

Jak obliczyć teoretycznie wydajność cukru i melasu z buraków.*)

Obliczenie wydajności cukru przed ukończeniem kampanji, a szczególnie na jej początku, jest utrudnione przez to, że musi być dość dokładnie oszacowana wydajność cukru z soków i produktów, pozostających w momencie obliczenia na warsztacie. Dotyczy to również ilości melasu. Po ukończeniu kampanji wydajność cukru jest oczywiście dokładnie ustalona, ilość zaś wyprodukowanego melasu niekiedy pozostaje, dla różnych przyczyn, niezupełnie pewną, co utrudnia wykonanie prawidłowego bilansu technicznego i sądzenie o wynikach kampanji. Istnieje jednak możliwość teoretycznego obliczenia wydajności cukru i melasu w każdym momencie fabrykacji. Metody obliczania, które tu podamy, były przez nas wielokrotnie od lat 25 stosowane w praktyce i dawały wyniki dostatecznie zgodne z rzeczywistością. Ponieważ w podstawie metody leży szereg analitycznych danych, metoda ta, z natury rzeczy, daje wiarygodne wyniki wtedy tylko, kiedy laboratorium prowadzone jest sumiennie i wyniki analiz zapisywane są prawidłowo.

a) *Przy wyrobie wyłącznie cukru białego* obliczenie wykonywamy jak następuje:

Potrzebne nam są następujące dane:

- | | |
|--|-------|
| 1) zawartość cukru w krajanca | c |
| 2) straty cukru do cukrzycy I | s_1 |
| 3) czystość cukrzycy I (sokowej) | q_1 |
| 4) czystość melasu | q_2 |
| 5) zawartość substancji suchej w melasie | B_2 |

Straty cukru do cukrzycy I obliczamy, według znanego sposobu, jako straty w wysławkach, wodzie dyfuzyjnej i błocie. Dobrze jest dodać do tych strat jeszcze 0,1% cukru na straty nieoznaczone.

*) Gaz. Cukr., 62, 1928 r., str. 61.

Podstawiając zamiast n_1 jego wartość, obliczoną według wzoru (2), znajdziemy następujący gotowy wzór do obliczenia wydajności melasu:

$$(7) \quad m = \frac{100 \cdot (100 - q_1) (c - s_1) (K + 1)}{q_1 \cdot B_2} = \frac{100 \alpha (c - s_1) (K + 1)}{B_2},$$

$$\text{gdzie } \alpha = \frac{100 - q_1}{q_1}.$$

Wzór ten wyraźnie wskazuje zależność ilości melasu od szeregu zmiennych (zawartości cukru w buraku c , wysokości strat cukru do cukrzycy I— s_1 , współczynnika czystości cukrzycy I— q_1 , współczynnika melasotwórczego— K i zawartości suchej substancji w melasie — B_2) i pozwala na racjonalne przedyskutowanie wpływu każdego z tych czynników.

Odkładając szczegółową analizę wpływu tych czynników do jednego z następnych artykułów, nie możemy się powstrzymać od zwrócenia uwagi czytelnika na kilka ciekawych wniosków, do których prowadzi taka analiza.

1) Ilość melasu (więc i strata cukru w melasie) w bardzo wysokim stopniu zależy od współczynnika melasotwórczego K czyli od współczynnika czystości melasu q_2 . Np. jeżeli przy czystości $q_2 = 58,0$, ilość melasu wynosi 3,07%, to przy czystości $q_2 = 62,0$ ilość melasu wynosi 3,47%, przy czystości zaś $q_2 = 64,0$, ilość melasu wynosi 3,67%. Oczywiście — przy równych wszystkich pozostałych czynnikach, t. j. wtedy, kiedy wysokość współczynnika czystości jest wyrazem jedynie umiejętności gotowania cukrzyc (zależnej od nas) oraz specyficznego składu niecukrów melasu (przeważnie od nas niezależnego). Cukrownie nasze, zdaniem mojem, zbyt mało liczą się z faktem tak znacznego wpływu czystości melasu na ilość melasu, zadowalając się wysokimi czystościami melasu nawet wtedy, kiedy jest możliwość obniżenia tej czystości.

2) Ilość melasu wzrasta ze wzrostem zawartości cukru w buraku, a spada ze wzrostem strat (do cukrzycy I). Ta prosta zależność uchodziła, zdaje się, uwagi techników cukrowniczych. Ten, kto chwali się niską ilością melasu, nie wie, że *niekiedy* „chwali się” głównie z tego, że poniósł duże straty na dyfuzji i błotniarkach.

3) Ilość melasu spada ze wzrostem czystości cukrzycy sokowej w bardzo wysokim stopniu, bo proporcjonalnie do $\alpha = \frac{100 - q_1}{q_1}$, więc naprz. przy

$q_1 = 90$, ilość melasu jest proporcjonalna do $\frac{10}{90} = 0,111$; przy $q_1 = 94$ — do

$\frac{6}{94} = 0,064$. A więc przy czystości cukrzycy sokowej $q_1 = 90$, ilość melasu jest prawie dwa razy większa, niż przy $q_1 = 94$. I ten fakt zdaje się uchodzić uwagi naszych techników cukrowniczych, którzy w ostatnich czasach, w dążeniu do rzekomej oszczędności, niedostatecznie dbają o osiągnięcie wysokiego efektu oczyszczania soków.

U w a g a I. Przy porównaniu ilości melasu, wyprodukowanej przez różne cukrownie, należałoby podawać raczej ilość substancji suchej melasu — b_2 — w %-tach na buraki, gdyż zawartość wody w wypompowanym melasie, w zależności od całego szeregu czynników, waha się, według naszych obserwacji, w poszczególnych cukrowniach od 12 do 20%.

U w a g a II. Przy przybliżonych obliczeniach można przyjmować $q_2 = 60,0$ i $K = 1,5$ oraz $B_2 = 83,3\%$ wtedy

$$m = 3 n_1.$$

Strata cukru w melasie s_2 według wyżej przytoczonego wzoru (4) wynosi:

$$s_2 = K n_1 = \frac{K(100 - q_1)(c - s_1)}{q_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Wydajność cukru białego W_b wynosi

$$W_b = c - (s_1 + s_2) = c - \left[s_1 + \frac{K(100 - q_1)(c - s_1)}{q_1} \right] \quad . \quad . \quad (6)$$

Wzór ten można doprowadzić do prostszej, bardziej nadającej się do dyskusji formy, jeżeli oznaczyć:

$$\frac{100 - q_1}{q_1} = \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Mamy wtedy:

$$\begin{aligned} W_b &= c - s_1 - \alpha K(c - s_1) = c - s_1 - \alpha Kc + \alpha Ks_1 = \\ &= c(1 - \alpha K) - s_1(1 - \alpha K) = (c - s_1)(1 - \alpha K). \end{aligned}$$

A więc gotowy wzór do obliczania wydajności cukru białego jest następujący:

$$W_b = (c - s_1)(1 - \alpha K) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

w którym $\alpha = \frac{100 - q_1}{q_1}$ możemy nazwać „spółczynnikiem niecukrów cukrzycy sokowej”¹⁾. Poniżej podajemy tabliczkę wartości współczynników α dla $q_1 =$ od 90 do 94,5.

T A B L I C A II.

Wartość współczynnika α w zależności od współczynnika czystości q_1 cukrzycy sokowej.

$q_1 =$	90,0	90,5	91,0	91,5	92,0	92,5	93,0	93,5	94,0	94,5
$\alpha =$	0,1111	0,1050	0,0989	0,0929	0,0869	0,0810	0,0753	0,0695	0,0639	0,0582

Odkładając szczegółową analizę wpływu poszczególnych czynników na wydajność cukru białego, zwracamy uwagę, że wydajność będzie się zwiększała ze wzrostem ilości cukru, zawartego w cukrzycy I: $(c - s_1)$

¹⁾ Spółczynnik $\alpha = \frac{100 - q}{q}$ jest odwrotnością współczynnika $K = \frac{q}{100 - q}$;

łatwo więc zrozumieć, że $\alpha = \frac{1}{K} = \frac{n}{c}$, t. j. współczynnik ten wskazuje, ile części niecukru przypada w danym produkcie na jedną część cukru.

[pomimo, że jednocześnie będzie wzrastała ilość melasu], oraz ze spadkiem współczynników α i K , powodującym spadek ilości melasu.

U w a g a I. Rzeczywista wydajność cukru białego jest mniejsza od oznaczonej według wzoru (8) z powodu występowania strat nieoznaczonych od cukrzycy do melasu. Straty te można uwzględnić w wysokości np. 0,1%.

Z drugiej strony rzeczywista wydajność cukru białego jest nieco większa, gdyż cukier biały nie jest chemicznie czystym cukrem, i polaryzacja jego wynosi zwykle 99,7. Można by uwzględnić w obliczeniu i tę okoliczność, mnożąc znaną W_b przez $\frac{100}{99,7} = 1,003$.

U w a g a II. W przytoczonych obliczeniach q_1 oznacza czystość cukrzycy sokowej. Jeżeli t. zw. „klarówka” dodawana jest do soku gęstego, to za czystość cukrzycy sokowej możemy przyjąć czystość soku gęstego (przed dodaniem klarówki). Jeżeli „klarówkę” dodajemy do soku rzadkiego, to czystość ogólnego soku gęstego (i cukrzycy I) jest inna, niż czystość sokowego soku gęstego i cukrzycy. Różnica ta przy dzisiejszych wysokich czystościach soku dyfuzyjnego i saturacyjnego jest nieznaczna i w większości przypadków możemy bez większego błędu przyjąć czystość ogólnego soku gęstego lub ogólnej cukrzycy I za czystość cukrzycy sokowej. Przy dodawaniu klarówek z mączek żółtych częściowo afinowanych o wysokiej czystości, np. 96—97, lepiej jest wprowadzić poprawkę, t. j. obniżyć nieco czystość ogólnej cukrzycy I. Poprawkę tę można znaleźć drogą rachunku, jeżeli znana jest ilość dodanych mączek (ewentualnie i odcieku białego) i ich czystość. Np.:

czystość ogólnej cukrzycy . . .	94,2
czystość dodanych mączek . . .	96,0
ilość mączek	5% (w przeliczeniu na cukrzycę o 6% wody).
ilość cukrzycy sokowej . . .	18%
czystość cukrzycy sokowej . .	x

Układamy równanie:

$$96,0 \times 0,05 + x \times 0,18 = (0,18 + 0,05) \times 94,2$$

$$x = 93,72.$$

Przykład obliczenia wydajności cukru białego i melasu.

Jeżeli mamy: zawartość cukru w krajance . .	$c = 17,2\%$
straty cukru do cukrzycy I . .	$s_1 = 0,70 + 0,1 = 0,80\%$
czystość cukrzycy sokowej . .	$q_1 = 93,5$
czystość melasu	$q_2 = 60,0$
i brix melasu	$B_2 = 85,0$

to wydajność cukru białego wyniesie:

$$W_b = (c - s_1) (1 - \alpha K),$$

gdzie $\alpha = \frac{100 - 93,5}{93,5} = 0,0695$

i $K = 1,5$

Stąd $W_b = 14,69\%$

Wprowadzając dodatkowo poprawki, wskazane w uwadze I, znajdziemy

$$W = 14,63\%.$$

Ilość melasu obliczamy według wzoru:

$$m = \frac{100 \alpha (c - s_1) (K + 1)}{B_2}$$

jako równą: $m = 3,36\%$.

Korzystając z tej samej metody obliczenia, możemy też obliczyć *ilość cukrzycy I sokowej* (w %-tach na buraki).

Z ilości cukru w cukrzycy $I = c_1$ i czystości cukrzycy — q_1 , znajdujemy ilość substancji suchej cukrzycy b_1 :

$$b_1 = \frac{100 c_1}{q_1} = \frac{100 (c - s_1)}{q_1} \dots \dots \dots (9)$$

Przyjmując (przeciętną) zawartość wody w tej cukrzycy = 6%, a więc $Bx = 94$, znajdziemy, że ilość cukrzycy I:

$$f_1 = \frac{100 (c - s_1)}{0,94 \cdot q_1} \dots \dots \dots (10)$$

W cytowanym przykładzie:

$$f_1 = 18,65\%.$$

Oprócz wydajności cukru białego, obliczonej na 100 cz. przerobionych buraków, obliczamy też wydajność, obliczoną w %-tach na 100 cz. cukru w burakach. Wydajność, obliczoną w ten sposób, nazwiemy *spółczynnikiem wydajności* i oznaczmy przez β .

Oczywiście:

$$\beta = \frac{100 \cdot W_b}{c} = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{c} = 100 \left(1 - \frac{s_1}{c} \right) (1 - \alpha K) \quad (11)$$

W cytowanym przykładzie:

$$\beta = 100 \left(1 - \frac{0,80}{17,2} \right) (1 - 0,0695 \times 1,5) = 85,40\%.$$

b) *Przy wyrobie wyłącznie cukru surowego* obliczenie wykonywamy jak następuje.

Oprócz wyżej przytoczonych danych, potrzebnych do obliczenia wydajności cukru białego, potrzebna nam jest jeszcze analiza cukru surowego, a mianowicie:

polaryzacja cukru surowego . . . C_R
i Rendement tego cukru . . . Rd

Obliczamy przedewszystkiem według wyżej przytoczonych wzorów wydajność cukru białego W_b .

Wydajność cukru surowego W_s znajdziemy jako:

$$W_s = \frac{100 \cdot W_b}{Rd} = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{Rd} \dots \dots \dots (12)$$

Ażeby obliczyć ilość melasu, rozumujemy jak następuje:

Ilość melasu, którybyśmy otrzymali przy wyrobie cukru białego, przy wyrobie cukru surowego jest zmniejszona o tę ilość melasu, jaka potencjalnie zawarta jest w cukrze surowym.

Mając zawartość cukru w cukrzycy sokowej: $c_1 = c - s_1$ oraz obliczywszy zawartość cukru w cukrze surowym:

$$c_3 = \frac{(c - s_1) (1 - \alpha K) C_3}{Rd} \dots \dots \dots (13)$$

z różnicy: $(c_1 - c_3)$ znajdziemy zawartość cukru w melasie

$$c_2 = c_1 - c_3 = (c - s_1) \left[1 - \frac{(1 - \alpha K) C_3}{Rd} \right] \dots \dots \dots (14)$$

Według ilości c_2 cukru w melasie znajdujemy ilość substancji suchej melasu:

$$b_2 = \frac{c_2 (K + 1)}{K} \dots \dots \dots (15)$$

i ilość melasu:

$$m = \frac{100 \cdot b_2}{B_2} = \frac{100 c_2 (K + 1)}{K B_2} = \frac{100 (K + 1) (c - s_1)}{K B_2} \left[1 - \frac{(1 - \alpha K) C_3}{Rd} \right] \dots \dots \dots (16)$$

Gotowy więc wzór do obliczenia ilości melasu, przy wyłącznym wyrobie cukru surowego, przedstawia się jak następuje:

$$m = \frac{100 (K + 1) (c - s_1)}{K B_2} \left[1 - \frac{(1 - \alpha K) C_3}{Rd} \right] \dots \dots \dots (17)$$

Przykład. Polaryzacja cukru surowego. $C_3 = 95,0\%$

Rendement tego cukru $Rd = 89,0\%$

Inne dane, jak wyżej w przykładzie dla cukru białego.

$$W_s = \frac{100 (17,2 - 0,80) (1 - 0,069 \times 1,5)}{89,0} = 16,50\%$$

$$m = \frac{100 \times 2,5 \times (17,2 - 0,80)}{1,5 \times 85,0} \left[1 - \frac{(1 - 0,069 \times 1,5) \times 95}{89} \right] = 1,42\%$$

c) Przy jednoczesnym wyrobie cukru białego i cukru surowego obliczenie wykonywamy jak następuje.

Oprócz wyżej przytoczonych danych, potrzebnych przy obliczaniu wydajności przy wyrobie wyłącznie cukru surowego, potrzebna nam jest jeszcze jedna dana, mianowicie: stosunek wydajności produkowanego cukru białego W'_b do wydajności cukru surowego W'_s .

Oznaczmy go przez E . A więc:

$$E = \frac{W_b'}{W_s'} \quad (18)$$

Wydajność W_s' cukru surowego odpowiada następującej wydajności cukru białego:

$$W_b'' = \frac{W_s' \cdot Rd}{100} \quad (19)$$

Suma: $(W_b' + W_b'')$ równa się ogólnej wydajności cukru białego W_b jaką otrzymalibyśmy przy wyrobie wyłącznie cukru białego:

$$W_b = W_b' + W_b'' \quad (20)$$

Skąd:

$$W_b' + \frac{W_s' \cdot Rd}{100} = W_b = (c - s_1) (1 - \alpha K) \quad (21)$$

oraz

$$\frac{W_b'}{W_s'} = E$$

Rozwiązując te równania, znajdujemy: wydajność cukru białego:

$$W_b' = \frac{(c - s_1) (1 - \alpha K)}{1 + \frac{Rd}{100 E}} = \frac{100 E (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd} \quad (22)$$

wydajność cukru surowego:

$$W_s' = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd} \quad (23)$$

Obliczenie ilości melasu wykonywamy w sposób analogiczny do przytoczonego przy obliczeniach dla wyrobu wyłącznie cukru surowego. Ilość cukru, zawartego w melasie, c_2 (w %-tach na buraki) znajdziemy, odejmując od zawartości cukru c_1 w cukrzycy sokowej zawartość cukru w cukrze białym i surowym.

$$\begin{aligned} c_2 &= (c - s_1) - \left[\frac{(c - s_1) (1 - \alpha K) \cdot 100 E}{100 E + Rd} + \frac{(c - s_1) (1 - \alpha K) \cdot C_3}{100 E + Rd} \right] = \\ &= (c - s_1) \left[1 - \frac{1 - \alpha K}{100 E + Rd} (100 E + C_3) \right] \quad (24) \end{aligned}$$

I dalej:

$$m = \frac{100 c_2 (K + 1)}{K B_2} = \frac{100 (K + 1) (c - s_1)}{K B_2} \left[1 - \frac{1 - \alpha K}{100 E + Rd} (100 E + C_3) \right] \quad (25)$$

Przykład. Stosunek wydajności cukru białego do wydajności cukru surowego $E = 2,0$.

Inne dane, jak w przykładzie dla cukru surowego.

$$W_b' = \frac{(17,2 - 0,80) (1 - 0,0695 \times 1,5) \times 200}{200 + 89} = 10,17\%$$

$$W_s' = \frac{100 (17,2 - 0,80) (1 - 0,0695 \times 1,5)}{200 + 89} = 5,08\%.$$

$$m = \frac{100 \times 2,5 \times 16,4}{1,5 \times 85} \left[1 - \frac{1 - 0,0695 \times 1,5}{200 + 89} (200 + 95) \right] = 2,73\%.$$

Kończąc, zwracam się z wielką prośbą do kolegów, ażeby się nie „przerażali” przytoczonymi tu wzorami. Wzory nie są bynajmniej tak skomplikowane i groźne, jakby się to na pierwszy rzut oka wydawać mogło. Przeciwnie, są w podstawie swej bardzo proste i zgoła niewinne. „Groźny” zaś ich wygląd wynika tylko z nadania im ogólnej algebraicznej szaty. Ta zaś była konieczna: 1) ze względu na chęć podania zupełnie gotowych wzorów, do których pozostaje jedynie wstawić realne wielkości zamiast symboli i wykonać kilka prostych działań arytmetycznych, ażeby otrzymać gotowy rezultat; 2) ze względu na to, ażeby można było przeprowadzić (w następnym artykule!) matematyczną i technologiczną dyskusję tych wzorów.

Proszę bardzo kolegów, ażeby zechcieli sprawdzić te wzory na wynikach ubiegłej kampanji, i przekonać się, o ile teoretyczne obliczenia zgodzą się z realnymi wynikami.

Ostrzegam, że żądać zgody między „teorią a praktyką” można wtedy tylko, kiedy analizy oraz pomiary (ilość przerobionych buraków, ilość melasu) wykonywane są prawidłowo i sumiennie. Byłbym bardzo wdzięczny tym kolegom, którzy wykonawszy podobne obliczenia, podzieliłyby się zechcieli ze mną rezultatem.

STRESZCZENIE.

Wyprowadzono następujące gotowe wzory do obliczania wydajności cukru i melasu.

1) Przy wyrobie *wyłącznie cukru białego*:
wydajność cukru:

$$W_b = (c - s_1) (1 - \alpha K)$$

wydajność melasu:

$$m = \frac{100 \alpha (c - s_1) (K + 1)}{B_2}.$$

2) Przy wyrobie *wyłącznie cukru surowego*:
wydajność cukru surowego:

$$W_s = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{Rd}$$

wydajność melasu:

$$m = \frac{100 (c - s_1) (K + 1)}{KB_2} \left[1 - \frac{(1 - \alpha K) C_3}{Rd} \right].$$

3) Przy *jednoczesnym wyrobie cukru białego i surowego*:
wydajność cukru białego:

$$W_b' = \frac{100 E (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd}$$

wydajność cukru surowego:

$$W_s' = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd}$$

wydajność melasu:

$$m = \frac{100 (c - s_1) (K + 1)}{K B_2} \left[1 - \frac{1 - \alpha K}{100 E + Rd} (100 E + C_3) \right].$$

We wzorach tych oznaczają:

c — zawartość cukru w krajance.

s_1 — straty cukru do I cukrzycy.

$$\alpha = \frac{100 - q_1}{q_1}.$$

q_1 — współczynnik czystości cukrzycy sokowej.

$$K = \frac{q_2}{100 - q_2}.$$

q_2 — współczynnik czystości melasu.

B_2 — Brix melasu.

Rd — Rendement cukru surowego.

C_3 — polaryzację cukru surowego.

E — stosunek wydajności cukru białego do wydajności cukru surowego.

Centralne Laboratorium Cukrownicze.

Sylwestrowa Noc, 1927/28 r.

Prof. K. SMOLENSKI.

Calcul théorique du rendement des betteraves en sucre et en mélasse.

Résumé.

L'auteur déduit les formules suivantes pour le calcul direct du rendement des betteraves en sucre et en mélasse.

1) Si la fabrique produit exclusivement du sucre blanc:

$$\text{rendement en sucre blanc: } W_b = (c - s_1) (1 - \alpha K),$$

$$\text{rendement en mélasse: } m = \frac{100 \alpha (c - s_1) (K + 1)}{B_2}.$$

2) Si la fabrique produit exclusivement du sucre brut:

$$\text{rendement en sucre brut: } W_s = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{Rd}$$

$$\text{rendement en mélasse: } m = \frac{100 (c - s_1) (K + 1)}{K B_2} \left[1 - \frac{(1 - \alpha K) C_3}{Rd} \right]$$

3) Si la fabrique produit du sucre blanc et du sucre brut en même temps:

$$\text{rendement en sucre blanc: } W_b' = \frac{100 E (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd}$$

$$\text{rendement en sucre brut: } W_s' = \frac{100 (c - s_1) (1 - \alpha K)}{100 E + Rd}$$

rendement en mélasse:

$$m = \frac{100 (c - s_1) (K + 1)}{K B_2} \left[1 - \frac{1 - \alpha K}{100 E + Rd} (100 E + C_3) \right]$$

Dans les formules présentées les désignations suivantes sont faites:

c — richesse saccharine des cossettes

s_1 — pertes de sucre jusqu'au poste de la cuite du 1-er jet.

$$\alpha = \frac{100 - q_1}{q_1}$$

q_1 — pureté de la masse-cuite de 1-ier jet (nette, sans rentrée des égouts).

$$K = \frac{q_2}{100 - q_2}$$

q_2 — pureté de la mélasse.

B_2 — Brix de la mélasse.

Rd — Rendement du sucre brut.

C_3 — polarisation du sucre brut.

E — rapport entre le rendement en sucre blanc et le rendement en sucre brut.