

System nadzoru procesu krystalizacji cukru oparty na analizie przesylenia prowadzący do oszczędności energii i wody.

Jakab Rózsa¹, Matej Rukavina¹, Josef Jurecek²

¹ Zutora Kft., Budapest, Hungary; ² Chromservis s.r.o. Prague, Czech Republic
contact: jakab.rozsa@zutora.com

Abstract

System nadzoru procesu krystalizacji cukru oparty na analizie przesylenia został z powodzeniem wprowadzony w wielu cukrowniach na całym świecie. Liczne referencje pokazują, że ten sposób nadzoru nad procesem powoduje znaczne polepszenie parametrów jakości kryształów cukru oraz lepszym uzyskiem produktu niż tradycyjne metody zarządzania procesem. Jednocześnie przynosi dodatkowe korzyści, na przykład lepszą efektywność energetyczną i mniejsze zużycie wody.

Urządzenie Zutora SeedMaster-4 zostało zaprojektowane tak, aby monitorować i sterować przesyleniem podczas całego procesu krystalizacji cukru, aby umożliwić operatorom osiągnięcie wszystkich tych korzyści.

Słowa kluczowe: przesylenie, Zutora, SeedMaster, nadzór nad krystalizacją, szczepienie, rozkład wielkości kryształów, granulometria, efektywność energetyczna, zużycie wody

1 Przesycenie

Przesycenie jest siłą napędową krystalizacji i dlatego jest jej najważniejszym parametrem. Jest to ściśle właściwość fazy ciekłej i jest zdefiniowana jako:

$$\text{Przesycenie} = \frac{\text{zawartość cukru w roztworze} \left(\frac{g}{100 g \text{ wody}} \right)}{\text{ilość cukru potrzebna do nasycenia roztworu} \left(\frac{g}{100 g \text{ wody}} \right)} \quad (\text{obie wielkości w tej samej temperaturze})$$

W tym równaniu licznik zależy od stężenia syropu (C) i czystości (P). Mianownik zależy od temperatury (T), czystości (P) i parametrów jakości syropu (m, b, c).

Widać więc, że przesycenie jest funkcją kilku parametrów

$$\text{Przesycenie} = f(C, P, T, m, b, c)$$

Ponieważ przesycenie zależy od tych wszystkich parametrów, pomiar tylko jednej zmiennej w roztworze cukrzycy nie umożliwi w pełni jego kontroli.

2 Dlaczego przesycenie jest tak istotne?

Przesycenie syropu międzykryształowego wpływa na szybkość wzrostu kryształów. Jeśli wartość przesycenia jest niska, kryształy nie będą rosły. W skrajnych przypadkach ($< 1,0$) kryształy rozpuszczają się. Aby wyhodować kryształy, przesycenie powinno wynosić powyżej 1,035 w typowych roztworach cukru. Wyższe przesycenie prowadzi do szybszego wzrostu kryształów.

Jednakże zbyt wysokie wartości przesycenia mogą powodować poważne problemy z jakością produktu i wydajnością. Nadmierne przesycenie powoduje spontaniczne zarodkowanie, narodziny nowych kryształów w cukrzycy. Jest to także główna przyczyna powstawania konglomeratów. Wprowadzając do cukrzycy pył i konglomeraty, nadmierne przesycenie prowadzi do gorszej jakości produktu (złe parametry MA i CV rozkładu wielkości kryształów). Ile to jest „nadmiar”? Zależy to od kilku parametrów cukrzycy, w szczególności od czystości (P) i temperatury (T). Według Saski [1] krytyczne granice przesycenia w różnych temperaturach przedstawiono na rysunku 1

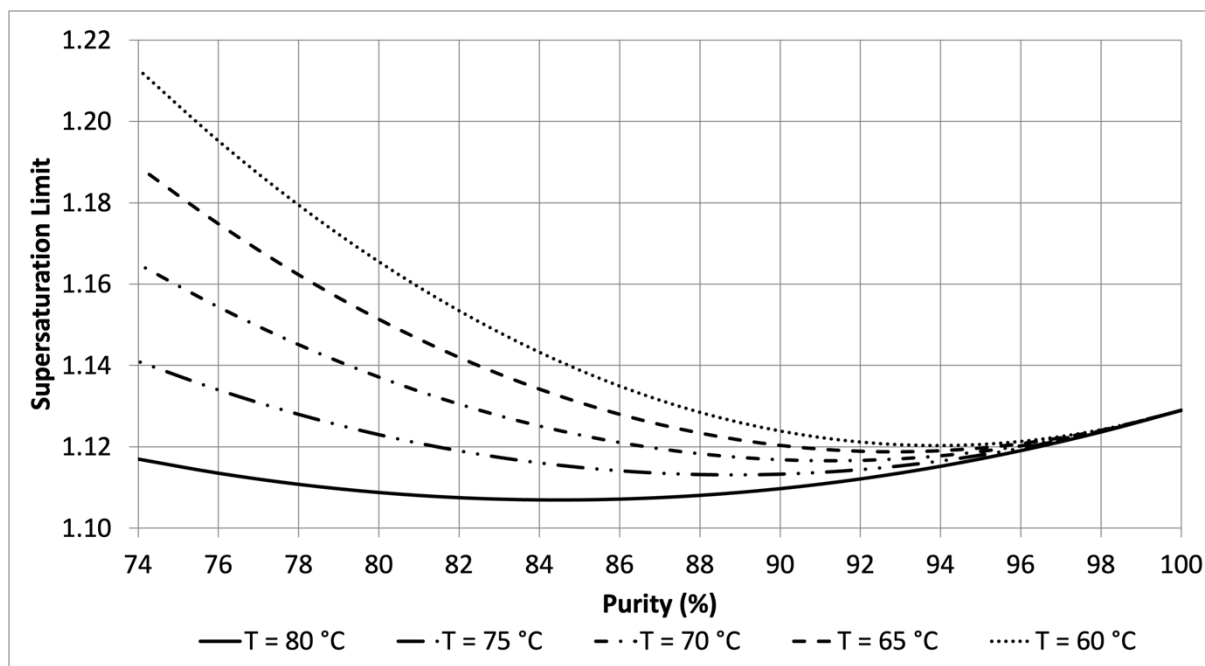


Figure 1. Krytyczne granice przesycenia w zależności od stopnia czystości i temperatury wg Saska [1]

Aby zapewnić optymalne środowisko do wzrostu kryształów, przesycenie powinno być jak najwyższe, ale nie przekraczające granicy krytycznej. Przesycenie powinno być utrzymywane w optymalnym zakresie przez cały cykl. Wymaga to zaawansowanego systemu kontroli.

3 Sterowanie procesem w oparciu o przesycenie.

Jak omówiono powyżej, przesycenie jest funkcją kilku parametrów. Aby utrzymać go w zakresie optymalnym dla wzrostu kryształów, musimy kontrolować te parametry. Tylko niektóre z najważniejszych parametrów mogą być skutecznie kontrolowane w warniku, ale wszystkie z nich muszą być monitorowane:

- Stężenie syropu można zwiększyć poprzez odparowanie (para) i zmniejszyć poprzez dodanie większej ilości syropu do warnika (nigdy nie należy używać do tego celu wody).
- Temperatura cukrzycy może być sterowana poprzez podciśnienie. Oczywiście dodawanie pary i syropu będzie również wpływało na temperaturę cukrzycy.
- Czystość musi być dokładnie monitorowana, ale nie ma możliwości jej sterowaniem. Krystalizacja jest procesem oczyszczania, gdy cukier przeobraża się w kryształy, podczas gdy inne nieczystości pozostają w syropie międzykryształowym powodując obniżenie jego stopnia czystości. Aby określić dokładne dane przesycenia, należy uwzględnić tę zmianę stopnia czystości.
- Parametry jakości syropu m , b i c nie ulegają zmianie podczas cyklu. Nie można na nie wpłynąć, ale muszą być znane by otrzymać dokładny sygnał o przesyceniu.

Podsumowując, przesycenie może być sterowane w cyklu poprzez zawiadywaniem stężenia i temperaturę. Może to być realizowane poprzez system, który steruje parą, podciśnieniem i dopływem syropu. Choć nie mamy wpływu na stopień czystości syropu, jego wartość musi być znana i monitorowana.

Skuteczny system zawiadujący procesem krystalizacji musi uwzględniać wszystkie parametry mające wpływ na przesycenie. System SeedMaster, opracowany przez firmę Zutora spełnia te wymogi i pracuje w ponad 30 krajach.

4 Wpływ na zużycie wody

Gdy przesycenie nie jest prawidłowo kontrolowane, w cukrzycy końcowej często występuje duża liczba drobnych cząstek. W wielu cukrowniach i rafineriach powszechną praktyką jest używanie wody do „zmywania” cukrzycy, co oznacza, że do warnika dodaje się wodę w celu rozpuszczenia pyłu. Woda ta oczywiście rozpuszcza również część cukru z powierzchni większych kryształów, ale nie rozpuszcza ich całkowicie. Należy zawsze unikać tej praktyki, nie tylko ze względu na dodatkowe zużycie wody, ale głównie dlatego, że przynosi ona całkowicie odwrotny skutek: podczas krystalizacji zużywamy dużą ilość energii na odparowanie wody i przekształcenie rozpuszczonego cukru w fazę krystaliczną. Przy płukaniu postępujemy dokładnie odwrotnie. Dodaną wodę należy ponownie odparować, a świeżo rozpuszczony cukier ponownie skrystalizować (zużyte zostanie więcej energii). Najlepiej jest w pierwszej kolejności unikać tworzenia się drobnych cząstek i nie wypłukiwać ich na koniec.

Drugą kwestią, na którą należy zwrócić uwagę w zużyciu wody, jest ilość wody używanej do przemywania kryształów w wirówkach. Kryształy w wirówkach są myte w celu usunięcia resztek syropu z ich powierzchni. Jeżeli w partii załadowanej do wirówki znajduje się dużo drobnych kryształów, całkowita powierzchnia kryształów jest znacznie większa w porównaniu z przypadkiem, w którym rozkład wielkości kryształów jest optymalny. Powoduje to znacznie większą ilość wody potrzebnej do wypłukania całego syropu.

Konglomeraty mogą również powodować nadmierne zużycie wody do mycia: syrop często zostaje uwięziony wewnątrz konglomeratu i nie można go zmyć (ponieważ nie znajduje się na powierzchni). Ten uwięziony syrop powoduje intensywniejszą barwę, gdy jest mierzony w laboratorium lub na linii produkcyjnej. Intensywniejszy zmierzony kolor będzie skutkować dodatkowym płukaniem.

5 Wpływ na efektywność energetyczną.

Całe dodatkowe płukanie – albo „płukanie” cukrzycy w warniku, albo płukanie kryształów w wirówkach, albo jeszcze później – oznacza rozpuszczenie już wykrystalizowanego cukru. Ten rozpuszczony cukier jest poddawany recyklingowi i ponownie krystalizowany. Jest to oczywiście ogromna strata energii, którą można znacznie zmniejszyć, wytwarzając produkt krystaliczny o lepszym rozkładzie wielkości.

Kontrolowanie przesycenia podczas krystalizacji może jednak zapewnić także inną poprawę efektywności energetycznej. Prawie we wszystkich przypadkach występują niedoskonałości w tradycyjnym sterowaniu warnikiem, które prowadzą do nadmiernego przesycenia, a także marnowania energii. Najbardziej krytyczna faza procesu krystalizacji ma miejsce w momencie zaszczepienia i tuż po nim. Bardzo typowe jest tutaj przekroczenie przesycenia. Szczególnie, jeśli do zaszczepiania używana jest zawiesina i na krótki (10-20 minut) czas, zawór zasilający jest zamknięty, aby pomóc w tworzeniu się kryształów. W tym okresie stężenie syropu międzykryształowego może bardzo szybko wzrosnąć, ponieważ:

- Szybkość parowania jest dość wysoka, ponieważ często stosuje się zbyt dużo pary, aby przyspieszyć fazę zagęszczania przed szczepieniem, i chociaż po szczepieniu para może zostać zmniejszona, ale ma to duże opóźnienie i czas martwy, więc efekt ograniczenia pary zadziała dopiero później
- Ogólna powierzchnia kryształu w tym momencie jest jeszcze za mała. Oznacza to, że istnieje tylko niewielka powierzchnia, na której sacharoza może przejść z fazy ciekłej do fazy krystalicznej. Tak więc, chociaż proces krystalizacji zmniejsza stężenie syropu międzykryształowego, zaraz po zaszczepieniu przebiega to stosunkowo powoli.
- Do warnika nie jest dodawany syrop. Syrop zasilający ma niższe stężenie niż już zagęszczona cukrzyca w warniku, więc gdy dostanie się do warnika, skutecznie zmniejsza przesycenie. Jednak zaraz po szczepieniu do warnika nie jest wprowadzany żaden syrop, aby zapewnić bezpieczeństwo kryształów zawiesiny (syrop o niskim stężeniu mógłby je rozpuścić).

Opisanego powyżej przekroczenia przesycenia można bardzo skutecznie uniknąć poprzez zmniejszenie ilości pary w fazie zagęszczania. Spowoduje to nieco dłuższe partie (zazwyczaj 10-15 minut dłużej), ale zalety są znaczące:

- Doprowadzi to do lepszej jakości kryształów, eliminacji drobnych cząstek i konglomeratów, ze wszystkimi wcześniej omówionymi korzyściami.

- Większy uzysk kryształów (z jednej partii można zebrać więcej cukru).
- Niższy współczynnik recyrkulacji.
- Zmniejszone zużycie pary w fazie zagęszczania
- Zmniejszone zużycie wody w wirówkach

6 Bibliografia

[1] M. Saska: Boiling point elevation of technical sugarcane solutions and its use in automatic pan boiling, International Sugar Journal Vol. 104 (2002), 1247 pp 500-507