

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření hustoty kapalných směsí (část 2.)

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: DENSITY MEASUREMENT OF LIQUID MIXTURES (PART 2)

Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Radiační hustoměry

Při průchodu radioaktivního záření hmotným prostředím se zeslabuje tok záření a tento jev lze využít k měření hustoty kapalin. Pro zeslabení intenzity záření, které prošlo vrstvou kapaliny o tloušťce l a hustotě ρ platí vztah:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mu \rho l} \quad (1)$$

kde Φ_0 , Φ je tok záření vystupujícího ze zdroje, popř. z měřeného prostředí, μ hmotnostní součinitel zeslabení záření.

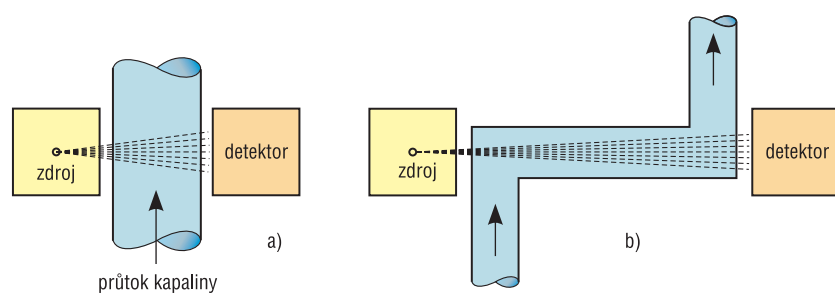
Měřicí zařízení tvoří radioaktivní zářič a detektor záření s elektronickými obvody. Jako radioaktivní zářiče se používají zdroje záření gama, které velmi dobře proniká materiálem, ale nemá schopnost jej aktivovat (vyvolávat jeho radioaktivitu). Lze je proto používat i v potravinářském průmyslu. Aby nebyly nutné časté kalibrace, používají se izotopy s delším poločasem rozpadu, např. Co 60 (poločas 5,5 roku) nebo Cs 137 (30,5 roku). Zářič musí být opatřen olověným ochranným pouzdem. Protože intenzita záření

se mění s časem, bývá zavedena automatická kompenzace jako funkce času, anebo se provádí pravidelná korekce při kontrolním měření, kdy záření prochází mimo měřenou kapalinu.

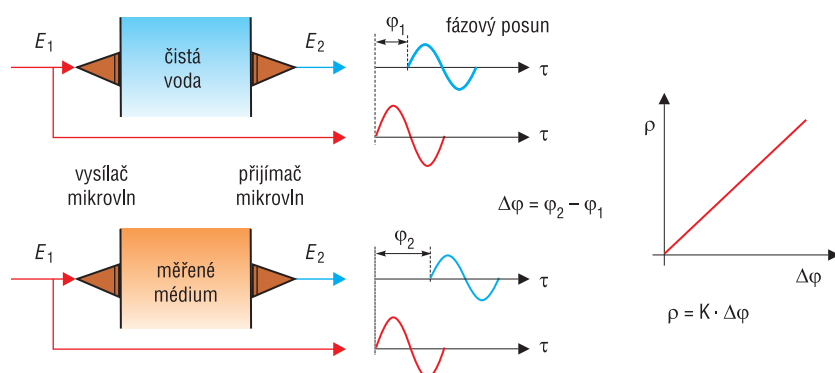
K detekci záření se používá Geigerův-Müllerův detektor (při teplotách větších než 60 °C musí být elektronická část oddělena od detektoru), nebo citlivý scintilační detektor s fotonásobičem. Vyhodnocuje se zeslabení svazku radioaktivního záření při jeho průchodu sledovaným prostorem. Intenzita záření dopadající na detektor závisí na hustotě a tloušťce vrstvy měřeného materiálu.

Snímače hustoty s radioaktivním zářičem se nejčastěji vyrábějí jako průtočné a radioaktivní zářič a detektor procházejícího záření se montují na vnější stranu potrubí nebo provozní nádoby. Měří-li se na potrubí s velkým průměrem či na zásobníku, zářič a detektor se montují podle obr. 1.a. Jestliže je třeba měřit na potrubí malého průměru ($d < 150$ mm), potom vzdálenost není dostatečná pro dosažení požadované citlivosti a přesnosti měření, a proto se zářič a detektor montují podle obr. 1.b. Pouzdro zářiče bývá vybaveno uzavíracím mechanismem, který uzavírá otvor pro paprsky zářiče během montáže a údržby. Vzhledem k tomu, že cesta ionizačního záření zahrnuje stěny potrubí či nádoby, provádí se empirická kalibrace snímače s použitím roztoků o známé hustotě (1).

Obr. 1. Instalace radiálních hustoměrů



Obr. 2. Princip mikrovlnného hustoměru, upraveno podle (2)

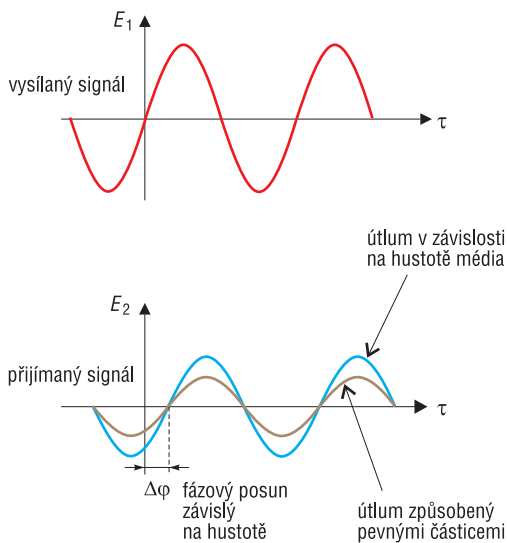


Mikrovlnné hustoměry

Tyto hustoměry využívají měření změny rychlosti šíření mikrovln při průchodu měřeným médiem. K vyhodnocení rychlosti šíření mikrovln je možno využít buď **měření doby průletu** signálu (*Time of Flight – TOF*), nebo metodu **měření rozdílu fází** vysílaného a přijímaného signálu. Využití metody měření rozdílu fází poskytuje vyšší přesnost a měření je méně náchylné vůči rušivým vlivům (2).

Princip měření je patrný z obr. 2., kde se porovnává fázový posun signálu šířícího se ve vodě s fázovým posunem signálu, který se šíří v médiu s jinou hustotou. Vyhodnocuje se rozdíl fází vysílaného a přijímaného mikrovlnného signálu, který je přímo úměrný hustotě měřeného média. Fázový posun závisí na vzdálenosti antény vysílače a přijímače, na dielektrických vlastnostech a hustotě média. Kalibrace snímačů je jednoduchá, protože vzhledem k lineární závislosti postačuje naměřit pouze dva body (pro vodu a roztok o známé hustotě).

Obr. 3. Útlum amplitudy a rozdíl fází mikrovlnného signálu; upraveno podle (3)

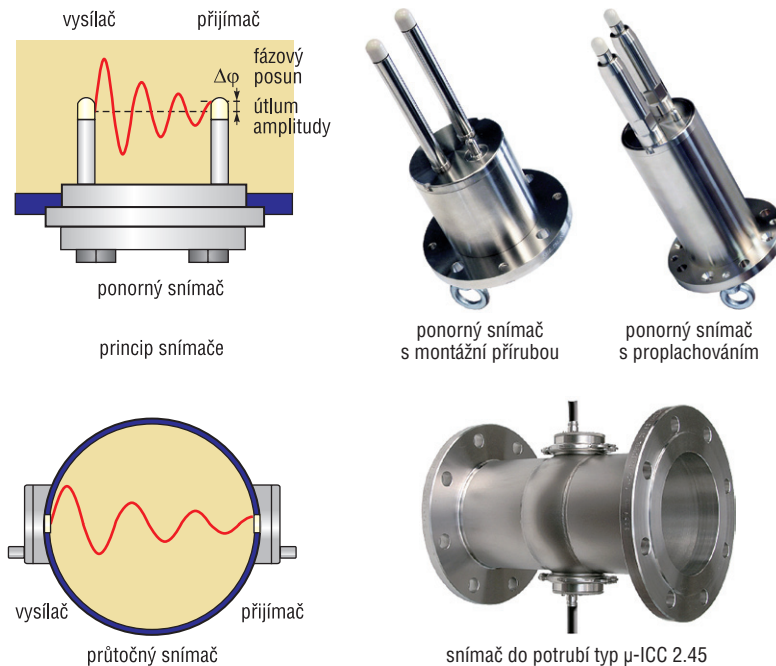


Pro stanovení hustoty lze využít i **měření útlumu amplitudy** mikrovlnného signálu. Útlum amplitudy však závisí nejen na hustotě kapalného média, ale i na přítomnosti rozptýlených pevných částic; oproti tomu rozdíl fází je závislý pouze na hustotě kapaliny (obr. 3.). Při současném měření útlumu amplitudy a rozdílu fází je možno pomocí vhodného softwaru vyhodnotit jak hustotu, tak i celkový obsah sušiny v měřeném médiu a obsah nerozpuštěných látek.

Uspořádání mikrovlnného snímače hustoty je patrné z obr. 4. Podstatnou součástí snímače jsou antény vysílače a přijímače mikrovlnného záření, které jsou v přímém styku s měřeným médiem. Antény jsou vyrobeny z vhodného polymeru (hygienicky nezávadný polymer pro aplikace v potravinářství). Mikrovlnný snímač je vždy doplněn i senzorem teploty, jehož signál se využívá pro automatickou teplotní kompenzaci. K dispozici jsou snímače ponorné určené pro měření v nádržích, nebo snímače průtočné vhodné pro montáž do potrubí.

Mikrovlnné hustoměry pracují obvykle s vlnami o frekvenci 2,45 GHz. Měřicí rozsah je vyjádřen v různých jednotkách (hmotnostní koncentrace sušiny v %, °Brix, °Baumé aj.), rozptě

Obr. 4. Ponorné a průtočné snímače mikrovlnných hustoměrů; podle (4) a (5)

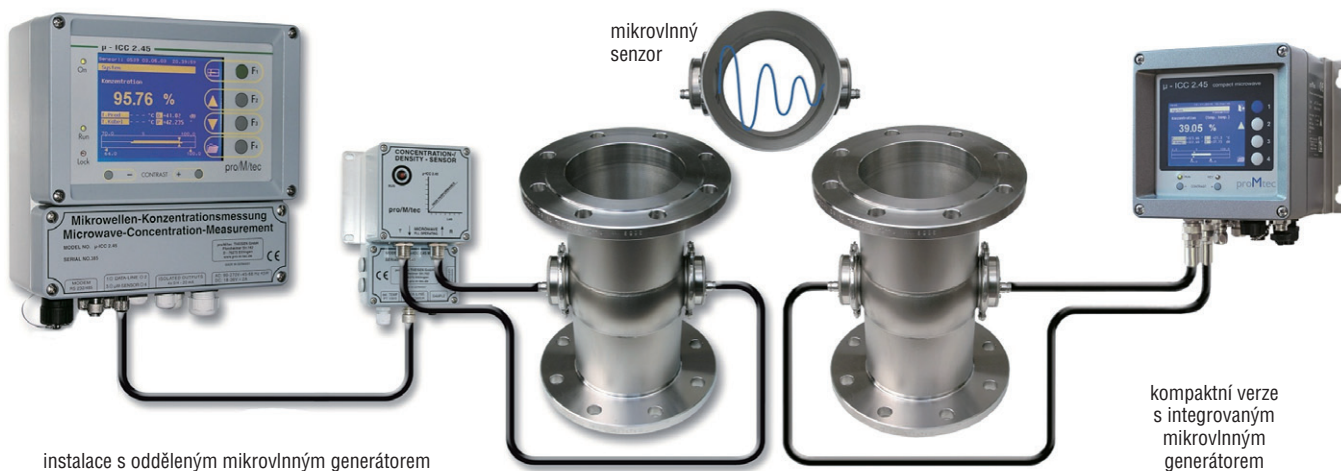


měřených hodnot se uvádí až do 50 % hmotnostního obsahu celkové sušiny v médiu.

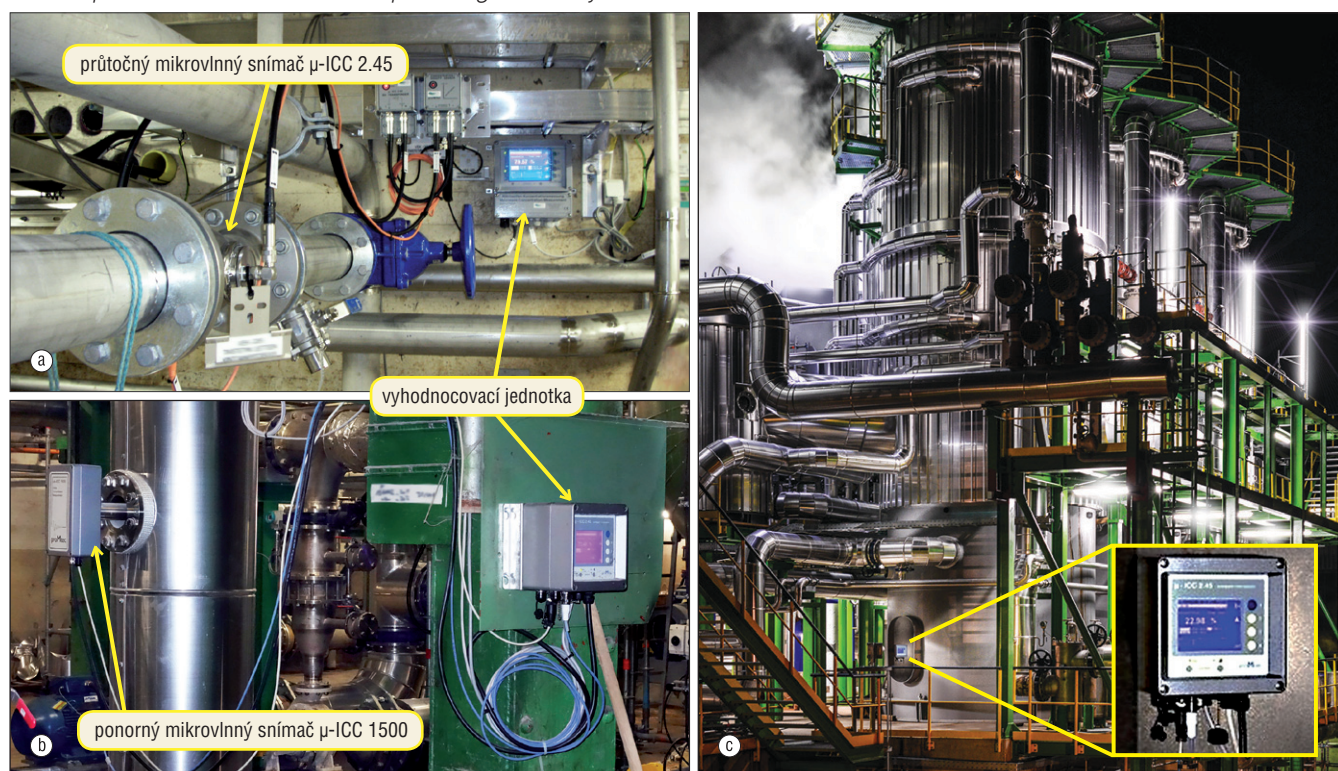
Protože snímače neobsahují žádné pohyblivé součásti, vykazují vysokou spolehlivost a nenáročnost na obsluhu a údržbu. Předností těchto přístrojů je i nezávislost na velikosti průtoku média. Některé snímače jsou vybaveny zařízením pro oplachování antén. Oplachování udržuje plastovou tyč antény bez případných inkrustací, tak aby mikrovlny byly vedeny přímo do měřeného média. Interval oplachování je přizpůsoben konkrétním podmínkám daného procesu.

Vyhodnocovací jednotka může být součástí snímače nebo tvoří samostatný celek a příslušné elektronické obvody zahrnují zdroj a detektor mikrovlnného záření a obvody pro zpracování signálu. Výstupem bývá unifikovaný signál 4–20 mA s protokolem HART. Ukázky instalací mikrovlnných hustoměrů jsou na obr. 5.

Mikrovlnné hustoměry nacházejí široké možnosti uplatnění v průmyslu cukrovarnickém (všechny druhy cukrovarnických

Obr. 5. Instalace mikrovlnných hustoměrů (upraveno podle www.pro-m-tec.de)

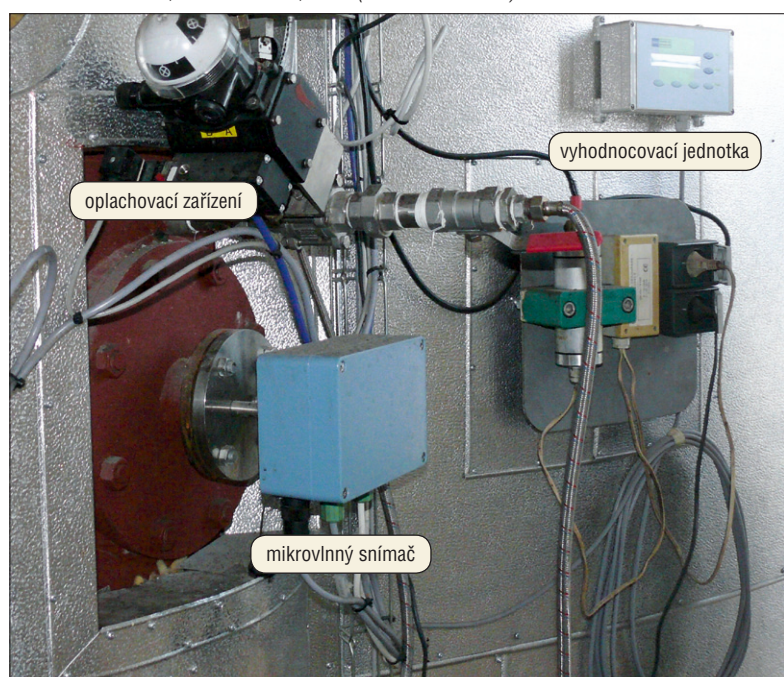
Obr. 6. Aplikace mikrovlnných hustoměrů (foto poskytla firma proMtec Theisen GmbH): a) měření hustoty odpadního kalu průtočným snímačem v čističce odpadních vod, b) měření ponorným snímačem na cukrovarnické odparce, c) mikrovlnný hustoměr proMtec v rafinerii cukru European Sugar Refinery



šťáv, melasa, vápenné mléko), škrobárenském, mlékárenském (měření sušiny v sýrech a dalších mléčných výrobcích), při zpracování odpadních vod (různé druhy kalů, včetně dehydratovaného kalu) a v dalších odvětvích chemického a petrochemického průmyslu. Na obr. 6.a je průtočný mikrovlnný senzor

typu μ -ICC 2.45 (www.pro-m-tec.de) instalovaný v čističce odpadních vod, na obr. 6.b je ponorný mikrovlnný snímač na cukrovarnické odparce. Instalace mikrovlnného hustoměru od společnosti proMtec v rafinerii cukru European sugar refinery je na obr. 6.c.

Obr. 7. Mikrovlnný hustoměr HK6F (Harrer & Kassen GmbH) v cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s. (foto M Kmínek)



Na obr. 7 je mikrovlnný hustoměr s vyhodnocovací jednotkou doplněný zařízením pro oplachování antén ponorného snímače, který je instalovaný na varně cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s.

Možnosti využití snímačů hustoty

Měření hustoty je v praxi rozšířené a paleta měřicích principů je široká. Přestože vztah mezi hustotou a složením analyzované směsi platí především pro binární směsi, lze často měřením hustoty získat cenné informace o složení a charakteristických vlastnostech i u mnoha složitějších směsí.

Moderní ultrazvukové, vibrační a mikrovlnné snímače nabízejí četné možnosti využití pro monitorování a řízení technologických procesů. Jde o přístroje obvykle obsahující inteligentní převodník signálu s příslušným softwarem. Kombinace ultrazvukové a vibrační metody měření umožňuje i analýzu vícesložkových směsí. Měřicí rozsah, přesnost a reprodukovatelnost těchto snímačů vyhoví většině požadavků kladených na běžná i náročná provozní měření. V minulosti se k provoznímu měření často využívaly hustoměry na principu vážení a **vztlakové hustoměry** s plovákem,

pracující na principu Archimedova zákona (6). V současné době jsou tyto přístroje nahrazovány moderními ultrazvukovými, vibračními nebo mikrovlnnými snímači. V tab. I. jsou uvedeny možnosti použití jednotlivých typů hustoměrů.

V potravinářském průmyslu nacházejí hustoměry využití pro měření koncentrace cukerných roztoků při výrobě cukru, měření hustoty či koncentrace při výrobě nealkoholických nápojů, měření hustoty v pivovarnictví, v mlékárenství, ve fermentačních technologiích, měření koncentrace cukru a alkoholu při výrobě vína, měření hustoty médií při vakuovém odpařování, měření koncentrace škrobových sirupů aj.

Souhrn

V příspěvku jsou popsány radiační a mikrovlnné hustoměry. U každého snímače je vysvětlen princip funkce a je popsáno uspořádání měřicího zařízení. Jsou uvedeny zásady pro montáž do technologické aparatury a jsou ukázány přednosti a nedostatky uvedených typů snímačů. V závěru jsou shrnuty možnosti použití jednotlivých typů hustoměrů

Klíčová slova: měření hustoty, radiační hustoměry, mikrovlnné hustoměry, použití hustoměrů.

Literatura

1. DYER, S. A.: *Survey of Instrumentation and Measurement*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
2. HEMPHIL, J.: Microwave Propagation Helps Measure Sludge Density. *Water Engineering & Management*, 2001 (Oct.), s. 35–36.
3. *Density Meter LQ Series*. Brochure H15028, Tokyo: Toshiba Corporation, 2007.
4. THEISEN, K. H.: *Microwave Measuring Devices*. Int. Sugar Organization Assiut University, Luxor Egypt, March 1–4, 2009.
5. *Sensor types proMtec*. [online] www.pro-m-tec.de/en/products-components/measuring-probes.html (leden 2018).
6. LIPTÁK, B. G.: *Instrument Engineers' Handbook, Vol. 1: Process Measurement and Analysis*. 4th edition. CRC Press Boca Raton, 2003.

Tab. I. Možnosti použití jednotlivých typů hustoměrů

| Skupina hustoměrů | Čisté kapaliny | Kaly | Viskózní kapaliny |
|--------------------------|----------------|------|-------------------|
| Hydrostatické | ● | ● | ● |
| Ultrazvukové | ● | ○ | ● |
| Vibrační (U-trubice) | ● | × | × |
| Vibrační (přímá trubice) | ● | ● | ● |
| Vibrační (vidlice) | ● | ○ | ○ |
| Coriolis – oscilace | ● | ● | ● |
| Radiační | ● | ● | ● |
| Mikrovlnné | ● | ● | ● |
| Vztlakové | ● | × | × |

Vysvětlivky: pro použití ● vhodné, ○ omezené, × nevhodné.

Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Density Measurement of Liquid Mixtures (Part 2)

This paper describes radiation and microwave density meters. The operating principle is explained for each sensor and arrangement of the measuring device is described. The principles of installation of the sensors in the technological apparatus are described and the advantages and disadvantages of these types of sensors are listed. The conclusion summarizes the possible applications of the individual types of density meters.

Key words: density measurement, radiation density meters, microwave density meters, application of density meters.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta chemicko-inženýrská, Ústav fyziky a měřicí techniky, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: karel.kadlec@vscht.cz

ROZHLEDY

Cobo D. F., Pereddo S., Gomez A. L., Gil N. J. Vodní hospodářství v cukrovaru: Bilance a kvalita v různých systémech (*Water management in the sugar factory: Balances and quality in different systems*)

Pro typický kolumbijský třtinový cukrovar bývá spotřeba vody okolo $24 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ rozdrčené třtiny. Z toho maximálně 5 % potřebné vody je pokryto z externího zdroje. Strategie vedení vodního hospodářství v kolumbijských cukrovarech spočívá v zahrnutí vody z kondenzace do systému, v analýze indikátorů spotřeby, charakteristice a monitorování kvality všech toků a vyhodnocování těchto dat vedením cukrovaru. Při uplatnění těchto principů byl za poslední tři roky snížen specifický index spotřeby vody z $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ třtiny na $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ třtiny.

Int. Sugar J., 119, 2017, č. 1425, s. 718–723.

Kadlec

Rozsa L., Rozsa J., Kilpinen S. Růst krystalů a způsoby řízení krystalizace v průmyslových krystalizátorech. Část 2. Způsoby řízení (pokračování) (*Crystal growth and crystallization control tactics in industrial sugar crystallizers. Part 2. Control tactics (continued)*)

V této závěrečné části studie o řízení krystalizace jsou popsány dvě verze simulace řízení hladiny (objemu) cukroviny s různými nastaveními. Ostatní parametry (přesycení, teplota, množství odpařené vody) zůstávají stejné. Bylo zjištěno, že správné řízení hladiny se projevuje kratší dobou krystalizace, lepší cirkulací cukroviny a nižší spotřebou energie. Důležitou stránkou řízení je také řízení seedování očkovacím záďem bez použití přídavné vody, což se rovněž projevuje v úsporách spotřebované páry.

Int. Sugar J., 119, 2017, č. 1426, s. 792–800.

Kadlec