

# Zabezpieczenie przed awarią kotła oraz turbiny parowej w cukrowni poprzez ciągłe monitorowanie zawartości sacharozy w kondensacie

*Przerób buraków cukrowych w trakcie kampanii zajmuje zwykle od 3 do 4 miesięcy w roku. Jest to intensywny czas wyťažonej pracy całego zakładu, a każda awaria może powodować ogromne straty. Z tego względu stosowanie urządzeń pomiarowych umożliwiających wczesne wykrycie zagrożeń mogących doprowadzić do przestojów wydaje się być na wagę złota. Jednym z takich niewralgicznych miejsc jest kontrola kondensatu na zawartość sacharozy. W niniejszym artykule przybliżę metodę, która zapewnia natychmiastową, bezpośrednią i wiarygodną informację o minimalnych zawartościach sacharozy w kondensacie.*

## SACHAROZA I PARA

Zanim powstanie cukier konieczne jest przeprowadzenie procesu ekstrakcji sacharozy z buraków lub trzciny cukrowej. W wyniku tego procesu otrzymujemy półprodukt nazywany sokiem/syropem. Następnie poprzez kolejne etapy produkcji sok ten doprowadzany jest do stanu, z którego w procesie krystalizacji w warkach otrzymujemy pożądane kryształki. Na wielu etapach tego procesu produkcyjnego wykorzystywana jest para. Generuje to ryzyko, iż w przypadku powstania nieuszczelnności na instalacji dojdzie do przerzutu sacharozy do pary, a w efekcie, po jej skropleniu, do kondensatu. W cyklu zamkniętym, w którym kondensat wędruje do walczaka kotła parowego, sacharoza, która dostawała się do medium może powodować oblepianie rurek w walczaku lub na sitach parowych, doprowadzając do awarii i przestoju całego zakładu. Stanowi to jedną z najważniejszych awarii w przemyśle cukrowniczym.

Aby nie doprowadzić do uszkodzenia kotła lub turbiny niezbędna jest kontrola poziomu zawartości sacharozy w kondensacie. Zastosowana do tego celu metoda pomiarowa powinna charakteryzować się wysoką czułością oraz szybkim czasem odpowiedzi. W różnych normach można doszukać się różnych wartości mówiących o dopuszczalnych wartościach sacharozy w kondensacie. Aby nie wprowadzać zamieszania należy uznać, iż w warunkach optymalnych stężenie sacharozy w kondensacie nie powinno przekraczać 1 ppm. Jednocześnie czas odpowiedzi układu powinien być możliwie najkrótszy, tj. liczony w pojedynczych sekundach. Tyle teorii, a w praktyce to właśnie znalezienie złotego środka – kompromisu pomiędzy szybką reakcją, a niskim punktem detekcji staje się nie lada wyzwaniem.

Zaproszenie do współpracy w zakresie znalezienia odpowiedniej metody pomiarowej oraz przeprowadzenia testów otrzymaliśmy z Cukrowni w Kruszwicy należącej do Krajowej Spółki Cukrowej S.A. Poszukując rozwiązania dla tak postawionych wymagań naszą uwagę skierowaliśmy na fotometryczny pomiar barwy kondensatu bezpośrednio na instalacji. Metoda ta jest właśnie takowym złotym środkiem – zapewnia szybki czas reakcji przy zachowaniu akceptowalnego poziomu czułości. Duże znaczenie dla Cukrowni miał również fakt, że, w odróżnieniu od innych metod, fotometry nie wymagają skomplikowanej obsługi i dodatkowych części eksploatacyjnych.

Najodpowiedniejsza do tego celu okazała się współpraca w tym zakresie z niemiecką firmą optek-Danulat, która od ponad 30 lat projektuje, rozwija i dostarcza fotometry procesowe znajdujące zastosowania w wielu branżach, w tym w branży cukrowniczej. Ponieważ już

przy wstępnych rozważaniach, punkt detekcji poniżej 1 ppm (przy zachowaniu krótkiego czasu reakcji) wydawał się nierealny do osiągnięcia, zostało ustalone, iż czułość na poziomie 10 ppm będzie satysfakcjonująca dla cukrowni. Ale zanim o testach, pozwolę sobie na kilka słów o samych fotometrach.

## POMIARY FOTOMETRYCZNE

W portfolio firmy optek-Danulat znajdują się zarówno urządzenia pracujące w zakresie światła ultrafioletowego (UV), widzialnego (VIS) oraz bliskiej podczerwieni (NIR). Każdy z zakresów pomiarowych przeznaczony jest do innego typu zadań i tak zakres UV w głównej mierze stosowany jest do pomiaru gęstości optycznej, zakres VIS do określania barwy medium, a NIR do pomiaru mętności.

Z uwagi na specyfikę aplikacji – zmianę barwy kondensatu pod wpływem znajdującej się w nim sacharozy – testy prowadzone były z wykorzystaniem fotometru pracującego w zakresie VIS. Spektrum tego zakresu światła według nomenklatury producenta obejmuje długości fal od 385 nm do 690 nm.

Zasada pomiaru fotometru opiera się na prawie Lamberta-Beera, które mówi, iż pochłanianie fal elektromagnetycznych (absorbancja) przez medium jest wprost proporcjonalne do grubości warstwy medium (tzw. drogi optycznej), przez które przechodzi fala oraz stężenia badanej substancji (w naszym przypadku zawartość sacharozy w kondensacie).

Ważnym aspektem, który należy brać pod uwagę w tego typu pomiarach jest występowanie w mierzonym medium cząsteczek stałych tworzących zawiesinę (mętność). Jest to sytuacja nie do uniknięcia w rzeczywistej aplikacji. Pojawiające się zmętnienie wprowadza dodatkowe błędy pomiarowe, ponieważ zawieszone w medium cząsteczki mogą dodatkowo absorbować i rozpraszają falę świetlną. W celu uniknięcia tych błędów, optek-Danulat posiada w swojej ofercie również fotometry z sondą AF26 pozwalające na pomiar barwy z jednoczesną kompensacją od zmętnienia.

Taki fotometr składa się z armatury (komory pomiarowej), przez którą przepływa mierzony medium, dwóch ramion zwanych sondą oraz konwertera. Ramiona sondy to odpowiednio lampa, źródło światła umożliwiające prześwietlenie próbki oraz detektor skalibrowany do pomiaru przy jednej wyspecyfikowanej długości fali świetlnej, zgodnie



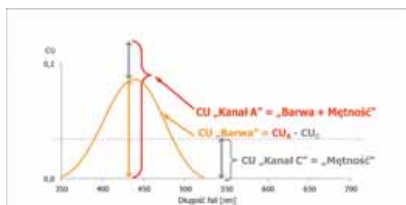
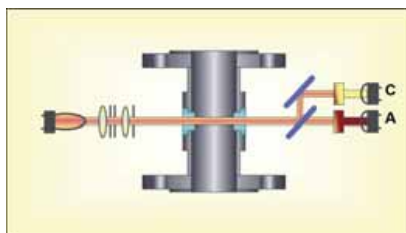
Rysunek 1  
Spektrum światła VIS



Rysunek 2  
Przykładowy fotometr procesowy optek-Danulat



Rysunek 3  
Schemat działania fotometru z sondą AF26



Rysunek 4  
Zależności pomiarowe dwóch kanałów fotometru

z wymaganiami danej aplikacji. W przypadku sondy AF26 mamy jeszcze dodatkowy kanał do kompensacji zmętnienia, co schematycznie zostało pokazane na rysunku 3.

Kompensacja od zmętnienia w kanale drugim odbywa się poprzez pomiar absorpcji światła przy długości fali świetlnej dobranej w obszarze, w którym barwa medium nie ma wpływu na pomiar. Zależności pomiarowe dla obu kanałów sondy zostały przedstawione na wykresie na rysunku 4.

Komora pomiarowa w miejscu montażu ramion ma wbudowane odporne na zarysowania okienka szafrowe, umożliwiające przepuszczanie światła od lampy do detektora.

Konwerter C4000 umożliwia zasilanie lampy oraz odbiór wyników pomiarowych z detektora. Zmierzone

wartości mogą być prezentowane bezpośrednio na wyświetlaczu konwertera lub przesyłane do systemu sterowania w postaci sygnału analogowego 4...20 mA lub cyfrowych Profibus lub Fieldbus.

## TESTY

Jak pisałem wcześniej, przy pomiarach fotometrycznych istotna jest właściwa długość drogi optycznej. Teoretyczne rozważania nad odpowiednim jej doбором oparliśmy na doświadczeniu z istniejących już w Cukrowni w Kruszwicy aplikacjach, w których produkty firmy optek-Danulat od dawna są wykorzystywane do określenia barwy syropu standard czy odcieku za wirówkami. W tych aplikacjach stosowanym rozwiązaniem jest sonda pomiarowa AF26 pracująca przy długości fali świetlnej 420 nm zgodnie z wytycznymi komitetu ICUMSA. Natomiast droga optyczna dobierana jest w zależności od zakresu pomiarowego, jednak zwykle nie przekracza 40 mm.

Należy pamiętać, że o ile barwa tych mediów wyraźnie charakteryzuje się barwą żółtą o tyle śladowe zawartości sacharozy w kondensacie są niedostrzegalne gołym okiem. Naszym celem była detekcja sacharozy na poziomie 10 ppm. Biorąc to pod uwagę, pierwsze testy postanowiliśmy przeprowadzić przy znacznie dłuższej drodze optycznej wynoszącej 160 mm, pozostając przy długości fali świetlnej 420 nm.

Niestety szybko okazało się, że czułość takiego rozwiązania kończy się na 100 ppm, co daleko odbiegało od przyjętych założeń i było nie do przyjęcia jako niezawodny układ zabezpieczający. W drodze konsultacji z firmą optek-Danulat, na podstawie dostarczonych wyników z dotychczasowych testów przez Cukrownię w Kruszwicy, producent zasugerował wydłużenie drogi optycznej do 500 mm. Jednocześnie zadeklarował wypożyczenie do dalszych testów sensor pracujący przy długości fali świetlnej 385 nm. To miało zapewnić znacznie większą czułość systemu.

Po dokonaniu modernizacji instalacji testowej i zamontowaniu nowej sondy oraz komory pomiarowej

pierwsze wyniki dawały nadzieję na osiągnięcie sukcesu. Należy też wspomnieć, że do celów testowych nie lada wyzwaniem okazało się przygotowanie próbek o stężeniach poniżej 100 ppm. W tym celu konieczne było użycie metod wagowych oraz tzw. schematu krzyżowego.

Wyniki pomiarowe kolejnych próbek o stężeniu 50 ppm i 20 ppm były na tyle obiecujące, że bez obaw o rezultat przystąpiliśmy do przygotowywania próbki o stężeniu 10 ppm. Jak się okazało przeprowadzenie tej próby było tylko formalnością. Odpowiedź układu była na tyle duża, że nie pozostawiała wątpliwości, iż czułość fotometru jest na oczekiwanym poziomie.

Oczywiście przy tak dobrych wynikach od razu pojawiło się pytanie – to jaką rzeczywiście czułość układu możemy osiągnąć? Odpowiedzią jest zapis trendu z Cukrowni w Kruszwicy, który przedstawiony jest na rysunku 5. Wyraźny sygnał o pojawieniu się sacharozy w kondensacie jest tu już na poziomie 3 ppm.

Przeprowadzone testy jednoznacznie potwierdziły zasadność zastosowania fotometru firmy optek-Danulat w układzie detekcji śladowych zawartości sacharozy w kondensacie. Spełniając tym samym stawiane na wstępie wymagania co do czułości i szybkości odpowiedzi.

## PODSUMOWANIE

Wzajemna współpraca pomiędzy firmą Intral będącą dostawcą technologii, niemieckiej firmy optek-Danulat oraz Cukrownią w Kruszwicy należącej do Krajowej Spółki Cukrowej S.A. kolejny raz zaowocowała sukcesem. System w oparciu o dwie sondy AF26 oraz konwerter C4000 jest już wdrożony. Od tegorocznej kampanii zabezpieczenia Cukrowni w Kruszwicy przed awariami kotłów i turbin parowych.



Cieszę się, iż mogłem brać udział w tak ciekawym projekcie. Jednocześnie serdecznie dziękuję za ogromne zaangażowanie ze strony pracowników Cukrowni w Kruszwicy. Tu pragnę zwrócić uwagę, że firma optek-Danulat, oprócz testowanej komory pomiarowej o długości drogi optycznej 500 mm, posiada również rozwiązania z drogą optyczną 1000 mm. Czy moglibyśmy osiągnąć wyniki na poziomie ppb? To się jeszcze okaże. Zapraszam do kontaktu wszystkie osoby zainteresowane fotometrycznymi pomiarami barwy, gęstości i mętności.

### Grzegorz Gruszka

Absolwent Politechniki Śląskiej w Gliwicach, na Wydziale Automatyka, Elektronika i Informatyka, o specjalności Aparatura elektroniczna. W Intralu pracuje od 2005 roku, obecnie na stanowisku kierownika działu pomiarów fizykochemicznych.

tel. 32 789 00 63



Rysunek 5  
Zapis trendu z pomiaru sacharozy

