

Vliv redukujících látek (invertu) v řepě na ztráty cukru v melase a výtěžnost bílého cukru

INFLUENCE OF INVERT IN BEET ON SUGAR LOSSES IN MOLASSES AND WHITE SUGAR YIELD

Pavel Kadlec – Ústav sacharidů a cereálií, VŠCHT Praha

Při přejímce řepy v cukrovaru je velmi důležité stanovení základních kvalitativních parametrů zpracovávané řepy, mezi které patří především obsahy cukru (sacharosu), draslíku, sodíku a α -aminodusíku, které ovlivňují výtěžnost cukru z řepy. Moderní analytický systém pro analýzu řep se nazývá Betalyser, je znázorněn na obr. 1. a v Česku jej dodává firma Anton Paar GmbH (1). Skládá se z automatického polarimetru Sucromat (stanovení obsahu cukru, P), digitálního plamenného fotometru (stanovení obsahu K a Na, $c_{(K+Na)}$) a speciálního dvoupraprskového fotometru Testamin 5 (stanovení α -aminodusíku, $c_{\alpha N}$), včetně příslušného počítačového vyhodnocení analýz a zpracování výsledků. Na základě těchto analytických údajů se vypočítají předpokládané ztráty cukru v melase Z_m a výtěžnost bílého cukru (rafinády) R , vyplývající ze složení cukrové řepy. Tento přehledový článek čerpá především z práce J. M. DE BRUIJNA (2) a má za cíl upozornit naše čtenáře na aktuální problematiku zpracování technologické kvality řepy s vyšším obsahem redukujících látek (invertu).

Vzorce pro výpočet předpokládaných ztrát cukru v melase

Přehled existujících vzorců pro výpočet předpokládaných ztrát cukru v melase Z_m byl zpracován v knize Sugar Technology (3). Většinou se jedná o empirické korelace mezi obsahem draslíku a sodíku $c_{(K+Na)}$ a α -aminodusíkem $c_{\alpha N}$ v řepě a množstvím melasy, získaným buď v poloprovozních, nebo v provozních podmínkách.

Jeden z prvních vzorců, většinou označovaný jako Reinefeldův, byl publikován již v roce 1974 (4):

$$Z_m = 0,343 \cdot c_{(K+Na)} + 0,094 \cdot c_{\alpha N} + 0,29 \quad (1)$$

Tento vzorec se v ČR dosud používá při hodnocení odrůd řepy pro výpočet ztrát cukru v melase Z_m podle metodiky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) (5).

Obr. 1. Betalyser – automatizovaný systém pro analýzy řepy (1)



Od kampaně 1996 byl v Německu používán jako oficiální standard tzv. Nový Braunschweigský vzorec, vycházející z podrobných poloprovozních testů zpracování řepy až do melasy za standardních podmínek, tyto testy probíhaly v letech 1991–1993 (6). Holandský vzorec, používaný od roku 1997, rovněž zahrnoval tradiční kvalitativní parametry řepy, $c_{(K+Na)}$ a $c_{\alpha N}$, které byly korelovány se skutečnými ztrátami cukru v melase získanými z provozních dat. Vycházelo se z toho, že molární poměr obsahu K a Na v řepě je 1 : 1, tzn., že každý mmol K+Na na 100 g řepy na sebe váže 1 mmol cukru na 100 g řepy, který přechází do melasy. Oba tyto vzorce, jak Nový Braunschweigský, tak i holandský jsou níže podrobněji popsány a porovnány s novým holandským vzorcem z roku 2015, v kterém je zahrnut i vliv obsahu redukcujících látek (2).

Nový Braunschweigský vzorec z roku 1996 (6)

$$Z_m = 0,12 \cdot c_{(K+Na)} + 0,24 \cdot c_{\alpha N} + 0,48 \quad (2)$$

kde: Z_m jsou předpokládané ztráty cukru v melase (% ř.),
 $c_{(K+Na)}$ – obsah draslíku a sodíku v řepě (mmol/100 g ř.),
 $c_{\alpha N}$ – obsah α -aminodusíku (mmol/100 g ř.).

Holandský vzorec z roku 1997 (2)

Výpočet podle holandského vzorce z roku 1997 má dvě varianty, s ohledem na hodnotu zásobní alkality c_{alk} (mmol/100 g ř.), (anglický termín *Alkalinity Reserve*):

$$c_{alk} = c_{(K+Na)} - c_{\alpha N} - 3,5 \quad (3)$$

Pro dostatečnou zásobní alkalitu $c_{alk} \geq 0$ platí jednoduchý vztah, ve kterém vystupuje pouze jeden parametr $c_{(K+Na)}$:

$$Z_m = 0,342 \cdot c_{(K+Na)} \quad (4)$$

Pro nedostatečnou zásobní alkalitu $c_{alk} < 0$ platí vztah se dvěma parametry $c_{(K+Na)}$, $c_{\alpha N}$ a aditivní konstantou:

$$Z_m = 0,14 \cdot c_{(K+Na)} + 0,20 \cdot c_{\alpha N} + 0,70 \quad (5)$$

Vliv redukcujících látek na ztráty cukru v melase

V roce 2013 zavedli v holandské cukrovarnické společnosti Suiker Unie sériové analýzy obsahu glukosy v řepné kaši jako součást rutinního hodnocení kvality řepy a odvodili korelační vztah mezi obsahem glukosy a vypočteným obsahem redukcujících látek (invertního cukru, invertu) c_{RL} (mmol/100 g ř.). V práci (7) byly diskutovány zkušenosti ze zavedení a provozního ověření tohoto analyzátoru glukosy. Mezitím se použitá metoda stanovení obsahu glukosy v řepě pomocí imobilizovaného enzymového biosenzoru stala oficiální metodou ICUMSA GS6-8 ke stanovení obsahu glukosy v řepné kaši, resp. ve filtrátu po čiření řepné kaše síranem hlinitým (8). Analýza obsahu redukcujících látek při přejímce řepy totiž nabízí velkou příležitost k lepší charakteristice technologické hodnoty řepy. Vzorce pro výpočet ztrát cukru v melase (rovnice 1, 2, 4, 5) neberou v úvahu kolísající obsah redukcujících látek ve zpracovávané řepě a neindikují výrazně negativní vliv obsahu redukcujících látek na výtěžnost cukru. Zahrnutí obsahu redukcujících látek jako dalšího parametru

do výpočtu ztrát cukru v melase, a tím i výtěžnosti cukru, je velkým pokrokem směrem k predikci technologických efektů při kolísající kvalitě řepy v souvislosti s dlouhodobě skladovanou řepou. Obsah redukcujících látek ve šťávách má klíčový vliv na chemické reakce při zpracování cukru. Redukující látky (glukosa a fruktosa) obsažené v řepě jsou extrahovány spolu se sacharosou a dalšími necukry ze sladkých řízků. Při klasickém čištění šťáv v alkalickém prostředí se redukcující látky rozkládají na stabilní organické kyseliny a mohou se tak podílet na tvorbě vysokomolekulárních barevných látek. Organické kyseliny, jako rozkladné produkty glukosy a fruktosy, jsou melasotvorné, snižují alkalitu šťáv, zvyšují obsah rozpustných vápenatých solí v lehké šťávě a rovněž zhoršují termostabilitu lehké šťávy při jejím dalším zpracování. Barva lehké šťávy závisí především na obsahu redukcujících látek v surové šťávě. Naštěstí, obsah redukcujících látek ve zdravé a čerstvě sklizené řepě je nízký a téměř konstantní: průměrný obsah redukcujících látek v řepě je 0,4 mmol/100 g ř., typické rozmezí je mezi 0,1–0,7 mmol/100 g ř. Je-li obsah redukcujících látek v řepě nízký, tak není nutno jej zahrnovat do vzorců pro výpočet předpokládaných ztrát cukru v melase a výtěžnosti bílého cukru (rafinády) ze složení řepy. U německého vzorce z roku 1996 a holandského vzorce z roku 1997 byl obsah redukcujících látek zahrnut do korekční aditivní konstanty v rovnicích 2 a 4 (2).

Nový holandský vzorec z roku 2015

Tento vzorec zahrnuje již obsah redukcujících látek v řepě c_{RL} (mmol/100 g ř.) (7). Zásobní alkalita c_{alk} se u tohoto nového holandského vzorce vyjadřuje podle vztahu:

$$c_{alk} = c_{(K+Na)} - c_{\alpha N} - [(3,15 \cdot c_{RL}) + 1,75] \quad (6)$$

Pro dostatečnou zásobní alkalitu $c_{alk} \geq 0$ platí stejný jednoduchý vztah, ve kterém vystupuje pouze jeden parametr $c_{(K+Na)}$ (rovnice 4).

Pro nedostatečnou zásobní alkalitu $c_{alk} < 0$ platí vztah se třemi parametry, kde vedle $c_{(K+Na)}$ a $c_{\alpha N}$ je zahrnut i obsah redukcujících látek (glukosa + fruktosa) c_{RL} (mmol/100 g ř.) a rovněž aditivní konstanta

$$Z_m = 0,14 \cdot c_{(K+Na)} + 0,20 \cdot c_{\alpha N} + 0,63 \cdot c_{RL} + 0,35 \quad (7)$$

Porovnájí-li se vztahy pro vyjádření zásobní alkality v obou holandských vzorcích, pak koeficient 3,5 mmol/100 g z rovnice 3 by měl odpovídat hodnotě výrazu $[(3,15 \cdot c_{RL}) + 1,75]$ z rovnice 6. Vypočtená hodnota c_{RL} by ve vzorci z roku 1997 (rovnice 5) odpovídala hodnotě $(3,5 - 1,75)/0,315 = 0,56$ mmol/100 g ř. V následujících kampaních však bylo zjištěno, že obsah redukcujících látek v čerstvě sklizených řepách je podstatně nižší. Průměrné hodnoty byly 0,4 mmol/100 g ř. Po zpětném přepočtu vyjde hodnota koeficientu: $3,15 \cdot 0,4 + 1,75 = 3,0$. Opravený vztah pro výpočet c_{alk} pak je

$$c_{alk} = c_{(K+Na)} - c_{\alpha N} - 3,0 \quad (5.8)$$

Není překvapením, že zkušenosti z cukrovarnických kampaní v Evropě potvrzují, že tento jednoduchý vzorec pro c_{alk} ideálně indikuje potřebu, kdy je nutno přidávat alkálie do šťávy. U čerstvé řepy s nízkým obsahem redukcujících látek okolo

Tab. 1. Vypočtené hodnoty předpokládaných ztrát cukru v melase Z_m a výtěžnosti bílého cukru (rafinády) R pro různé obsahy redukcujících látek v řepě c_{RL}

Charakteristika řepy	c_{RL} (mmol/100 g ř.)	c_{RL} (g/100 g ř.)	c_{RL} (g/t ř.)	Z_m (% ř.)	R (%)
Čerstvá, zdravá	$\leq 0,4$	$\leq 0,072$	≤ 720	$\leq 1,4$	$\geq 92,4$
Dobrá, krátce skladovaná	0,4 – 1,1	0,072 – 0,20	720 – 2000	1,4 – 1,8	92,4 – 90,0
Lehce poškozená	1,1 – 1,9	0,20 – 0,34	2000 – 3400	1,8 – 2,3	90,0 – 87,2
Silně poškozená	$> 1,9$	$> 0,34$	> 3400	$> 2,3$	$\leq 87,2$

0,4 mmol/100 g ř. je nutno šťávy alkalizovat je-li $c_{alk} < 0$, neboli je-li $c_{(K+Na)} - c_{aN} < 3,0$ mmol/100 g ř. (2).

Výtěžnost bílého cukru (rafinády) a další vztahy

Výtěžnost bílého cukru (rafinády) R (%) se vypočte při známé hodnotě Z_m (% ř.) a cukernatosti řepy P (%) podle vztahu:

$$R = 100 \cdot \frac{P - Z_m}{P} \quad (9).$$

Další kritérium, které se počítá z hodnot obsahu draslíku a sodíku a obsahu α -aminoN v řepě, je **alkalinitní koeficient** AK :

$$AK = \frac{c_{(K+Na)}}{c_{aN}} \quad (10).$$

Podle číselné hodnoty alkalitního koeficientu se hodnotí skladovatelnost řepy. Mezní dolní hranice je 4, pod tuto hodnotu se považuje řepa za neskladovatelnou a musí se přednostně zpracovat.



Výnos polarizačního cukru z řepy V_{pc} (t/ha) se počítá jako součin výnosu řepy V_k (t/ha) a cukernatosti P (%):

$$V_{pc} = V_k \cdot \frac{P}{100} \quad (11).$$

Výnos bílého cukru z řepy V_{bc} (t/ha) se počítá z výnosu řepy V_k (t/ha) a výtěžnosti bílého cukru (rafinády) R (%):

$$V_{bc} = V_k \cdot \frac{R}{100} \quad (12).$$

Vypočtené hodnoty předpokládaných ztrát cukru v melase a výtěžnosti bílého cukru pro různé obsahy redukcujících látek v řepě

Obsah redukcujících látek se obvykle udává jako látková koncentrace v mmol/100 g ř., nebo jako hmotnostní koncentrace v g/100 g ř., případně v g/t ř. V tab. 1. jsou uvedeny přepočtené hodnoty látkové a hmotnostní koncentrace pro typické hodnoty obsahu redukcujících látek v (mmol/100 g ř., g/100 g ř. a g/t ř), které charakterizují různě kvalitní řepu, rozdělenou do čtyřech kategorií: řepa čerstvá, zdravá; dobrá, krátce skladovaná; lehce poškozená; silně poškozená. Vliv obsahu redukcujících látek na vypočtené hodnoty předpokládaných ztrát cukru v melase a na výtěžnost bílého cukru (rafinády) je demonstrován pro příklad řepy s cukernatostí $P = 18$ %, $c_{(K+Na)} = 4,0$ mmol/100 g ř., $c_{aN} = 1,0$ mmol/100 g ř. (2).

Pro čerstvou zdravou řepu je obsah redukcujících látek $\leq 0,4$ mmol/100 g ř. a pro tyto hodnoty je Z_m vypočteno podle rovnice 4: $Z_m = 0,342 \cdot 4 = 1,37$ % ř. Pro dobrou a krátce skladovanou řepu s obsahem redukcujících látek v rozmezí 0,4–1,1 mmol/100 g ř., pro řepu lehce poškozenou s rozmezím 1,1–1,9 mmol/100 g ř. a pro silně poškozenou řepu s obsahem redukcujících látek vyšším než 1,9 mmol/100 g ř. byly všechny hodnoty Z_m vypočteny podle rovnice 7, zahrnující vliv obsahu redukcujících látek.

Při zpracování zdravé a dobře skladované řepy by neměla výtěžnost cukru klesnout pod 90 %. Podmínky pro dobře skladovanou řepu znamenají, že teplota uvnitř hromad řepy na skládce se udržuje na teplotě 10 °C nebo nižší, ale ne pod teplotou 0 °C. Prodlužování doby skladování řepy při nižších teplotách totiž vede ke zhoršení kvality řep, u nichž se zvyšuje obsah redukcujících látek a výtěžnost klesá pod 90 %. Pokud dojde ke zmrznutí řep nebo jsou řepy na povrchu shnilé, jedná se o silně poškozené řepy a pak se výtěžnost cukru snižuje až k hodnotám pod 87 %. V těchto případech je pak otázkou, zda je zpracování takto poškozené řepy na cukr ještě ekonomicky rentabilní (2).

Aby bylo možno zpracovat řepu s vysokým obsahem redukcujících látek je nutné neutralizovat organické kyseliny vzniklé alkalickým rozkladem glukosy a fruktosy při čištění šťáv. Pokud je dostatečně vysoká přirozená alkalita šťáv, tak jsou tyto organické kyseliny neutralizované.

V případě, že kvalita řepy se zvláště ke konci kampaně postupně a trvale zhoršuje, roste obsah redukcujících látek a dochází ke ztrátám alkality, vyžaduje to dávkovat alkálie (NaOH) do šťáv.

Souhrn

Analýza obsahu redukujících látek (invertu) při přejímce řepy je velice důležitým ukazatelem technologické hodnoty řepy. Dosud používané vzorce pro výpočet ztrát cukru v melase neberou v úvahu kolísající obsah redukujících látek ve zpracovávané řepě a jejich negativní vliv na výtěžnost cukru. Zahnutí obsahu redukujících látek jako dalšího parametru do výpočtu ztrát cukru v melase a tím i výtěžnosti cukru je velkým pokrokem směrem k predikci technologických efektů při kolísající kvalitě řepy, zvláště při dlouhých kampaních a zpracování poškozené řepy.

Klíčová slova: přejímka řepy, redukující látky, ztráty cukru v melase, výtěžnost bílého cukru.

Literatura

1. *Automated system for quality analysis of sugar beet Betalyser*. Anton Paar GmbH, [online] <https://www.anton-paar.com/corpen/products/details/computerized-system-for-quality-analysis-of-sugar-beet-betalyser/>, cit. 28. 3. 2022.
2. DE BRUIJN, J. M.: Impact of beet quality on sugar manufacture. Part 2. Impact of invert sugar on beet processing. *Sugar Industry* 145, 2020 (3), s. 154–160.
3. VAN DER POEL, P. W.; SCHIWECK, H.; SCHWARTZ, T. (ED): *Sugar Technology: Beet and Cane Sugar Manufacture*. Verlag Dr. A. Bartens KG, Berlin, 1998, 1118 s., ISBN: 978-3-87040-065-1.
4. REINEFELD, E. ET AL.: Zur Voraussage des Melassezuckers aus Rübenanalysen. *Zucker*, 27, 1974 (1), s. 2–15.
5. GEBLER, J.; HOTOVÝ, Z.: *Cukrovarnický výkladový slovník*. VUC Praha, a. s., 2021, 71 s., ISBN 978-80-270-9791-3.
6. BUCHHOLZ, K. ET AL.: Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerind.*, 120, 1995, s. 113–121.
7. VERMEULEN, D. P.: Development of the sugar beet quality in the Netherlands since 1980 and introduction of invert sugar as a new parameter for beet quality assesment. *Sugar Industry*, 140, 2015, s. 95–103.
8. *ICUMSA: Method GS6-8 (2019): Glucose in Sugar Beet by an Immobilized Enzyme Biosensor Method – Official*. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlin, 2019.

Kadlec P.: Influence of Invert in Beet on Sugar Losses in Molasses and White Sugar Yield

Analysis of invert content during beet reception is a very important parameter of technological value of sugar beet. The formulas used so far to calculate sugar losses in molasses have not taken into account the fluctuating content of invert in the processed beet and its negative impact on white sugar yield. The inclusion of invert content in beet as an additional parameter in the calculation of sugar losses in molasses and white sugar yield is a major advance in the direction of predicting technological effects of fluctuating beet quality, especially in long campaigns and the processing of damaged beet.

Key words: beet reception, invert, sugar losses in molasses, yield of white sugar.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Pavel Kadlec, DrSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav sacharidů a cereálií, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: pavel.kadlec@vscht.cz