Kontrola procesu zagęszczania soku w cukrowni w celu zapobiegania tworzeniu się substancji barwnych *

Dr. Martin Bruhns, Wolfgang Klosterhalfen,

Na powstawanie substancji barwnych podczas zagęszczania soku wpływają schematy oczyszczania soku, prawa fizyki i chemii, konstrukcja, układ i eksploatacja wyparki. Przedstawiono wpływ czasu przebywania, rozkładu czasu przebywania, wartości pH i temperatury. W krótkim przeglądzie wyjaśnia się wpływ składników soku na ten proces. Wymienia się pozytywne i negatywne doświadczenia w pracy stacji wyparnej i ich wpływ na powstawanie substancji barwnych. Przy pomocy krótkiego zestawu pytań mających na celu znalezienie i usuniecie przyczyn powstawania substancji barwnych omawia się przykłady racjonalnych praktyk stosowanych przy przerobie buraków cukrowych.

Kluczowe słowa: zagęszczanie w wyparce, tworzenie substancji barwnych, wartość pH.

---

1. Tworzenie się substancji barwnych

Istnieją trzy rozpoznane mechanizmy tworzenia się substancji barwnych w produkcji cukru. Pierwszy mechanizm - to enzymatyczna reakcja tworzenia się substancji barwnych w następstwie rozkładu białka , a drugi - nie enzymatyczna reakcja tworzenia się tych substancji , tak zwana reakcja Maillarda, jedna z najbardziej istotnych reakcji chemicznych w przetwórstwie żywności, oraz trzeci sposób – tworzenie substancji barwnych podczas karmelizacji.

1.1 Reakcja enzymatyczna tworzenia się substancji barwnych

Enzymatyczna reakcja tworzenia się substancji barwnych jest reakcją związków fenolowych, która przebiega w zakresie pH od 5,5 do 6,5. Temperatura musi być niższa niż 80 ° C, ponieważ w tej temperaturze enzym się dezaktywuje. Powstawanie melaniny (substancji barwnej) w reakcji enzymatycznego tworzenia się tych związków odgrywa rolę w procesie ekstrakcji, kiedy to związki fenolowe utleniają się przez enzym oksydazę fenolową. Czas przebywania soku w procesie ekstrakcji jest dłuższy niż potrzebny dla reakcji utleniania związków fenolowych. Produkty reakcji – melaniny są nierozpuszczalne i są usuwane w procesie oczyszczania soku [1].

1.2 Nie enzymatyczna reakcja tworzenia się substancji barwnych (reakcja Maillarda)

Reakcja Maillarda cukrów redukujących i aminokwasów jest chemiczną podstawą tworzenia się zapachu i koloru w wielu procesach produkcji żywności. Na mechanizm i kinetykę reakcji wpływa skład, stężenie i stechiometria substancji biorących udział w reakcji oraz warunki jej przebiegu takie, jak temperatura, wartość pH lub obecność tlenu i amoniaku. Substancja barwna to produkt reakcji - melanoidyna. Reakcja Maillarda jest nie tylko pojedynczą reakcją , a wieloma specyficznymi reakcjami, które w wyniku dają złożoną mieszaninę wielu związków chemicznych. Temperatura i czas przebywania mają wpływ na powstawanie substancji barwnych – zabarwienia [1-3].

*Referat wygłoszony na sympozjum zorganizowanym przez Stowarzyszenie André Van Hooke, Reims, Francja, 29 marca 2012

1.3 Karmelizacja

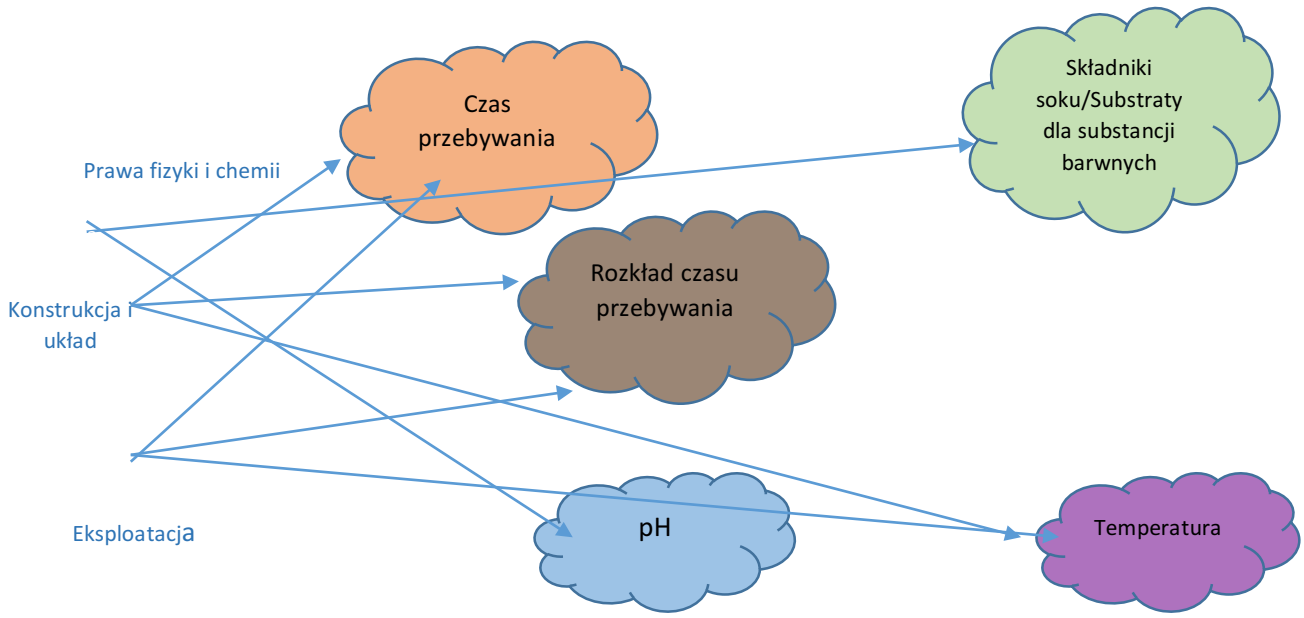
Karmel składa się z produktów rozkładu termicznego roztworów cukru o wysokiej zawartości części stałych. Tworzą się one w zależności od czasu i (wysokiej) temperatury (powyżej 120 ° C) w wyniku zwiększenia stopnia polimeryzacji. Wartość pH może mieścić się w szerokim zakresie, od 3 do 9. Dla przebiegu reakcji nie potrzeba obecności związków azotu tak jak do reakcji Maillarda, a czas reakcji jest długi [1, 2, 4].

2. Ogólne aspekty tworzenia się substancji barwnych na stacji wyparnej

Głównym zadaniem stacji wyparnej w cukrowni jest zwiększenie zawartości suchej substancji w oczyszczonym soku, do stężenia soku gęstego. Drugim ważnym zadaniem jest rozprowadzenie ciepła w postaci oparów pomiędzy użytkownikami ciepła w cukrowni. Oba te zadania muszą być wykonywane przy spełnieniu wymogu małego przyrostu zabarwienia. Tworzenie się substancji barwnych może być zredukowane do minimum i nie może być całkowicie wyeliminowane w warunkach pracy stacji wyparnych , ponieważ istnieją pewne prawa fizyczne i chemiczne, które określają zmiany wartości pH, trwałości związków i mechanizmy reakcji (Rys. 1) . Warunki te są określone i nie można na nie wpłynąć przy pomocy konstrukcji lub sposobami eksploatacji. Na parametry tworzenia się związków barwnych można wpływać przy pomocy konstrukcji aparatów wyparnych i układu stacji wyparnej. Parametry, które są zależne od konstrukcji wyparek i układu stacji : czas przebywania soku w aparatach wyparnych , rozkład czasu przebywania, a także temperatury działów stacji wyparnej. Ostatni parametr zależy od całkowitej powierzchni grzejnej w cukrowni.

Praca wyparki ma wpływ na czas przebywania i temperaturę soku w działach stacji wyparnej. W niektórych przypadkach można zmienić rozkład czasu przebywania poprzez ingerowanie w regulację przebiegu procesu.

W związku z tym, będą rozpatrzone parametry eksploatacyjne które mają wpływ na powstawanie substancji barwnych na wyparce.



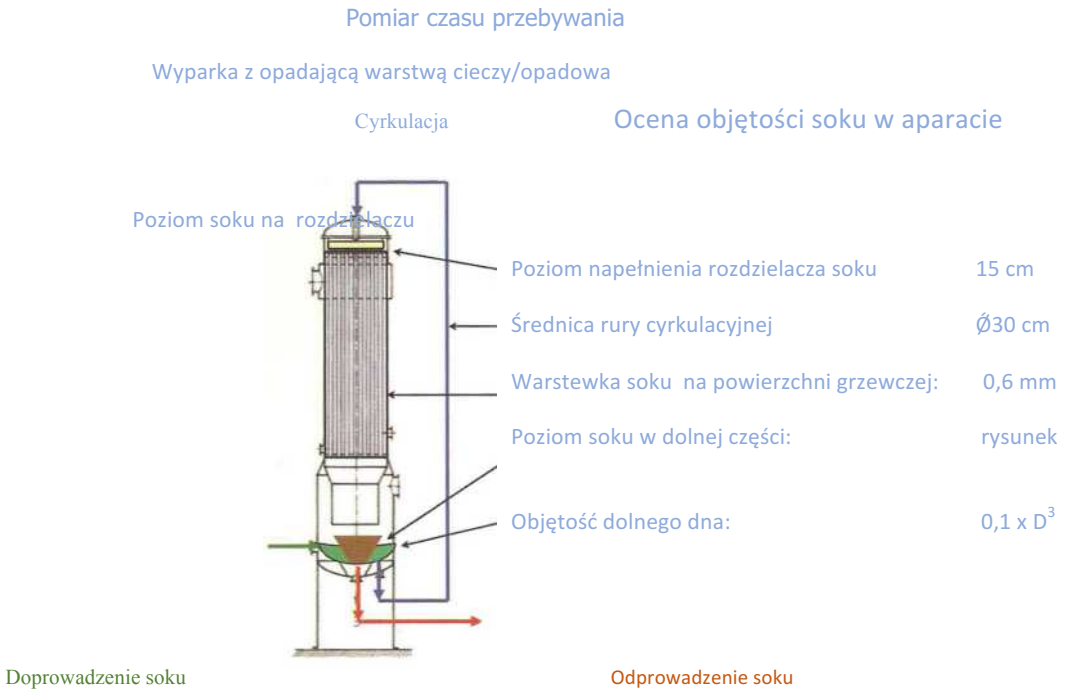
Rys.1 Tworzenie się substancji barwnych w stacji wyparnej

Para grzewcza z kotłowni normalnie posiada temperaturę około 134 ° C. Temperatura soku w pierwszym dziale wynosi około 128 ° C. Temperatura obniża się z działu do działu i w ten sposób temperatura soku gęstego przy końcu procesu wynosi 97 ° C. Możliwe wartości temperatury dla reakcji Maillarda, mieszczą się w zakresie od 97 ° C do 130 ° C.

Według autora, reakcja Maillarda jest dominującą w procesie tworzenia się substancji barwnych w procesie odparowania soku.

3. Czas przebywania w aparatach wyparnych

We wszystkich reakcjach tworzenia się substancji barwnych czas przebywania soku przy wysokich temperaturach ma duże znaczenie.



Rys. 2. Cyrkulacja soku w aparatach wyparnych z opadającą warstewką soku

Jeżeli różnica między zabarwieniem oczyszczonego soku i soku gęstego jest zbyt duża, to określenie czasu przebywania jest jednym ze środków do identyfikacji przyczyn przyrostu zabarwienia.

3.1 Obliczenie czasu przebywania w działach stacji wyparnej

Aby obliczyć czas przebywania soku potrzebne są następujące informacje:

- Średnice sekcji wyparki z opadająca warstewką soku/opadowej , które są wypełnione sokiem - Źródło: inżyniersko-techniczna dokumentacja.
- Powierzchnia grzejna pokryta sokiem - Źródło: Inżyniersko-techniczne dokumentacja

W pierwszym i możliwym do przyjęcia przybliżeniu można przyjąć, że grubość warstewki soku wewnątrz rurek może być równa 0,6 mm. To sprawia, że możliwe jest obliczenie objętości soku na powierzchni grzejnej.

- Poziom soku = wysokość poziomu w metrach lub centymetrach w tych sekcjach - źródło: pomiary z wykorzystaniem automatyki procesu, obserwacja przez okno wzierne, ocena w oparciu o informacje pochodzące z rysunków i doświadczeń roboczych.

- Przepływ soku objętościowy - źródło: bilanse masowe i materiałowe wyparki i pomiary temperatury.

Rys. 2 przedstawia, w jaki sposób można obliczyć ilość soku w każdym dziale. Całkowita ilość soku w stacji wyparnej jest określona jako suma objętości wymienionych wyżej. Całkowita ilość zależy od konstrukcji urządzenia i parametrów eksploatacyjnych- poziomu soku w dolnej części. Średnica tej sekcji powinna być możliwie mała. Średni czas przebywania soku obliczono zgodnie z równaniem (1):

$$\bar{t}_{r,n} = \frac{V_{R,n}}{\dot{V}_{R,n,out}} \qquad (1)$$

gdzie:

$\bar{t}_{r,n}$ średni czas przebywania [s]

$V_{R,n}$ objętość soku w n-m aparacie[m^3]

$\dot{V}_{R,n,out}$ przepływ soku wychodzącego z aparatu [m^3/s]

Bilans masowy i materiałowy można obliczyć z dobrym przybliżeniem przez analizę zawartości suchej substancji w próbkach soku pobranych na wyjściu z aparatów wyparnych.

Tabela. 1 przedstawia przykład obliczenia czasu przebywania w działach wyparki. W trzeciej kolumnie tabeli. 1 przedstawiono obliczone wartości dla objętości soku według działów wyparki. W przypadku normalnej eksploatacji (przerób buraków 10 000 ton / dzień), czas przebywania w pierwszym dziale wynosi 1,8 minuty, a w czwartym. - 8,3 min, co jest najkrótszym i najdłuższym czasem przebywania w oddzielnych działach wyparki.

Wpływ wielkości przerobu buraków na czas przebywania jest bardzo ważny.

W tabeli 1 przyjęto możliwość, że przepływ soku oczyszczonego zmniejsza się do 60% wartości normalnej pracy. W przypadku stabilnej pracy wszystkie przepływy soku zmniejszają się do 60%. To się często zdarza przy występowaniu awarii technicznych w zakładzie. Czas przebywania w całej stacji wyparnej zwiększa się z 26 minut do 43,5 min. Zależność występowania przerw w procesie produkcyjnym i wzrostu zabarwienia soku znany jest z praktyki

Najbardziej krytyczne punkty to objętość soku z najwyższą temperaturą: dział 1 i dział 2. Wpływ temperatury na szybkość tworzenia się substancji barwnych można obliczyć z wzoru Vukova [5] lub Smejkala [6]. Każdy zwiększenie czasu przebywania w temperaturze powyżej 120 ° C, w znacznym stopniu zwiększa wzrost zabarwienia. Odnosi się to również do wszelkich nieregularności w rozrzucie czasu przebywania soku w działach wyparki. Jeśli stwierdzono zwiększone tworzenie na wyparce substancji barwnych to przyczyną mogą być przerzuty soku i strefy zastoin. Oznaczanie rozkładu czasu przebywania w porównaniu z modelem teoretycznym pozwala to sprawdzić.

Tabl 1. Wpływ przepływu soku na czas przebywania w działach wyparki

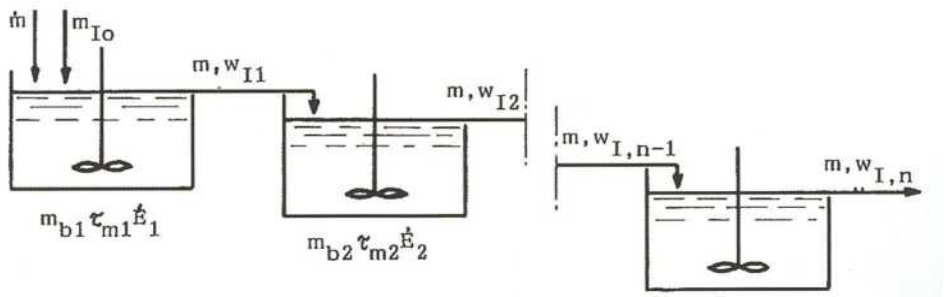
Dział wyparki	Przepływ soku na wyjściu , m^3/h	Objętość soku w dziale, m^3	Czas przebywania, min.
a) Normalna praca, przerób buraków 10000 t/dobę			
Sok oczyszczony	488,0		
Wst. odparowanie	425,8	12,6	1,8
1 dział	339,8	12,2	2,2
2 dział	256,1	14,4	3,4
3 dział	175,3	15,0	5,2
4 dział	101,6	14,1	8,3
5 dział	88,1	7,8	5,3
Suma:			26,1
b) Obniżona wydajność, przerób buraków 6000 t/dobę wskutek awarii			
Sok oczyszczony	292,8		
Wst. odparowanie	255,5	12,6	3,0
1 dział	203,9	12,2	3,6
2 dział	153,7	14,4	5,6
3 dział	105,2	15,0	8,6
4 dział	61,0	14,1	13,9
5 dział	52,9	7,8	8,9
Suma:			43,5

3.2 Obliczenie czasu przebywania w stacji wyparnej

Model matematyczny może być wykorzystany do obliczenia rozkładu czasu przebywania E_n (G) dla kaskady aparatów z mieszaniem.

Równanie (2) spełnia się w przypadku ciągłego przepływu objętościowego przez kaskadę aparatów jednakowej objętości (zob. Rys. 3) [7, 8].

$$E_n(t) = \frac{C_n(t)}{C_0} = \frac{1}{(n-1)!\,\bar{t}_{r,n}}\left(\frac{t}{\bar{t}_{r,n}}\right)\exp\left(-\frac{t}{\bar{t}_{r,n}}\right) \qquad (2)$$



Rys. 3. Model do obliczania rozkładu czasu przebywania. Kaskada aparatów o takiej samej objętości przy stałym przepływie [9].

gdzie:

C_0 początkowe stężenie wskaźnika, kg / m3;

$C_n(t)$ stężenie wskaźnika w dziale n w czasie t , / kg / m3.

Aby obliczyć rozkład czasu przebywania w przemysłowej wyparce potrzebny jest inny model matematyczny, który uwzględni różne objętości aparatów i zmieniający się przepływ objętościowy z aparatu do aparatu. Model matematyczny do obliczania rozkładu czasu przebywania stacjach wyparnych w przemyśle cukrowniczym był opublikowany przez Baloha [9]:

$$E_n(t) = \frac{C_n(t)}{C_0} = \sum_{i=1}^{n} K_i \exp\left(-\frac{t}{\bar{t}_{r,n}}\right) \qquad (3)$$

Stałe K powinno się wyliczać dla każdego aparatu (na przykład aparat wyparny, reaktor) w kaskadzie.

$$K_i = \frac{\left(\bar{t}_{r,i}\right)^{i-2}}{\left(\bar{t}_{r,i} - \bar{t}_{r,1}\right)\cdot\left(\bar{t}_{r,i} - \bar{t}_{r,2}\right)\cdots\left(\bar{t}_{r,i} - \bar{t}_{r,i-1}\right)}$$

$$K_i = \frac{\left(\bar{t}_{r,i}\right)^{n-2}}{\prod_{m=1}^{i}\left(\bar{t}_{r,i} - \bar{t}_{r,m}\right)\cdot\prod_{m=i+1}^{n}\left(\bar{t}_{r,i} - \bar{t}_{r,m}\right)} \qquad (4)$$

Ten model można także zastosować w badaniach rozdziału czasu przebywania w warnikach ciągłych [10].

3.3 Przykłady obliczenia i pomiarów czasu przebywania

Poniższe badania przeprowadzono w wyparce w cukrowni Pfeifer & Langen. Przyczyną tych badań był przyrost zabarwienia na stacji wyparnej. Na podstawie bilansu cieplnego i masowego oraz informacji technicznej nt. wyparek i ich pracy obliczono czasy przebywania i zaplanowano doświadczenia z sorbitolem jako wskaźnikiem. W oparciu o granicę wykrywalności sorbitolu, określono masę wskaźnika (34 kg sorbitolu dla cukrowni przerabiającej 10 000 t buraków na dobę). Niebieska linia bez kropek na rys. 4 przedstawia teoretyczne wartości stężenia sorbitolu na wylocie z pierwszego działu, tj. rozkład czasu przebywanie w pierwszym dziale. Czerwona linia z kropkami przedstawia wielkości dla stężenia sorbitolu w próbkach pobranych w pewnych odstępach czasu. Uzyskano dobrą zbieżność pomiędzy teorią a eksperymentem. Wahania stężenia sorbitolu wokół wartości teoretycznych wywołane są recyrkulacją w aparatach z opadającą warstewką soku. W tym miejscu nie wskazuje się na obecność martwych stref lub przerzutów. Wykres dla pierwszego działu pokazuje dobrą zgodność obliczeniowych i zmierzonych wartości rozkładu czasu przebywania.

Oznacza to, że ocena łącznej pojemności była wykonana prawidłowo a sok przepływa w sposób równomierny we wszystkich poszczególnych objętościach opisanych powyżej. Jeśli występuje duża różnica pomiędzy obliczeniami i pomiarami, oznacza to, że część strumienia soku pozostaje dłuższy

czas w wysokiej temperaturze z podwyższonym prawdopodobieństwem powstawania substancji barwnych.

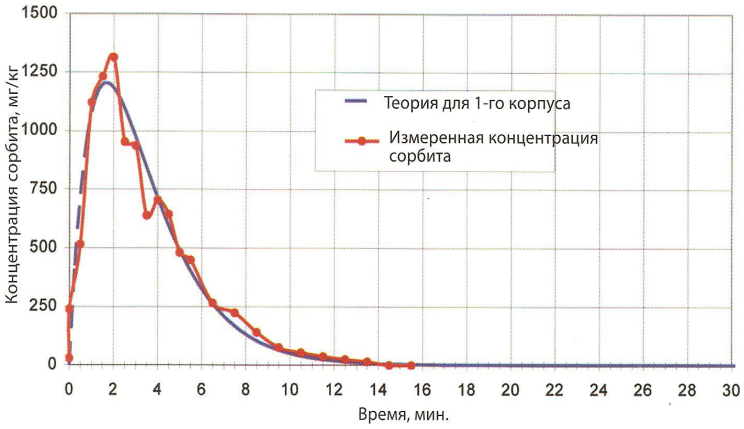
Rys. 5 przedstawia rozkład czasu przebywania w 6 dziale, który jest ostatni dziełem tej wyparki.

(Rozkład czasu przebywania w działach od 2 do 5 określono również, ale tutaj nie są one pokazane). Zwiększenie zmierzonego stężenia sorbitolu występuje później niż teoretycznego.

Świadczy to o tym, że wyparki ze opadającą warstwą soku nie są aparatami o idealnym mieszaniu. W takich urządzeniach stężenie sorbitolu na wlocie jest zawsze równe stężeniu na wylocie i nie ma oddzielnych stref na wlocie i wylocie.

W wyparce opadowej sok wchodzi do zbiornika i cyrkuluje w rurze cyrkulacyjnej, rozdzielaczu soku oraz rurkach grzejnych i przechodzi w strefę wyjścia , która jest oddzielona od wlotu. Odchylenie zmierzonej wartości stężenia sorbitolu od teoretycznej przedstawione na Rys. 5 jest znaczne, ale nie ma dowodów na występowanie stref zastoin w wyparce. W przypadku przerzutów i zastoin pomiary stężenia sorbitolu wykazywałyby jego wcześniejsze zwiększenie i późniejsze obniżenie względem stężenia teoretycznego.

Stężenie sorbitolu [mg/kg]



----- teoria dla 1-go działu

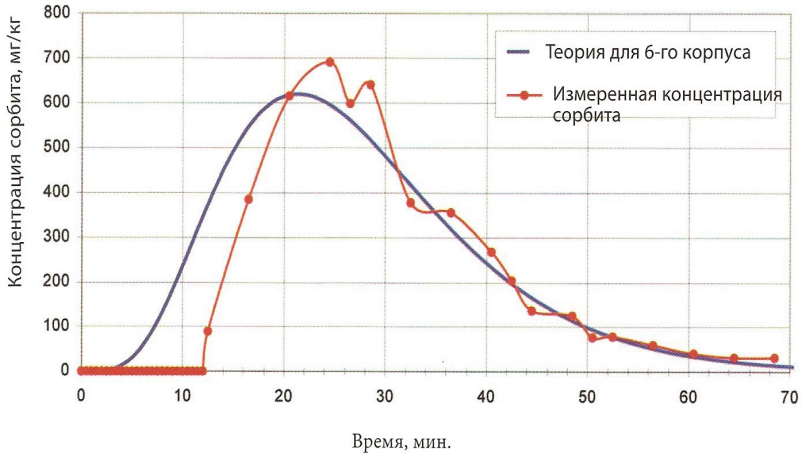
Czas, min

----- pomiary stężenia sorbitolu

Rys. 4. Porównanie teoretycznego i zmierzonego rozkładu czasu przebywania w pierwszym dziale

O problemie tworzenia się substancji barwnych w czasie odparowania- zagęszczania i o pomiarach rozkładu czasu przebywania informuje się w opracowaniu [11].

Stężenie sorbitolu [mg/kg]



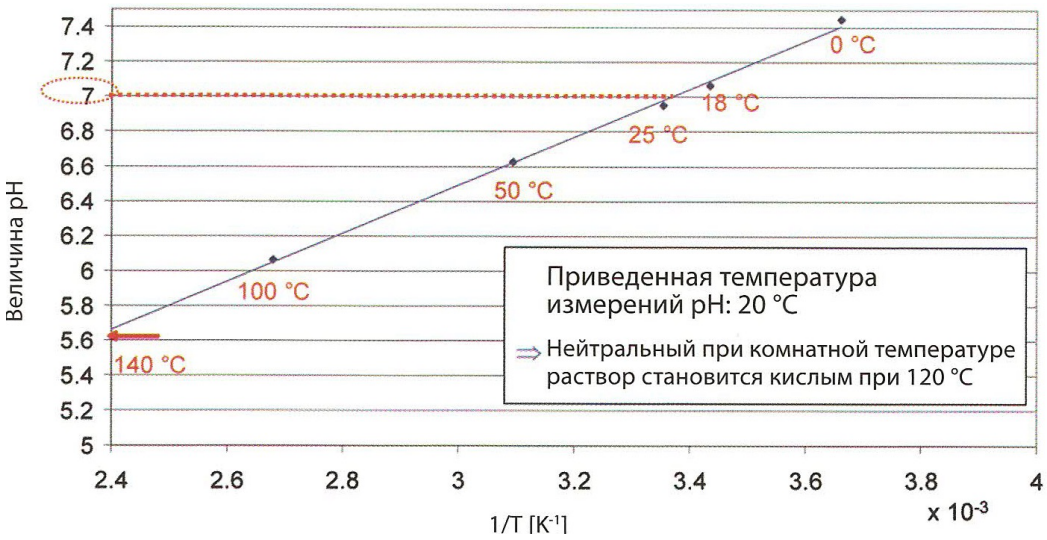
Czas, min

----- teoria dla 6-go działu

----- pomiary stężenia sorbitolu

Rys.5. Porównanie teoretycznego i zmierzonego rozdziału czasu przebywania w dziale szóstym

Wielkość pH



wskazana temp. pomiaru pH: 20 ^{o}

=>roztwór obojętny przy pokojowej temp. staje się kwaśnym przy 120 ^{o}C

Rys.6. Zależność pH od temperatury dla czystej wody

4. Aspekty chemiczne

4.1 Zależność wielkości pH od temperatury w czystej wodzie.

Wpływ temperatury na wartości pH czystej wody, jest dobrze znany [12]. Na rys.6 oś X pokazuje odwrotność temperatury bezwzględnej, a oś Y - wartość pH. Wykres ten pokazuje, że roztwór obojętny (pH = 7 linia czerwona w temperaturze 20 ° C) staje się kwaśnym w temperaturze 120 ° C (pH = 5,8). W związku z tym, biorąc pod uwagę warunki reakcji tworzenia się substancji barwnych ważne jest, aby mieć dobry zapas zasadowego buforowania soku.

4.2 Związki lotne

Więcej niż 90% związków lotnych zostaje usunięta z soku w pierwszym i drugim dziale wyparki (patrz [1]). Stosunek molowy NH_3 / $C0_2$ określa zmiany pH podczas odparowania soku. Zmiana pH zależy pojemności buforowej soku , która jest określona głównie zawartością aminokwasów .

4.2.1 Zachowanie się soli amonowych po oczyszczaniu soku

Zawarte w soku oczyszczonym związki przy odparowanie rozkładają się na amoniak i na H^+.

$$NH_4^{+}\ \text{część anionowa} \xrightarrow{\text{odparowanie}} NH_3 \uparrow + H^+ + \text{część anionowa}$$

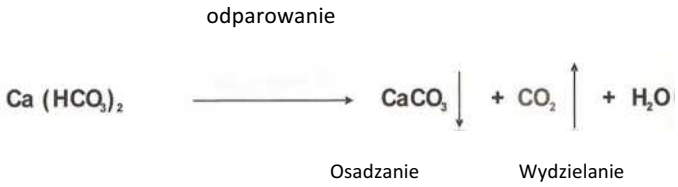
Według takiego mechanizmu maleje wielkość pH po wyparce (patrz [1])

4.2.2 Zachowanie się nie usuniętej glutaminy

Rozpad glutaminy przy odparowaniu powoduje powstawanie niewielkich ilości amoniaku. Produkt podstawowy to lekko kwaśny amid amonowy (kwas pirolidynowy;prolina) i małe ilości kwasu glutaminowego. Rozpad glutaminy również zmniejsza wartość pH (por. [1]).

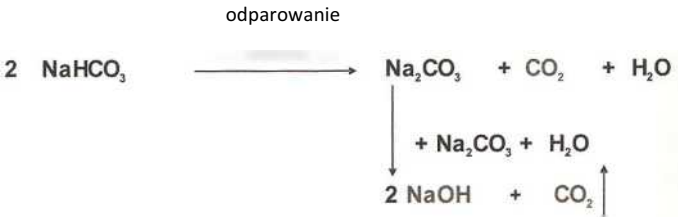
4.2.3 Zachowanie się wodorowęglanów po saturacji

Wodorowęglany mogą reagować w dwóch kierunkach: w pierwszej reakcji kwaśny węglan wapnia wytrąca się podczas odparowywania w postaci węglanu wapnia z wydzieleniem się $C0_2$ i wody.



Ta reakcja prowadzi do powstawania kamienia podczas zagęszczania soku.

Według mechanizmu drugiej reakcji, w warunkach odparowania, z wodorowęglanu sodowego w oczyszczonym soku w pierwszym etapie powstaje węglan sodu, woda i $C0_2$. W drugim etapie, węglan sodu reaguje wodą z powstawaniem sody kaustycznej:



Powstający produkt jest silnie zasadowy i powoduje podwyższenie pH.

4.3. Wpływ temperatury i wielkości pH na szybkość hydrolizy sacharozy

Rys. 7 był opublikowany przez Athenstedta[12] w 1963 r. Czerwona linia pokazuje górny przedział temperatury dla wyparki. Różnica w szybkości hydrolizy sacharozy w roztworze cukru w zakresie pH = 8,6 i pH = 11 wynosi około 45%.- w tym przykładzie, w stałej temperaturze 127 ° C,

Rys. 8 przedstawia wpływ wartości pH, z uwzględnieniem temperatury, na szybkość hydrolizy sacharozy. Wykres przedstawia wyniki uzyskane przez różnych autorów, którzy prowadzili

pomiary przy różnych wartościach pH i temperatury. Minimalna szybkość hydrolizy sacharozy jest prawie niezależna od temperatury przy pH = 8. Straty w wyniku hydrolizy w wysokiej temperaturze i niskim pH są wyższe niż straty w tej samej temperaturze i wysokim pH. Straty przy pH 5 i w temperaturze 130 ° C, to 32,8%, a straty w tej samej temperaturze, ale przy pH = 11 wynoszą 11,8%.

5. Aspekty praktyczne, poszukiwanie i usuwanie odchyleń technologicznych

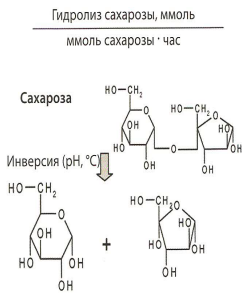
5.1 Charakterystyka termicznej niestabilności soku

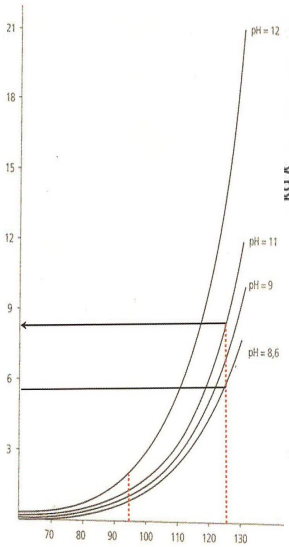
W warunkach termicznych stacji wyparnej sacharoza zawsze ulega rozłożeniu. Można zminimalizować straty, pod warunkiem krótkiego średniego czasu przebywania i wąskiej krzywej rozkładu czasu przebywania. Wartość pH oczyszczonego soku powinna mieścić się w zakresie od 8,5 do 9,5 przy występowaniu dużej alkaliczności naturalnej. Podczas odparowywania produkty rozkładu - glukoza i fruktoza nie są stabilne. Są ważnym źródłem powstawania substancji barwnych. Ich stężenie określa szybkość wzrostu zabarwienia.

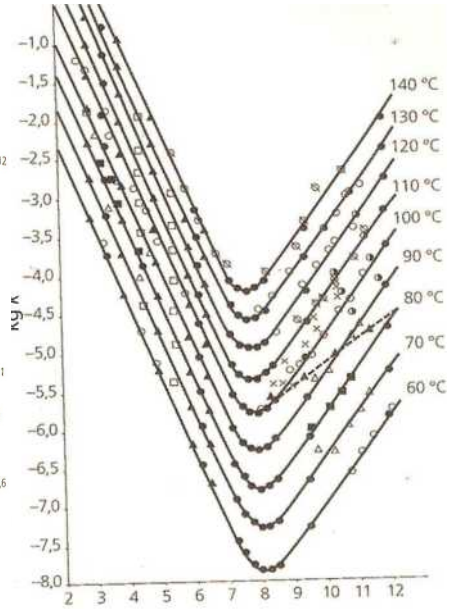
Hydroliza sacharozy mmol/mmol sacharozy*h

Сахароза - sacharoza

Инверсия - Inwersja







Temperatura °C

Wielkość pH

Rys.7. Wpływ temperatury i pH na szybkość hydrolizy sacharozy

Rys.8. Wpływ temperatury i pH na stałą szybkości hydrolizy sacharozy

W Tab. 2 przedstawiono przegląd wartości pH i zawartości glukozy i fruktozy na etapach procesu produkcyjnego przerobu buraka od ekstrakcji do soku gęstego. Pomiary tych półproduktów były

prowadzone w tych cukrowniach, w których występowała termiczna niestabilność soku oczyszczonego dla danego okresu.

Oczyszczony sok posiadał pH = 9,3,zabarwienie 1100 IU i nie wykryto zawartości inwertu. W próbce soku gęstego z ustalonym pH = 8,4 stwierdzono przyrost zabarwienia w czasie odparowania- zagęszczania do 6000 IU W Tabl. 2 także widać, że wzrost zawartości glukozy i fruktozy nie jest stabilny.

Tabl. 2 Tworzenie się substancji barwnych w nie termostabilnym soku przy przerobie buraków.

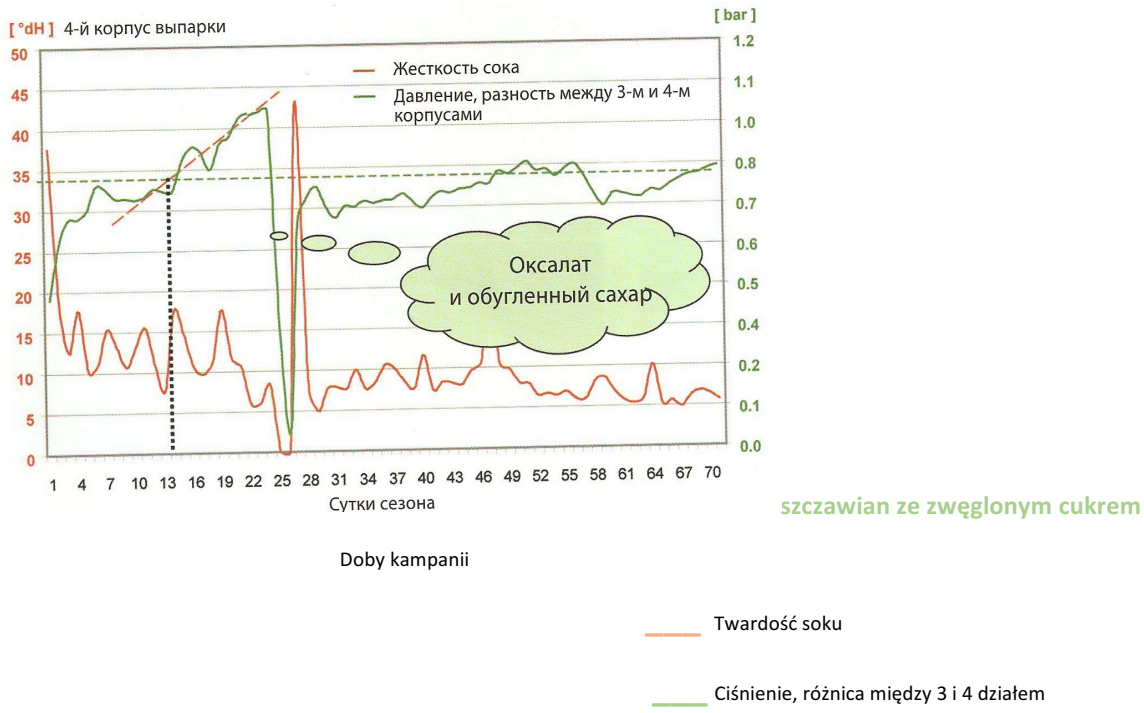
	Zawartość ss, %	Wielkość pH	Zabarwienie, IU 420	Zawartość glukozy % nb	Zawartość fruktozy % nb	Temperatura, °C
Sok dyfuzyjny	17,0	6,0		0,47	0,18	-
Defekacja wstępna	18,1	11,7		0,17	0,006	-
Defekacja główna	17,6	12,2		<0,01	<0,01	-
Sok oczyszczony 3	16,4	9,3	1392	0,02	0,01	-
Dział ze wstępnym odparowaniem	18,6	9,4	1497	0,05	0,02	103
Dział 1 A	21,7	9,5	1507	0,05	0,02	135
Dział 1 B	25,0	9,6	2312	0,08	0,04	135
Dział 2	28,5	9,4	3260	0,07	0,04	131
Dział 3	37,3	9,2	4056	0,08	0,05	127
Dział 4	47,6	9,0	5244	0,11	0,06	117
Dział 7 A	64,9	9,2	5783	0,12	0,06	98
Sok gęsty	71,9	8,4	5929	0,15	0,08	-

5.2 Tworzenie się kamienia kotłowego

Typowe substancje tworzące kamień kotłowy to kationy wapnia, magnezu, glinu, żelaza, potasu, sodu, oraz aniony węglanowe, szczawianowe, krzemianowe, siarczanowe lub fosforanowe. Jeśli nie chce się mieć żadnych problemów z tworzeniem się kamienia kotłowego podczas zagęszczania soku to jednym z rozwiązań może być sprawnie działająca instalacja zmiękczania soku (odwapnianie). Inną możliwością jest zastosowanie środka zapobiegającego odkładaniu się kamienia z dobrym układem sterowania dozowaniem. Większą skutecznością charakteryzuje się odwapnianie soku gdzie uwzględnia się także problemy mętności roztworów cukru. Przedstawia się dwa przykłady pokazujące problemy napotykane na wyparce. Rys. 9 pokazuje spadek ciśnienia pomiędzy 3 a 4-tym działem wyparki (prawa rzędna).

Twardość lub zawartość soli wapnia w oczyszczonym soku przedstawiono na lewej rzędnej. Na osi odciętych na rys. 9 odznaczono doby sezonu produkcyjnego. Na początku sezonu spadek ciśnienia rośnie do normalnej wartości od 0,7 do 0,8 bar. Po 14 dniach spadek ciśnienia wzrasta do 1 bara i więcej. Ciśnienie rośnie coraz bardziej, aż nie pojawi się konieczność zatrzymania fabryki dla oczyszczenia 3-go i 4-go działu wyparki. W tym przypadku stwierdzono obecność dużych ilości zwęglonego cukru a w osadzie szczawianu wapnia. Po oczyszczeniu instalacja pracowała prawidłowo do końca sezonu. W tej cukrowni nie stosuje się zmiękczania.

4 dział wyparki



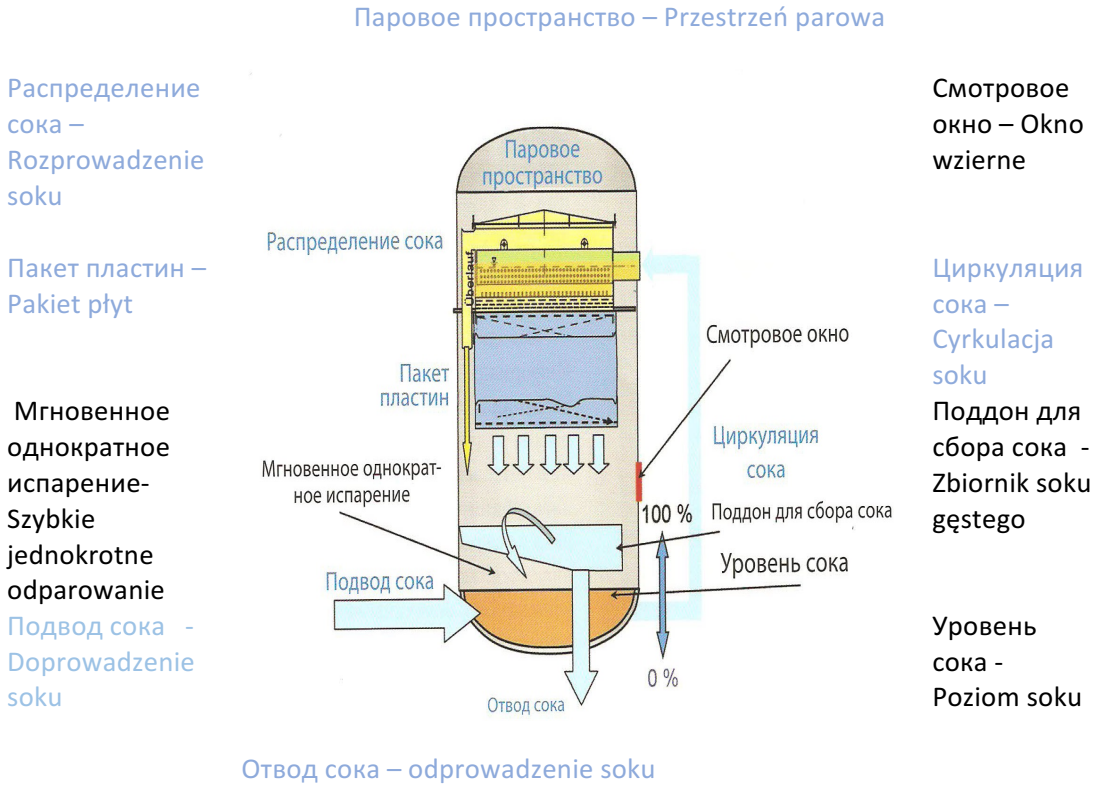
Rys. 9. Spadek ciśnienia pary grzejnej i zawartość soli wapnia w 4 dziale.

5.3 Zakłócenia pracy wynikające z nieprawidłowych parametrów eksploatacji

Rys. 10 przedstawia schematycznie wyparkę opadową. Rozprowadzenie soku przedstawiono na żółto. Widać cyrkulację soku, doprowadzenie i odprowadzenie soku do następnego działu, zbiornik soku zagęszczonego, pakiet płyt i poziom soku w urządzeniu. Okno wzierne znajduje się pomiędzy zbiornikiem soku i pakietem płyt.

Rys. 11 przedstawia dane z automatycznego systemu sterowania procesem produkcyjnym. Pokazuje poziomy soku w wyparce ze ściekającą warstewką cieczy obserwowane przez trzy kolejne sezony (od 2001 do 2003 roku). Pomiary przeprowadzone w ciągu ostatnich trzech lat przy tych samych wartościach zadanych. Poziom przedstawia niebieska krzywa. W pierwszym roku, średnio wynosił od 55% do 60%.

Kolejny sezon rozpoczęto z poziomem 75% soku, a podczas sezonu wzrósł on do 83%, zaś w ostatnim sezonie rozpoczęto od poziomu (czerwona krzywa) 85%. Po 90 dniach pracy zbiornik soku został uszkodzony ponieważ poziom soku był tak wysoki, że nie było żadnego odstępu pomiędzy poziomem soku i poziomem w zbiorniku odbiorczym soku. Szybkie, chwilowe, jednokrotne odparowanie spowodowało zniszczenie części zbiornika soku po 90 dniach eksploatacji. Po otwarciu aparatu znaleziono dużą ilość zwęglonego cukru: nie tylko na dnie aparatu wyparnego ale także na układzie rozprowadzenia soku. Ten przykład powinien zmusić każdego operatora wyparki do przemyślenia sprawy poziomów w urządzeniach, na ile wysoki poziom soku w dolnej części wyparki wiąże się także z długim czasem przebywania i tworzeniem się substancji barwnych.



Rys. 10. Uproszczony przekrój poprzeczny wyparki opadowej [14,15]

5.4 Zwilżalność

Analizując parametry eksploatacyjne należ rozpatrzeć także stopień zwilżalności w aparatach wyparnych opadowych.

Stopień zwilżenia jest zdefiniowany jako stosunek objętościowego natężenia przepływu soku w rurze lub na wylocie z pakietu do całkowitej długości poziomej zwilżonych płytek (= szerokość) albo odpowiednio do obwodu wszystkich rurek.

Rys. 12 przedstawia dwa przypadki: normalna grubość warstewki przy racjonalnej eksploatacji i warstewka cieczy , która jest tak cienka, że część powierzchni grzewczej jest sucha. W tych obszarach suchych następuje zwęglenie sacharozy. Dla wyparek rurkowych z opadającą warstewką cieczy stopień zwilżania powinien wynosić od 8 do 12 l/h * cm, a dla wyparek płytowych stopień zwilżenia od 2,5 do 4 l / h *cm . Wartości poniżej 6 dla rurek i 1,5 na płytkach są niebezpieczne: osadzanie się kamienia, przypalanie cukru i powstawanie substancji barwnych to prawdopodobne skutki.

We wcześniejszych publikacjach (na przykład [17]), stopień nawilżenia 0,7 l / godzinę • cm został uznany za wystarczający dla aparatów wyparnych opadowych.

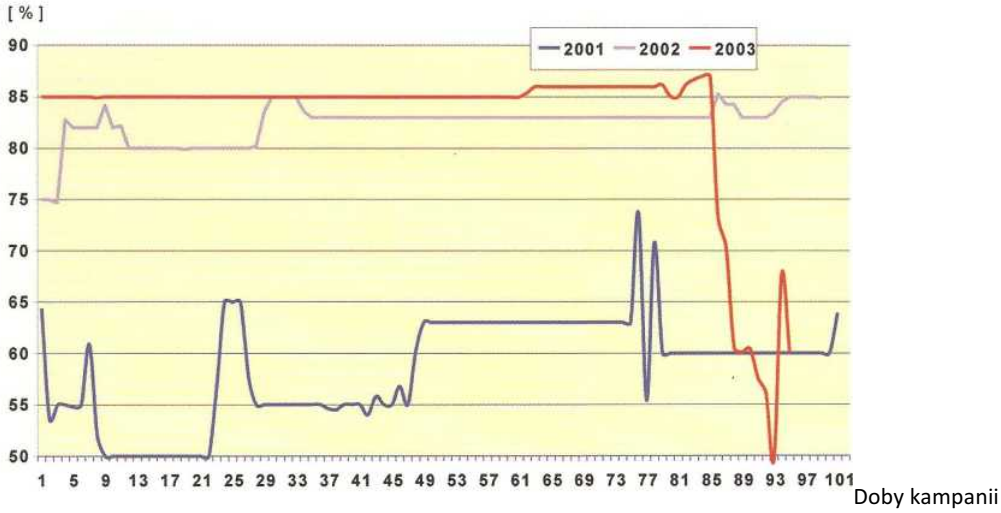
W nowszych informacjach dostawców proponowany jest minimalny stopnia zwilżania równy 2,5 l / h ■ cm. Przy wysokich stężeniach ten typ wyparek jest wrażliwy na gwałtowne zmiany w odbiorze pary wtórnej, które występują przy pracy z warnikami periodycznymi. Lorenz opisuje i wyjaśnia to zjawisko [18].

5.5 Ciągłe monitorowanie danych analitycznych

Niektóre składniki oczyszczonego soku i soku gęstego są regularnie określane analitycznie. Porównanie tych danych dla soku oczyszczonego i soku gęstego jest przydatne do monitorowania i zrozumienia pracy wyparki. Konieczne jest monitorowanie różnicy pomiędzy pH oczyszczonego soku i soku gęstego. Twardość lub zawartości wapnia w obu półproduktach potrzeba oznaczać i stale monitorować. Na tej podstawie możemy obliczyć twardość (wapniową i magnezową), wchodzącą i wychodzącą z wyparki. Jeżeli różnica jest zbyt wysoka, to mówi to o osadzanie kamienia kotłowego. Ważne jest również, aby znać zawartość cukru inwertowanego i stężenia glutaminy. Wpływ na powstawanie substancji barwnych ma również wiele innych parametrów: należy koniecznie kontrolować zawartość cukru inwertowanego i glutaminy w sokach stacji dyfuzji, defekacji głównej, pierwszej i drugiej saturacji. W sokach saturowanych koniecznym jest określenie mętności.

5.6 Praca stacji wyparnej

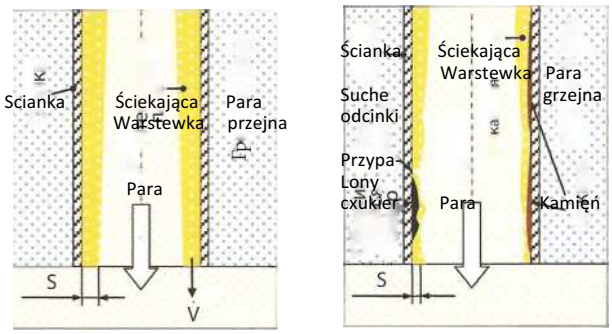
Informacje na temat temperatury lub ciśnienia, w każdym dziale, dane odnośnie przepływu masowego i analizy (zawartość suchej substancji) pozwalają na obliczenia współczynnika przewodności cieplnej w każdym dziale. Wartości te są wskaźnikami osadzania kamienia. Jeżeli wartości są niskie, konieczne jest sprawdzenie twardości soku, ilości kwasu krzemowego w mleku wapiennym, alkaliczności soku oczyszczonego i dozowania środka zapobiegającego odkładaniu się osadu na powierzchni grzejnej. Wszystkie te parametry wpływają na współczynnik przenikania ciepła, na rozkład temperatury na stacji wyparnej, a ostatecznie na tworzenie się substancji barwnych.



Rys. 11. Poziom soku w wyparce płytowej ze spływającą warstewką soku

Stopień zwilżenia= U/V

V = przepływ soku na wylocie z płyt
U – długość zwilżonych płyt lub obwód wszystkich rurek



Zalecany stopień zwilżenia

Rurki	8-12 l/h■ см
Płyty	2,5-4 l/h ■ см

Niebezpieczeństwo kamienia i przypaleń cukru
Poniżej 6 l/h ■ см
Poniżej 1,5 l/h ■ см

Rys. 12. Warstewka soku na powierzchniach grzejnych i zalecenia dla stopni zwilżania w wyparkach rurkowych i płytowych z opadającą warstewką cieczy **[16] (Źródło: firma CEA Ecoflex)**

Na czas przebywania ma wpływ poziom soku w aparacie, szybkość przepływu soku cyrkulującego (stopień zwilżania), przepływ masowy przez wyparkę i rozprowadzenie soku. Przykłady nieprawidłowego działania zostały przedstawione powyżej. Po zakończeniu kampanii koniecznym jest znalezienie stref martwych w urządzeniu i czyszczenie wyparnych aparatów.

5.7 Wybrane koncepcje odnośnie procesu „defekacji głównej”

Podczas "głównej defekacji" rozkład amidów, zmniejszenie zawartości cukru inwertowanego i amoniaku powinny być tak duże jak to możliwe dla uzyskania soku możliwie termostabilnego. Jest to absolutnie konieczne dla zmniejszenia przyrostu zabarwienia na wyparce. Z jedną uwagą: dotyczy to tylko cukrowni z tradycyjnym oczyszczaniem soków bez sulfitacji i roli SO_2 jako inhibitora w tym procesie. Druga saturacja powinna zapewnić całkowite usunięcie soli wapnia z oczyszczonego soku z optymalną alkaliczność i pH w zakresie od 8,5 do 9,5. Sok powinien być przezroczysty , co oznacza całkowite oddzielenie osadu.

Jeżeli wymogi te są spełnione, to osiągnie się warunki do uniknięcia osadzanie się kamienia i minimalnego zabarwienia soku.

Symbole i indeksy

C_0	Początkowe stężenie znacznika-trasera kg/m^3
Cn(t)	Stężenie znacznika w aparacie w czasie t, kg/m^3
En(t)	Rozkład czasu przebywania w n-m aparacie
i,k,n,m	Indeks dla liczby aparatów w wyparce
K	Stała
Out	Wyjście (indeks)
R	Aparat (indeks)
$\bar{t}$	Czas, s
$t_{t,n}$	Średni czas przebywania, s
V'	Przepływ, m^3/s
V_R	Objętość aparatu wyparnego m^3

Podziękowania

Autorzy są wdzięczni wszystkim kolegów z firmy Pfeifer & Langen, za pomoc w przygotowaniu artykułu.

Literatura

1 *Poel, P.W. van der; Schiweck, H.; Schwartz, T.* (1998): Sugar Technology.Verlag Dr. A. Bartens, Berlin
2 *Imming, R.; Bliesener, K.-M.; Buchholz, K.* (1994): Chemische Grundlagen der Farbstoffbildung in hochkonzentrierten Saccaroselösungen, Zuckerind. 119, 915–919
3 *Kroh, L.; Fiedler, T.; Wagner, J.* (2007): The formation of colored compounds in technical sucrose solution – new knowledge about their molecular basics and molecular size distribution. Sugar Industry/Zuckerind. 132, 25–32
4 *Kroh, L.*(1994): Caramelization in Food and Beverages. Food Chemistry 51, 373–379
5 *Vukov, K.; Patkai, G. (1981):* Rechnerische Methode zur Ermittlung der äquivalenten Wärmeeinwikungszeiten für den Zuckerabbau in Säften. Z. Zuckerind. 106, 314–318
6 *Smejkal, Q.; Schick, R.; Fleischer, L-G. (2008):* Reaktionskinetische Aspekte der Farbbildung in technischen Saccharoselösungen. Sugar Industry/Zuckerind. 133, 144–148
7 *Grassmann, P. (1967):* Einführung in die Thermische Verfahrenstechnik. De Gruyter, Berlin
8 *Perry, R.H., et al. (1997):* Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7th ed. McGraw-Hill, New York (Section 23: Chemical Reactors)
9 *Baloh, A. (1991):* Energiewirtschaft in der Zuckerindustrie. Verlag Dr. A. Bartens, Berlin
10 *Bruhns, M.; Sittel, G.; Schulze, T. (1992):* Verweilzeitmessung an kontinuierlich arbeitenden Verdampfungskristallisatoren. Zuckerind. 117, 461–465
11 *Bruhns, M.; Bongers, U. (2004):* Bericht über die Rübenkampagne 2003 – VDZ, Zweigverein Mitte. Zuckerind. 129, 333–342
12 CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Boca Raton
13 *Athenstedt, M. (1963):* Über die Saccharosezersetzung in alkalischer Lösung. Z. Zuckerind. 13, 563–565
14 GEA-PHE EVAplus, Evaporation Technology. http://www.gea-phe.com/themes/applications/sugar/
15 *Niepoth, K. (2005):* Spezielle Erfahrungen mit Fallfilm-Palttenverdampfapparaten in der Zuckerindustrie. Sugar Industry/Zuckerind. 130, 16–20
16 *Niepoth, K.:* GEA; persönliche Mitteilung
17 *Morgenroth, B., et al. (1998):* Die neue Platten-Fallfilmverdampfungstechnik in der Zuckerfabrik Hohenau – Technische Abwicklung und Betriebsergebnisse. Zuckerind. 123, 597–606
18 *Lorenz, F. (2007):* Erfahrungen mit Fallfilm-Plattenverdampfapparaten: Südzucker AG. Sugar Industry/Zuckerind. 132, 9–16

Adresy autorów:

Dr. Martin Bruhns, Wolfgang Klosterhalfen, Entwicklung/Technologie/Analytik, Pfeifer & Langen GmbH & Co. KG, Werk Elsdorf, Dürener Str. 40, 50189 Elsdorf, Germany; e-mail: Martin.Bruhns@pfeifer-langen.com