

CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL XXII.

Odstředování cukrovin

SUGAR TECHNOLOGY – PART XXII: MASSECUITE CENTRIFUGING

Zdeněk Bubník, Svatopluk Henke, Simona Gillarová, Pavel Kadlec, Evžen Šárka, Vladimír Pour
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Tento díl o odstředování cukrovin byl zpracován podle aktualizovaného textu J. Geblera ve sborníku Nové směry v technologii cukru (1).

Odstředování obecně patří do separačních procesů. Je to pochod, při kterém se heterogenní, nestejnorodé směsi rozdělují na své složky. Stroj na tuto separaci se nazývá odstředivka, což je v podstatě děrovaný buben poháněný motorem různého typu a umístění. Prvně byla v cukrovarech zavedena odstředivka roku 1840 typu Fesca se spodním pohonem, později v roce 1880 byly zavedeny odstředivky typu Weston, které byly již zavěšené.

Teorie odstředování

Dělení nestejnorodých směsí (suspenzí) může být v odstředivkách provedeno na principu usazování nebo filtrace. V usazovacích, sedimentačních odstředivkách jsou bubny plné, materiál se usazuje vlivem odstředivé síly podle měrné hmotnosti u stěny bubnu. To jsou např. tzv. škrobárenské odstředivky, které pronikají i do cukrovarnického průmyslu, především jako dekantační odstředivky na oddělování sraženiny z předčeříče na epuraci nebo zemitých kalů u plavicích odpadních vod.

Ve filtračních odstředivkách, používaných na varně, dochází k separaci matečného sirobu (kapaliny) od krystalů (pevné látky) na děrovaném plechovém síti (filtrační přepážka) v bubnu odstředivky vlivem odstředivé síly. Otáčí-li se libovolné těleso kolem osy, působí na ně dostředivá síla směřující k ose otáčení. V souhlasu se třetím zákonem mechaniky vzniká zároveň síla stejně veliká, ale opačného smyslu, je to tzv. odstředivá síla. Je to síla, která vzniká změnou směru pohybu. Její velikost vypočítáme ze vztahu:

$$F = \frac{m v_0^2}{r} \quad (1)$$

kde F je odstředivá síla (v Newtonech $N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), m je hmotnost náplně odstředivky (kg), která se pohybuje po bubnové dráze o poloměru r (m), obvodovou rychlostí v_0 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Obvodovou rychlost otáčení v_0 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) lze vyjádřit jako funkci frekvence otáčení n ($1 \cdot \text{min}^{-1}$):

$$v_0 = \frac{\pi D n}{60} = \frac{\pi 2 r n}{60} \quad (2)$$

kde D je průměr bubnu odstředivky (m).

Sloučením obou vztahů dostáváme výraz pro odstředivou sílu F ($N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$):

$$F = \frac{m \pi^2 D^2 n^2}{0,5 D 60^2} = \frac{m \pi^2 D^2 n^2}{1800} \quad (3)$$

Z tohoto vztahu vidíme, že zvětšení odstředivé síly F lze dosáhnout snáze zvýšením počtu otáček n , než zvýšením průměru bubnu D . Odstředivou sílu nemůžeme libovolně zvyšovat. Jsou zde dvě základní omezující podmínky. Je to pevnost materiálu bubnu odstředivky a pevnost krystalů sacharosy. Překročí-li se síla $F = 22\,600$ N, dochází k drcení krystalů. Separační výkon odstředivek se také definuje tzv. separačním faktorem f , což je bezrozměrné kritérium, definované rovnicí (4) jako poměr odstředivé síly F a gravitační síly F_g :

$$f = \frac{F}{F_g} = \frac{\frac{m v_0^2}{r}}{m g} = \frac{v_0^2}{r g} \quad (4)$$

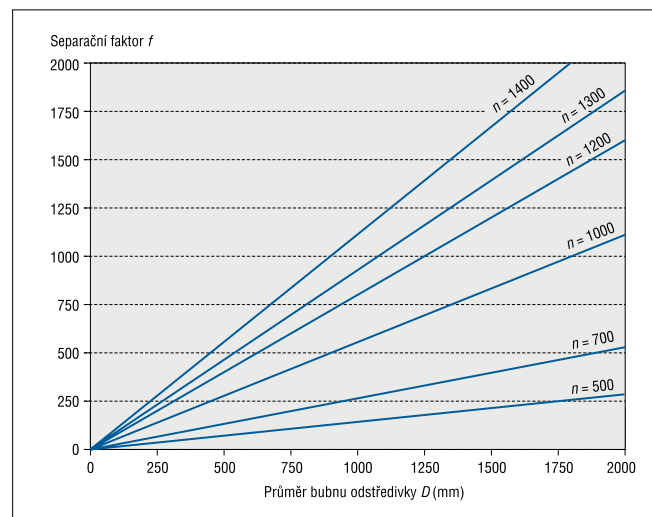
kde g je gravitační zrychlení.

Na obr. 1. je znázorněn separační faktor f jako funkce průměru bubnu odstředivky D a frekvence otáčení n .

Je-li obvodová rychlost v rovna součinu poloměru bubnu r a úhlové rychlosti ω ($v = r \cdot \omega$), pak:

$$f = \frac{r^2 \omega^2}{r g} = \frac{r \omega^2}{g} \quad (5)$$

Obr. 1. Separační faktor f jako funkce průměru bubnu D (mm) a frekvence otáčení n ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)



Hodnotu separačního faktoru lze zvyšovat zvětšováním poloměru bubnu, ale snáze změnou úhlové rychlosti. U bubnových odstředivek bývá f větší než 3 000.

Typy odstředivek

Odstředivky užívané v cukrovarech se rozdělují podle několika hledisek:

- Podle užití:
 - usazovací, dekantační – při epuraci na oddělení kalu po předčeření, při oddělení zeminy během úpravy plavicích a pracích vod,
 - filtrační – při oddělení sirobu od krystalů cukroviny.
- Podle polohy osy rotace:
 - vertikální - nejčastější v cukrovarnictví,
 - horizontální - odstředivky Escher Wyss.
- Podle pohonu:
 - na stejnosměrný proud,
 - na střídavý proud.
- Podle umístění pohonu:
 - zavěšené – buben je zavěšen na hřídeli motoru umístěného nad odstředivkou,
 - se spodním pohonem.
- Podle způsobu práce:
 - periodické – ruční,
 - automatické recyklující,
 - kontinuální.
- Podle pohybu krystalizátu (vyhrnování odstředěné náplně)
 - šaržové,
 - pulzační,
 - kuželové kontinuální (samovyprazdňovací),
 - šnekové.

K nejdůležitější charakteristice odstředivek patří jejich výkonnost, která se vyjadřuje několika způsoby:

- a) hmotností suspenze vstupující do odstředivky za časovou jednotku (např. $t \cdot h^{-1}$ cukroviny),

- b) hmotností oddělené pevné látky za jednotku času ($t \cdot h^{-1}$ cukru),
c) počtem cyklů za časovou jednotku vč. hmotnosti vstupující suspenze za 1 cyklus ($18 \text{ c} \cdot h^{-1}$, 1 000 kg).

Automatické recyklující odstředivky

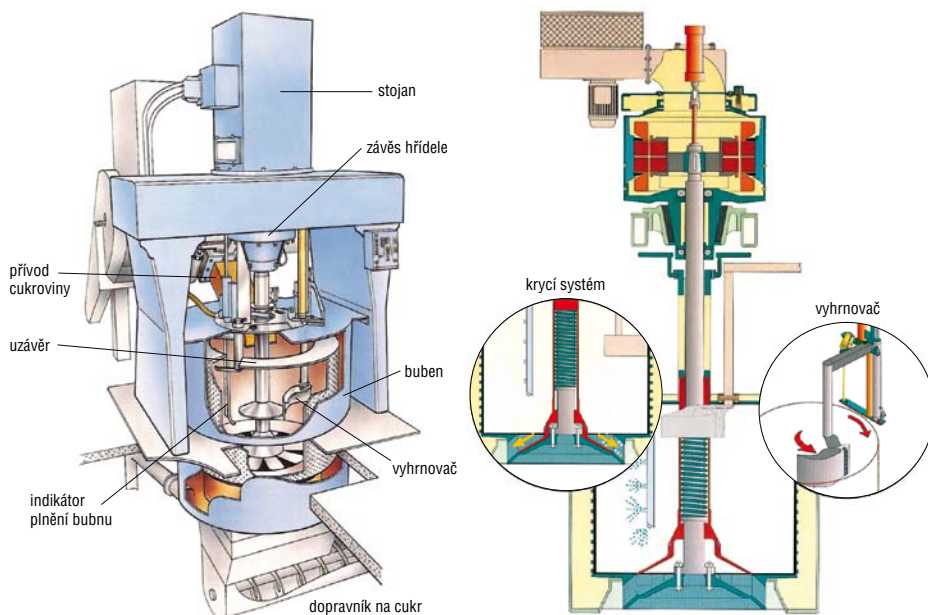
Nejčastějším typem odstředivek používaných k odstředování cukrovin jsou automatické recyklující odstředivky – ARO (obr. 2.). V ČR se tyto odstředivky vyráběly v ZVU Hradec Králové v řadě ARO 700 až 1600 (číslice značí plnění odstředivky cukrovinou v kg). Odstředivky se skládají z temperovaného napouštěcího žlabu, vlastní odstředivky, třasadla pod odstředivkou a příslušenstvím (sirobové nádrže, vodní filtry apod.). Pro bílé a afinační cukroviny mívají nižší frekvenci otáčení ($1\,120 - 1\,250 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) a pro zadinové cukroviny vyšší frekvenci ($1\,400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$). Zahraniční výrobci dodávají recyklující odstředivky s možností náplně až 2 000 kg cukroviny za cyklus.

Příklad: délka cyklu 3 min (= 180 s), plnění odstředivky 1 000 kg cukroviny, doba provozu 20 $h \cdot d^{-1}$. Počet cyklů za den bude $(60/3) \cdot 20 = 400 \text{ c} \cdot d^{-1}$. Množství zpracované cukroviny při počtu cyklů $400 \text{ c} \cdot d^{-1}$ a náplni jedné odstředivky 1 000 kg je $400\,000 \text{ kg}$ ($400 \text{ t} \cdot d^{-1}$), což je cca 8 varů po 50 t. Vzorec pro výpočet kapacity odstředivky je funkcí velikosti bubnu, doby cyklu a plnění.

Kontinuální odstředivky

Kontinuální kónické, kuželové odstředivky (obr. 3.) se v průmyslu začaly objevovat v 60. letech minulého století, kdy nahradily původní prstencové pulzační odstředivky Escher-Wyss. Kuželové odstředivky pracují na principu tenké vrstvy, která má na rozdíl od klasických odstředivek vrstvu silnou jen několika milimetrů. Cukr vstupuje do středu rotujícího kužele a odstředivou silou jsou krystaly posouvány k širšímu (hornímu) konci kužele. Sirob je odmetán a odtéká děrovaným kuželovým sítem, které má obvykle štěrbinové otvory o rozměrech 20–400 μm . Sklon síta je všeobecně 34° . Při tomto sklonu je rovnoběžník sil tak vyvážený, že pohyb cukru vzhůru po šikmé ploše síta způsobuje tok cukroviny, resp. krystalizátu, tzn. že při zastavení přítoku cukroviny přestává pohyb cukru. Jakmile vrstva cukru dosáhne horního okraje, cukr je odmetán do prostoru pro cukr. Posunem nastává otěr zrna, nejhorší je však konečná fáze, neboť krystaly se snadno porušují při nárazu, stačí rychlost 10–20 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho důvodu se kontinuální odstředivky nepoužívají doposud na bílé zboží, ale většinou na meziproduktové nebo zadinové cukroviny, u kterých se cukr dále rozpouští nebo jinak přepracovává. Proti klasickým odstředivkám mají ještě jednu nevýhodu. Úlomky hran krystalů přecházejí do sirobu a zvyšují jeho čistotu, což je např. u melasy nežádoucí. Naproti tomu díky tenké vrstvě je však lepší afínace a Q afináty se zvýší o 2–2,5 jednotky.

Obr. 2. Automatická recyklující odstředivka



Zvláštním typem kontinuální odstředivky, určené pro zadinové, meziproductové, event. pro afinační cukroviny, jsou odstředivky, které mají současně míšící či rozpouštěcí funkci. Odštěďený cukr z takové odstředivky padá do míšícího či rozpouštěcího média, takže z odstředivky vytéká umělá cukrovina nebo klér.

Práce na automatických recyklujících odstředivkách

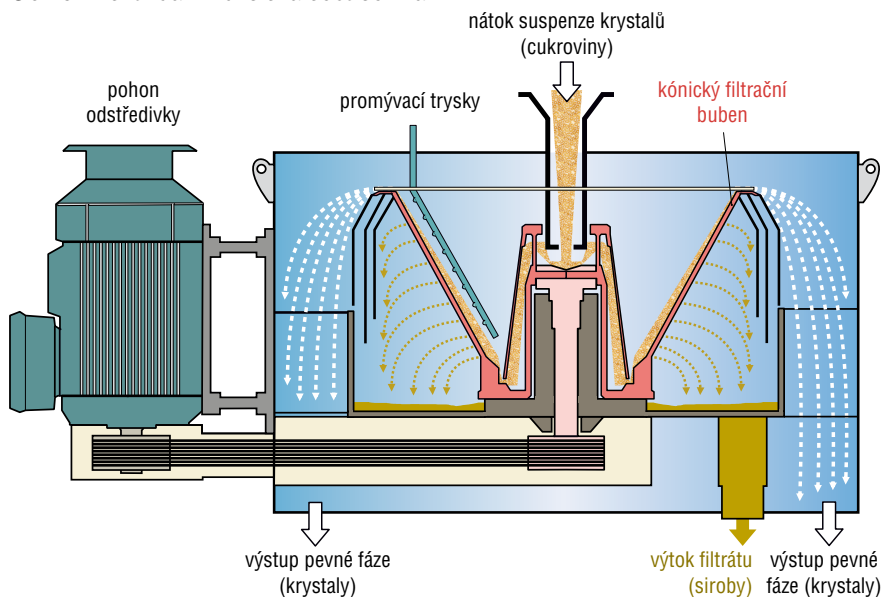
Pokud by se do bubnu odstředivky, který je v klidu, napustila cukrovina nebo kapalina, bude na ně působit pouze síla gravitačního zrychlení. Při roztočení odstředivky začnou působit na cukrovinu (kapalinu) dvě síly: gravitační a odstředivá. Povrch volné kapaliny má pak tvar rotačního paraboloidu. Při zvýšení otáček se zvýší odstředivá síla tak, že z rotačního paraboloidu se stane válec odstředovaného materiálu. To je ve zkratce pochod, který probíhá při plnění odstředivky. Důležité je, že výslednice působících sil je vždy kolmá na povrch náplně. V takto vzniklém válci daného média (cukroviny) dochází z fyzikálního hlediska ke třem periodickým dějům:

1. k vytvoření vrstvy krystalů (tato fáze je velmi blízká obyčejné filtraci a dochází zde k nejintenzivnějšímu oddělování kapaliny (sirobu),
2. ke stlačení vrstvy (fáze se liší pouze velikostí hydraulického tlaku kapaliny protékající vrstvou krystalů),
3. k odstranění přebytků kapaliny z pórů mezi krystaly, která je držena kapilárními silami (fáze je charakterizována pronikáním vzduchu či páry stlačenou vrstvou, je to vlastně proces mechanického sušení).

Po naplnění bubnu cukrovinou a rozběhu do provozních otáček se nejprve odstředí matečný sirob. Na povrchu krystalů zůstává tenká vrstva matečného sirobu, který se musí opláchnout. To se děje obvykle teplou vodou, parou nebo čistými cukernými roztoky. Z odstředivky pak odtéká bílý sirob. Zelený sirob je sirob matečný, který odtéká jako první z odstředované cukroviny, má nižší čistotu a vyšší sacharizaci než bílý sirob. Bílý sirob je sirob krycí, který odtéká z odstředivky po propláchnutí vrstvy cukru vodou, resp. krycím roztokem, mívá vyšší čistotu a nižší sacharizaci než zelený sirob. Nedělený sirob od meziproductové cukroviny se nazývá černý sirob a nedělený sirob od zadinové cukroviny je melasa.

Zelený a bílý sirob se liší čistotou (Q). Obecně platí, že čím vyšší je Q cukroviny, tím menší rozdíl je mezi čistotami sirobů. Oplach krystalu, krytí (vykryvání), se provádí při téměř maximálních otáčkách odstředivky. Vrstva cukru je v odstředivce stlačena. Sirob nebo voda si vytvoří kanálky a krystal cukru je opláchnut pouze částečně. Pro zvýšení efektu krytí se zavádí tzv. **předkryvání**, tj. postup, při kterém proplachovací médium se přidává těsně před koncem plnění odstředivky, při nízkých otáčkách, kdy ještě krystaly cukru nejsou „slisovány“ u stěny bubnu. Oplach je

Obr. 3. Kontinuální kuželová odstředivka

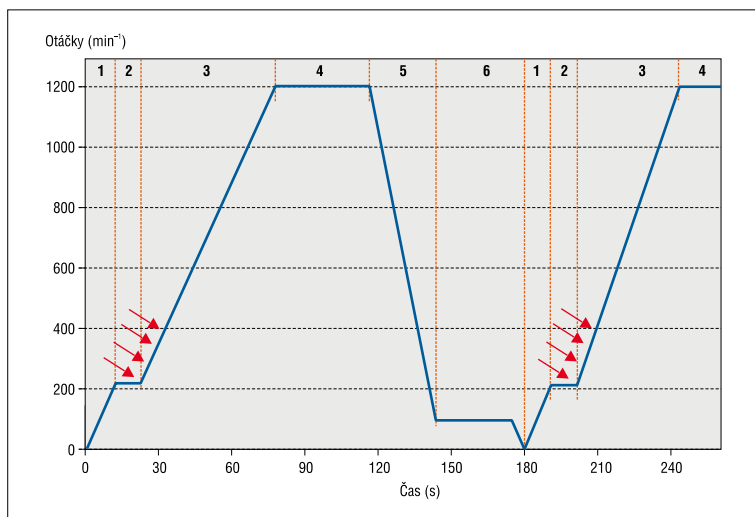


mnohem účinnější, takže lze získat až 50% zlepšení barvy. To je také principem předkryvání zadinové cukroviny horkou melasou. Jednu nevýhodu však předkryvání má, nedají se dělit siroby podle čistoty odtoků (kvalitativně), ale pouze kvantitativně.

Základem řádného provozu a kontroly odstředivkové stanice je cyklogram (obr. 4.), který vychází ze základního pracovního cyklu odstředivky a zahrnuje tyto úkony:

1. rozběh na plnicí otáčky, při tom se současně promývají síta, dělič sirobů se nastaví na zelený,
2. naplnění cukroviny do bubnu odstředivky,
3. rozběh na odstředovací otáčky za současného promývání vrstvy cukru vodou, parou nebo příslušným sirobem a přehození děliče sirobů na bílý,
4. odstředování při max. otáčkách (možnost krytí parou, sušení, zvlhčování),
5. brzdění na vyhrmovací otáčky,
6. otevření spodního vyprazdňovacího uzávěru,
7. vyhrnutí cukru,
8. uzavření spodního uzávěru.

Obr. 4. Příklad pracovního cyklu (cyklogram) autom. recyklující odstředivky



Celý cyklus lze zobrazit graficky jako cyklogram. Ten by měl mít každý technik k dispozici a podle něj nařizovat, příp. upravovat cyklus odstředivky podle potřeby. Základem je souřadnicový systém, kde na svislé ose se vynáší frekvence otáčení a na horizontální ose čas. Máme-li základní křivku cyklogramu, mohou se proměřovat dílčí fáze (začátek a konec oplachu napouštění, krytí, přestavení poloh děličů sírobů, oplach síta atd.). Ty se obvykle zjišťují při otevírání a zavírání pneumatických ventilů, umístěných na zadní straně odstředivky.

Laboratorní kontrola provozu odstředivek

Kontrola týkající se provozu odstředivek je především zaměřena na kvalitu vstupující cukroviny, tzn. sacharizace, obsah krystalické fáze, velikost krystalů, resp. granulometrie, dále pak na výstupní parametry, tzn. barvu a vlhkost cukrů, čistotu a sacharizaci odtoků. Sacharizace cukroviny by měla být co nejvyšší s ohledem na vypouštěcí zařízení zrníčů. Při nízkých sacharizacích se vyskytují obtíže během plnění bubny odstředivek a hlavně vracení zbytečného množství sírobů, což má negativní energetický dopad.

Příklad: Cukrovina o $S = 94 \%$ má 6% vody a obsahuje 50% krystalů. Vody v sírobu je tedy 12% . V cukrovině o $S = 90 \%$ je 10% vody, resp. 20% vody v sírobu, tzn. téměř dvojnásobné množství vody, se musí ze sírobu odpařit na dalším stupni krystalizace při převáření.

Důležitou hodnotou při sledování kvality cukroviny je obsah krystalické fáze $OK (\%)$. Existuje několik vzorců pro výpočet. Nejrozšířenějším je vzorec Hully-Suchomela, který vychází z Q_c cukrovin a Q_s matečného sírobu (odnučovaného):

$$OK = \frac{S_c}{S_k} \cdot \frac{Q_c - Q_s}{Q_k - Q_s} \cdot 100 = S_c \frac{Q_c - Q_s}{100 - Q_s} \quad (6)$$

Často se tento vzorec používá ve zjednodušené formě (druhý tvar), neboť se předpokládá, že S_k a Q_k jsou přibližně rovné 100% . Při dosažení hodnot Q_s neděleného odtoku od odstředivky místo nučovaného sírobu dostáváme výtěžnost krystalů, ne obsah v cukrovině. U Hullova-Suchomelova vzorce se hodnoty obsahu krystalů pohybují u šťávní (krystalové) cukroviny kolem 53% , u zadinové cukroviny asi 40% .

Další vzorce jsou obdobné – Schneiderův vzorec vychází z polarizace, viz rovnice (7), Neumannův vzorec pak vychází ze sacharizace.

Obr. 5. Odstředivky v našich cukrovarech: 1 – Dobruška, 2 – České Meziříčí, 3 – Litovel, 4 – Opava, 5 – Prosenice, 6 – Vrbátky



$$OK = \frac{P_C - P_S}{100 - P_S} \quad (7).$$

Velikost krystalů se zjišťuje síťovou analýzou. Rozbor se provádí tak, že do laboratorní odstředivky se nalije navážené množství meziproductového nebo zadinového cukru rozmíchaného v alkoholu nasyceném cukrem. Po odstředění se cukr vysuší a provádí se běžná síťová analýza. Obdobně se provádí i granulometrický rozbor krystalů cukroviny. Vyhodnocování síťového rozboru se provádí graficky a výpočtem hodnot střední velikosti zrna MA (*mean apperture*) a variačního koeficientu souboru CV (*coefficient of variation*). Tyto charakteristiky mají výhodu v tom, že soubor minimálně šesti čísel nahradí pouze dvěma, což má velký význam při hodnocení většího souboru síťových analýz.

Nejčastější závady při odštěďování cukrovin

1. Cukrovina se špatně odštěďuje, tzn., že se nedosahuje obvyklého výkonu a kvality cukru resp. vyhovujícího oddělení sirobu z cukroviny:
 - a) Převážně jde o nevhodné granulometrické složení cukroviny, tzn. buď příliš jemné krystaly, velmi nepravidelná granulometrie krystalů nebo nejčastěji zaprášená cukrovina (s vysokým obsahem cukerného prachu). Vyražení prachového zrna předchází vysoké přesycení matečného sirobu. Rychlost tvorby prachových krystalů je velké, jde o řetězovou reakci, někdy stačí pár minut na zaprášení celého varu. Platí, že čím vyšší čistota cukroviny Q , tím snáze se cukrovina zapráší při ochlazení.
 - b) Další příčina špatného odštěďování je způsobena ochlazením cukroviny. U cukrovin se ochlazením var zapráší a snižuje se viskozita matečného sirobu. Viskozita je převrácená funkce fluidity (tekutosti) a z toho vyplývá, že u studených cukrovin sirob neodtéká z povrchu krystalů a zůstává na nich ve větší vrstvě než u teplých cukrovin.
 - c) Ucpané síto (podsíťový prostor) odstředivky při nedostatečném čištění (nesprávně nastavený program nebo ucpané trysky) může být také jednou z příčin špatného odštěďování. Zde platí zásada co nejrychleji se zbavit špatné cukroviny a nemísit ji s kvalitní cukrovinou. Odstředivky se plní minimálně, příp. se prodlužuje doba odštěďování.
 - d) Síta jsou nesprávně instalována.
2. Druhou nejčastější závadou bývá rozkmitání (rozkývání) bubnu odstředivky, což bývá způsobeno nerovnoměrným rozložením cukroviny v odstředivce, kdy těžiště rotující soustavy není v ose hřídele. Zde je velké nebezpečí, že při vyšších rozkmitech narazí buben na lub odstředivky a dojde k vážné havárii odstředivky. Příčiny tzv. „házení“ odstředivky jsou v tom, že cukrovina se napouští do odstředivky při příliš nízké nebo vysoké frekvenci otáčení (pod 150 nebo nad 350 $1 \cdot \text{min}^{-1}$). Další příčinou je nerovnoměrné rozdělení v bubnu vlivem ucpaných sít. Ze strojních závad může být nesprávné uložení hřídele v ložisku, ohnutá hřídel, menší výkyvy se obvykle vyrovnají po kritických otáčkách (350 $1 \cdot \text{min}^{-1}$).
3. Technologicky závažnou chybou je nesprávné plnění bubnu odstředivky, především přeplňování. Přeplňování má dvojnásobně nepříznivý účinek. Jednak je to přestřík cukroviny přes lub odstředivkového bubnu. Krystaly cukru, resp. část cukroviny se dostává do zeleného sirobu a zvyšuje se čistota tohoto sirobu Q . To s sebou přináší další negativní průvodní jevy –

zvyšování čísla převáčky a energetických nároků. Dalším nepříjemným jevem při přeplňování bubnu odstředivky bývá nedostatečné vykrytí silné vrstvy cukru. Opakem je nedostatečné plnění. Kromě nedostatečného využití kapacity odstředivky se u odstředivky snižuje výtěžnost krystalového cukru. Na menší množství cukroviny, resp. cukru, je třeba relativně vyšší dávka vody a rozpouští se více cukru. Obě tyto závady mohou být způsobeny nevhodnou konzistencí cukroviny, špatně nařízeným časovým programem (krátký napouštěcí čas), nebo malým otvorem v nátku cukroviny do bubnu (zarostlý nebo málo otevřený). Malé plnění odstředivky se nastavuje pouze v případech, kdy je nekvalitní cukrovina.

4. Nesprávné dávkování předkryvacího roztoku (kléru, sirobu) a vykryvací vody. Při dobré kvalitě cukru stačí kolem 4 % vody na množství cukru. Počítáme-li 50 % krystalů v cukrovině, pak je to kolem 2 % na cukrovinu. U středních jakostí je potřeba vyšší až 7–8 % na vykryvaný cukr. Nízký přírůstek zhoršuje kvalitu afinády. Příliš vysoký přírůstek obvykle již nezlepšuje kvalitu afinády, ale snižuje její výtěžek, jak již bylo uvedeno. Při této závadě je třeba překontrolovat trysky či rozprašovače, včetně potrubí. Bývají zarostlé cukrem nebo ucpané rezem. Dále zkontrolovat tlak vody, má být 0,4–0,6 MPa.
5. Někdy se lze setkat s cukrem, který v bubnu má nerovnoměrné rozdělení barvy. Jedna část bubnu bývá tmavší než druhá. Příčina je téměř vždy v tryskách, které mohou být ucpané, opotřebené (otvory 5–8 mm), špatně nastavené. Závada může být způsobena ucpáním jen části síta.
6. Nepříjemnou závadou, zvláště u bílého zboží je znečišťování cukru v podobě tmavých hrudek. Kvalitní odštěďený cukr je znehodnocován kapkami sirobu odkapávajícího z trysky nebo z napouštěcího žlábků. V některých případech o znečištění kondenzát z par pod odstředivkami.
7. Z dalších závad lze jmenovat ucpávání, resp. zarůstání odtokových sirobových žlábků, přílišnou vlhkost cukru, ztvrdnutí náplně odstředivky a vysoký obsah hrudek v cukru (dlouhý chod odstředivky po uzavření páry), velký obsah prachového cukru v krystalu (vyhromování při vysokých otáčkách, optimum 50 min^{-1} , vyhromování ztvrdlé náplně), nesprávné dělení sirobů ad.

Odstředivky jsou jedním z nejdůležitějších řídicích prvků v komplexu strojů a zařízení varny. Je proto jim třeba věnovat patřičnou pozornost a péči. Stejně tak i obsluha této stanice musí být kvalitní, tzn. kvalifikovaná, informovaná o příslušných souvislostech a vazbách.

Literatura

1. GEBLER, J.: Odštěďování cukru. In BUBNÍK, Z. ET AL.: *Nové směry v technologii cukru*. VŠCHT Praha a VUC Praha, 2006.
2. BUBNÍK Z.: Základy krystalizace. In BUBNÍK, Z. ET AL.: *Nové směry v technologii cukru*. VŠCHT Praha a VUC Praha, 2006.
3. KADLEC P. ET AL.: *Přednášky z Technologie cukru pro bakalářské a magisterské studium*. FPBT VŠCHT Praha, 2022.
4. KMÍNEK, M.; KADLEC, P.; ULRICH, V.: Řízení diskontinuálního zniče při svařování cukrovin. In KADLEC, K. (ED.) ET AL.: *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů. Díl II. Řízení technologických procesů*. Key Publishing Ostrava, 2017, ISBN 978-80-7418-285-3.
5. VAVRINECZ, G.: Formation and composition of beet molasses, I – the equation for solubility. *Sugar Tech Rev.*, 1978 (6), s. 117–129.
6. DE BRUIJN, J. M.: Key performance indicators and set-points in sugar beet processing. *Sugar Ind.*, 146, 2021 (5), s. 272–283.