoch refrizerantov (teplota od 80°C do 85°C). Z nich sa prečerpávala do prvého refrizerantu dozrievacej linky. Postupným dozrievaním sa zadinová cukrovina schladila z 85°C na 50°C v poslednom (ôsmom) refrizerante a počas tohto procesu bola do nej pridávaná melasa a voda. Z posledného refrizerantu bola cukrovina vypustená do miešadla pred odstredivkami, v ktorých došlo k oddeleniu cukru od melasy. Nebol potvrdený významný vplyv režimu pridávania melasy alebo vody k dozrievacej zadinovej cukrovine na výsledok, pretože na všetkých variantoch dochádzalo k poklesu sacharizácie, polarizácie a kvocientu čistoty. Melasa získaná na všetkých použitých variantoch mala hodnoty kvocientu čistoty v rozpätí od 64,73 % do 68,52 %, čo hovorí o jej nedostatočnom vycukrení (Kadlec, Bubník, 1997; Kadlec, 2008).

Na základe týchto výsledkov je zřejmé, že straty cukru v melase je možné znížiť správnym nastavením dozrievacej linky pre zadinový cukor. Použitie zadržanie zadinového cukru v dĺžke trvania 42 – 48 hodín nie je dostatočné na to, aby došlo k dôkladnému vycukreniu melasy na požadovaný kvocient čistoty 60 – 64 % (Kadlec, 2008). Pokiaľ by bola zadinová cukrovina zadržaná v dozrievacej linke dlhšie, došlo by k poklesu jej teploty až na 40°C, čím by došlo k jej efektívnejšiemu

vycukreniu. Tento stav je možné dosiahnuť pridaním ďalších dvoch refrizerantov do dozrievacej linky. Ďalším možným opatrením na zníženie produkcie melasy by bolo jej opätovné použitie pre varenie zadinovej cukroviny, čiže ku koncu varu by bola namiesto zeleného sirupu natiahnutá melasa a tým by bolo možné opätovne získať cukor, inak nezískateľný.

ZÁVER

Produkcia bieleho cukru ako finálneho produktu spracovania cukrovej repy je ovplyvnená mnohými technologickými faktormi. Výskumnou prácou realizovanou v spracovateľskom podniku, výsledky ktorej sú prezentované v príspevku, boli zistené dôležité skutočnosti týkajúce sa procesu kryštalizácie a dozrievania cukroviny a boli vypracované odporúčania následne aplikovateľné v spracovateľskej technológii. Pri hodnotení kryštalizácie bol ako najlepší vyhodnotený variant s prídavkom 1 100 cm³ a náťahom očkovacej cukroviny v množstve 20 %. Na tomto variante boli najvyrovnannejšie veľkostné podiely kryštálov všetkých frakcií stanovené granulometricky. Najmenej vyhovujúcim bol variant s množstvom mikroočka 1 000 cm³ a náťahom očkovacej cukroviny 15 %, na ktorom boli najvyššie odchýlky od požadovaných hodnôt, z čoho jednoznačne vyplýva jeho nevhodnosť z hľadiska rovnomernosti na ďalšie používanie počas kampane. Malý objem náťahu očkovacej cukroviny bol príčinou menšieho počtu materských kryštálov, čo sa prejavilo vysokým podielom veľkých kryštálov s veľkosťou nad 1,0 mm. Straty cukru počas kryštalizácie spôsobené nevycukrením v dôsledku nedostatočne dlhého času zadržania cukroviny v refrizerantoch je možné znížiť pridaním ďalších refrizerantov, v ktorých by došlo k zníženiu teploty na 40°C a v dôsledku toho k dôkladnému vycukreniu melasy na požadovaný kvocient čistoty.

LITERATÚRA

- BRETSCHNEIDER, R. 1980. *Technologie cukru*. Surovárna a rafinérie. Praha: STN/Alfa. 1980, 423 p.
- CHRISTOFIDES, P. D., SHI, D., EL-FARRA, N. H., LI, M., MHASKAR, P. 2006. Predictive control of particle size distribution in particulate processes. In *Chemical Engineering Science*, vol. 61, 2006, p. 266-280.
- GBLER, J., BUBNÍK, Z. 1993. Kontinuální navážení cukrovín IV. Výsledky měření. In *Listy Cukrovarnické a Řepářské*, vol. 109, 1993, no. 1, p. 15–23, ISSN 0024-4449.
- HARTEL, R. 2001. *Crystallization in Foods*. Aspen Publishers: Gaithersburg. 2001, ISBN 0834216345.
- ICUMSA Method GS 2/9-37. 2007. The Determination of the Particle Size Distribution of White Sugar and Plantation White Sugar by Sieving. Bartens. 2007.
- JANÍČEK, D. 2010. Výsledky cukrovarnické kampane 2009/2010 na Slovensku. In *Listy Cukrovarnické a Řepářské*, vol. 126, 2010, no. 4, p. 128–130, ISSN 0024-4449.
- KADLEC, P., BUBNÍK, Z. 1997. Vztahy pro výpočet zůstatku cukru v melase. In *Listy Cukrovarnické a Řepářské*, vol. 113, 1997, no. 11, p. 294–298, ISSN 1210-3306.
- KADLEC, P. 2008. Technologie cukru. In *Elektronické Studijní Opory* [online].[cit. 2008-01-09]. 28 p. Retrieved

from the web:<http://www.vscht.cz/sch/www321/N321403_sylabus.pdf>.

OBER, E. S., LE BLOA, M., CLARK, CH., ROYAL, A., JAGGARD, K. W., PIDGEON, J. D. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. In *Field Crops Research*, vol. 91, 2005, no. 2–3, p. 231–49, ISSN 0378-4290.

POEL, P. W., SCHIWECK, H., SCHWARTZ, T. 1998. Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlin, 1998.

ROHANI, S., HAERI, M., WOOD, H. C. 1999a. Modeling and control of a continuous crystallization process. Part 1: linear and non-linear modeling. In *Computers & Chemical Engineering*, vol. 23, 1999, no. 3, p. 263–277, ISSN 0098-1354.

ROHANI, S., HAERI, M., WOOD, H. C. 1999b. Modeling and control of a continuous crystallization process. Part 2: model predictive control. In *Computers & Chemical Engineering*, vol. 23, 1999, no. 3, p. 279–286, ISSN 0098-1354.

SUHR, M. R., SCHULZE, B. C. 2003. Technology in use in the modern beet sugar factory. In *International Sugar Journal*, vol. 105, 2003, no.2, p.52, ISSN: 0020-8841.

SUTRAHDAR, B. C. 2004. Coping with Crystallization Problems. In *Chemical Engineering*, vol. 97, 2004, no.1, p. 46-52.

VACCARI, G., WAWRO, P., TAMBURINI, E., SGUALDINO, G., BERNARDI, T. 2002. Cooling crystallization of microfiltered raw juice and of traditional thick juice: a comparison. In *Zuckerindustrie*, vol. 127, 2002, no. 1, p. 22–28, ISSN 0344-8657.

VACCARI, G., SGUALDINO, G., TAMBURINI, E., PEZZI, G., CITTERIO, P., VERARDI, R., URBANIEC, K. 2005. New eco-friendly proposal for the crystallization of beet raw juice. In *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, 2005, no. 15, p. 1447–1460, ISSN 0959-6526.

TICHÁ, B. 1990. Vliv kvalitativních ukazovatelů a jakosti cukrovky na práci cukrovaru. In *Listy Cukrovarnické a Repařské*, vol. 106, 1990, no. 2, p. 6–7.

VELAZQUEZ-CAMILO, O., ALVAREZ-RAMIREZ, J., BOLANOS-REYNOSO, E. 2009. Comparative Analysis of the Crystallizer Dynamics Type Continuous Stirred Tank: Isotermic and Cooling Case. In *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 8, 2009, no. 1, p. 127-133.

VELAZQUEZ-CAMILO, O., ALVAREZ-RAMIREZ, J., BOLANOS-REYNOSO, E., LOPEZ-ZAMORA, L. 2010. Experimental Evaluation of the Concentration Zone Widths in Cane Sugar Crystallization using Data and Image Acquisition. Proceedings of the World Congress on Engineering 2010, vol. 1, WCE 2010, June 30 – July 2, 2010, London, U.K., ISBN 978-988-17012-9-9, ISSN 2078-0966.

WUNSCH, H. 2005. Technological leadership of German sugar industry. In *Zuckerindustrie*, vol. 130, 2005, no.5, p. 405–409, ISSN 0344-8657.

Acknowledgments:

This work was supported by grant VEGA 1/0282/10.

Contact address:

doc. Ing. Tatiana Bojňanská, CSc., Department of Storing and Processing Plant Products, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, E-mail: tatiana.bojnanska@uniag.sk

Ing. Marek Bennár, PhD., Department of Food Technology Universidad Politecnica de Valencia, Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain, E-mail: marek_bennar@hotmail.com

doc. Ing. Helena Frančáková, CSc. Department of Storing and Processing Plant Products, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, E-mail: helena.francakova@uniag.sk

Ing. Marián Tokár, Department of Storing and Processing Plant Products, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, E-mail: marian.tokar@uniag.sk