

Referat ten powstał w oparciu o rozprawę doktorską pt: ANALIZA STRUKTURY I PARAMETRÓW PRACY INSTALACJI WODNO-ŚCIEKOWYCH CUKROWNI obronionej w marcu na Wydz. Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii PW. W referacie będą omówione tylko jednak te zagadnienia, które dotyczą przypadku cukrowni w której zmiany odnośnie gospodarki wodno-ściekowej mogą się odbyć przy użyciu istniejących urządzeń.

Wytwarzanie cukru z buraków cukrowych wiąże się ze zużyciem dużych ilości wody i jednoczesnym zrzucaniem odpowiednich ilości ścieków. Polski przemysł cukrowniczy zużywa obecnie 30% globalnej ilości wody zużywanej przez wszystkie zakłady przemysłu spożywczego, a ogółem w przemyśle cukrowniczym roczny pobór wody z ujęć powierzchniowych i podziemnych wyniósł ok. 4 000 000 m³.

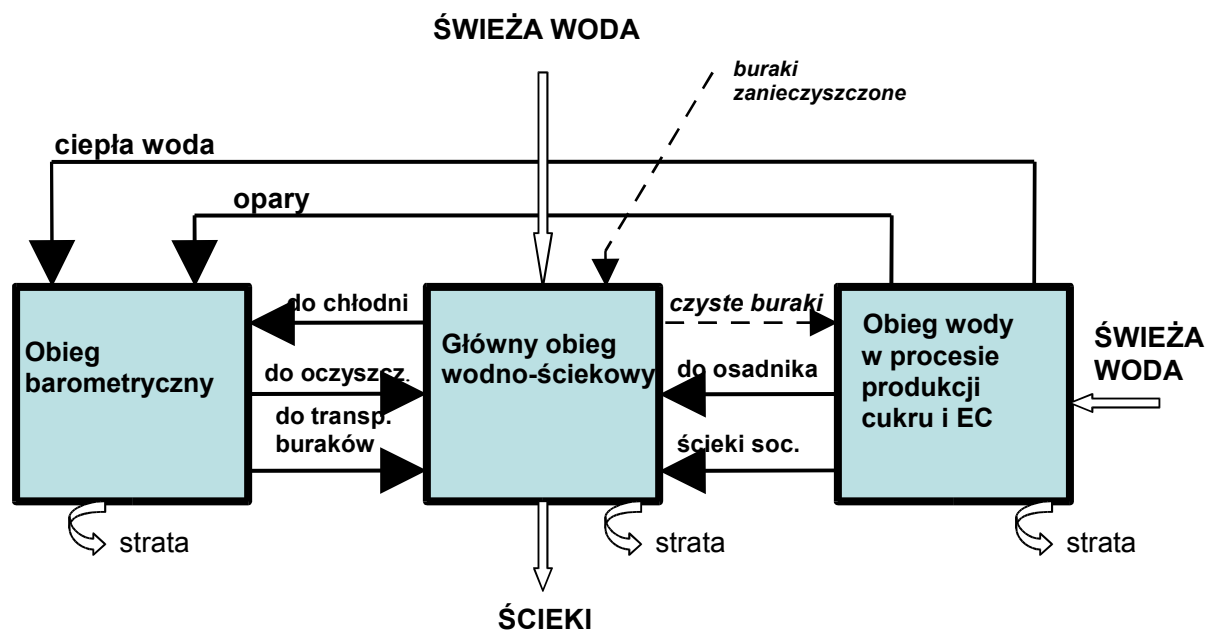
Konieczność oszczędzania wody nie jest dla cukrowni nowością i od wielu lat stanowi ważny element praktyki produkcyjnej. Różne metody oszczędzania, jak wykorzystanie wody lekko zanieczyszczonej i zamykanie obiegów wodnych przez wykorzystanie oczyszczonych ścieków, są w przemyśle cukrowniczym dobrze znane. Nie stosuje się jednak modelowania matematycznego ani metod optymalizacyjnych do wyznaczania struktury i parametrów pracy układów wodno-ściekowych. Moją pracą doktorską podjąłem dlatego że uważałem że istnieje zapotrzebowanie na opracowanie metody wspomagania decyzji inżynierskich prowadzących do ograniczenia zużycia wody bez zasadniczych zmian w elementach układu wodno-ściekowego czy też bez wdrażania nowoczesnych, kosztownych metod oczyszczania ścieków.

Rozpatrywany w pracy problem badawczy dotyczył poszukiwania najmniejszego możliwego zużycia wody świeżej w instalacji wodno-ściekowej cukrowni.

Typowy układ (rys.1) gospodarki wodno-ściekowej cukrowni zawiera trzy powiązane ze sobą podukłady, według schematu:

- obieg wodny procesu produkcji cukru oraz skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej, w tym m.in. obieg wodno-parowy elektrociepłowni, instalacja ekstrakcji cukru z krajanki buraczanej, prasy wyzymające nadmiar wody z wysłodków buraczanych, wielodziałowa stacja wyparna do zagęszczania soku buraczanego, krystalizatory w których z soku odparowuje się pozostała ilość wody;
- obieg barometryczny obejmujący barometryczne skraplacze oparów przekazywanych z instalacji produkcyjnej oraz chłodnie wody obiegowej lub stawy chłodzące;
- główny obieg wodno-ściekowy obejmujący m.in. ujęcie wody świeżej z zewnętrznego źródła, obieg spławiakowy (transportu hydraulicznego buraków zanieczyszczonych ziemią,

ze składowiska do instalacji produkcyjnej), płuczkę buraków, urządzenia do regeneracji wody, zrzut oczyszczonych.



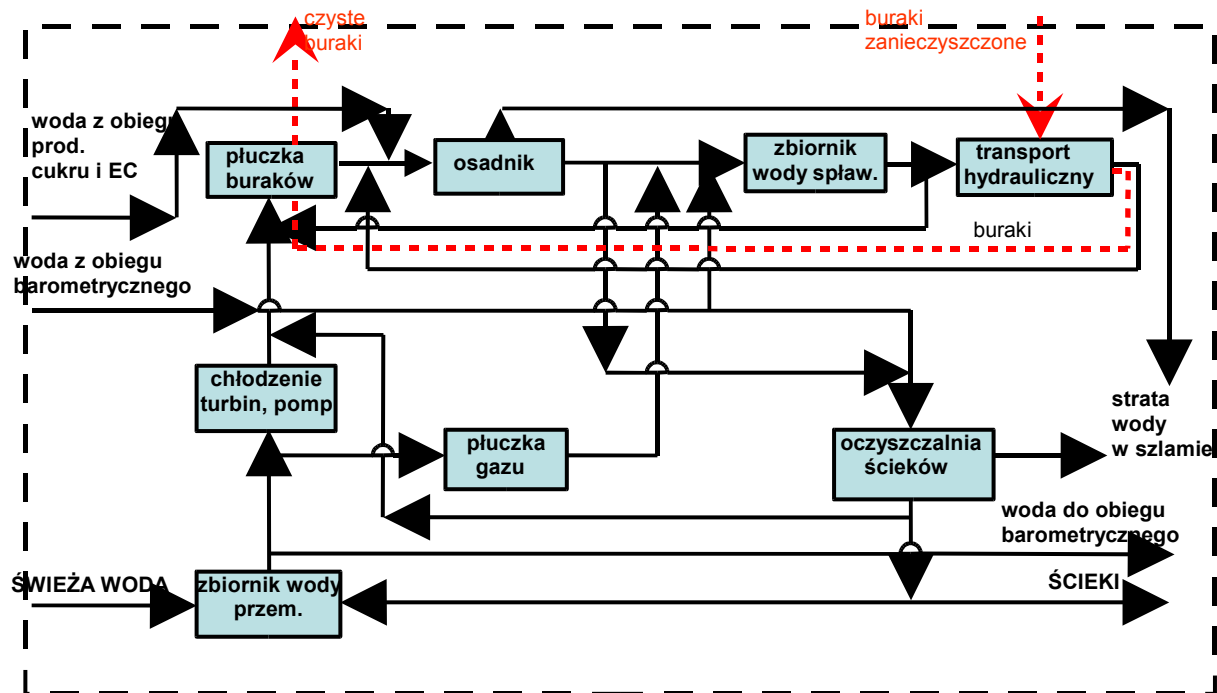
Rys.1. Schemat gospodarki wodno-ściekowej cukrowni.

Linie: ciągła – przepływ wody, przerywana – droga buraków.

Podstawową przyczyną zanieczyszczenia wody jest dostarczanie do cukrowni buraków z domieszką ziemi. Do prawidłowego działania układu niezbędne jest ciągle zasilanie świeżą wodą w celu wyrównywania strat oraz utrzymywania wartości wskaźników zanieczyszczeń na dopuszczalnym poziomie.

Przejdę teraz do analizy możliwości oszczędzania wody. Wykorzystałem metody znane i stosowane w innych gałęziach przemysłu a w szczególności w przemyśle petrochemicznym. Badając funkcjonowanie układu wodno-ściekowego rozpatruje się zbiór wykonywanych w tym układzie operacji użytkowania i operacji regeneracji wraz z połączeniami między operacjami. Operacją użytkowania wody nazywana jest operacja, w trakcie której wzrasta ilość co najmniej jednego składnika zanieczyszczenia w strumieniu wody. Jest to zwykle powodowane kontaktem wody z materiałami występującymi w procesie produkcyjnym. W celu obniżenia poziomu zawartości składników zanieczyszczenia w wodzie zużytej stosuje się operacje regeneracji, wykorzystujące różne procesy jednostkowe, jak np. sedymentacja.

Zużycie wody w cukrowni zależy od funkcjonowania głównego obiegu wodno-ściekowego, przedstawionego na rys.2 .



Rys. 2. Schemat głównego obiegu wodno-ściekowego.

Linie: ciągła - przepływ wody, przerywana – droga buraków.

Do oceny rezerw oszczędności wody w cukrowni wystarczy więc rozpatrzyć główny obieg wodno-ściekowy przy uwzględnieniu jego powiązań z dwoma pozostałymi obiegami wodnymi. Przedmiot rozważań tak zdefiniowany jest w niniejszej pracy nazywany instalacją wodno-ściekową. W oparciu o bilanse masowe opracowałem model matematyczny instalacji wodno-ściekowej

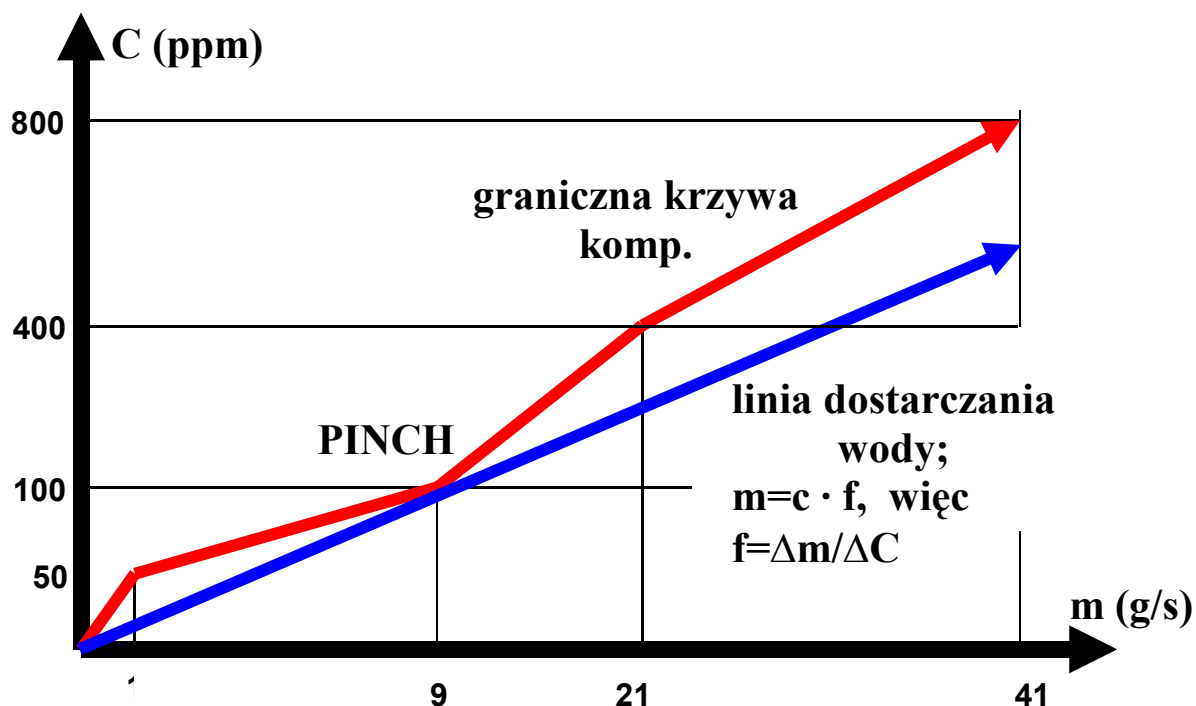
Minimalizację zużycia wody na podstawie metod matematycznych umożliwia wykorzystanie metodyki Water Pinch. Z metodyką zapoznałem się w ramach współpracy naukowej z jej autorami z Univ. Manchester - to właśnie oni rozpoczęli stosowanie tej metodyki w innych gałęziach przemysłu.

Metodyka bazuje na pojęciu tzw. granicznej krzywej kompozycyjnej oraz zależnościach przedstawiających wymianę masy. W teoretycznych modelach optymalizacji układu gospodarki wodno-ściekowej według tej metodyki rozpatruje się strukturę układu, jako istnienie lub brak połączeń między jego elementami, a także parametry pracy. Elementom układu odpowiadają rzeczywiste urządzenia. Jednocześnie kontroluje się spełnienie równań bilansu masy (wody i rozpatrywanych składników zanieczyszczenia) w każdym węźle układu.

Poszukiwaniu minimum zużycia wody, względnie minimum łącznych kosztów budowy i eksploatacji układu, odpowiada zwykle problem programowania matematycznego.

W ujęciu graficznym metodykę Water Pinch można przedstawić na wykresie w układzie współrzędnych: stężenie zanieczyszczenia – strumień masy zanieczyszczenia.

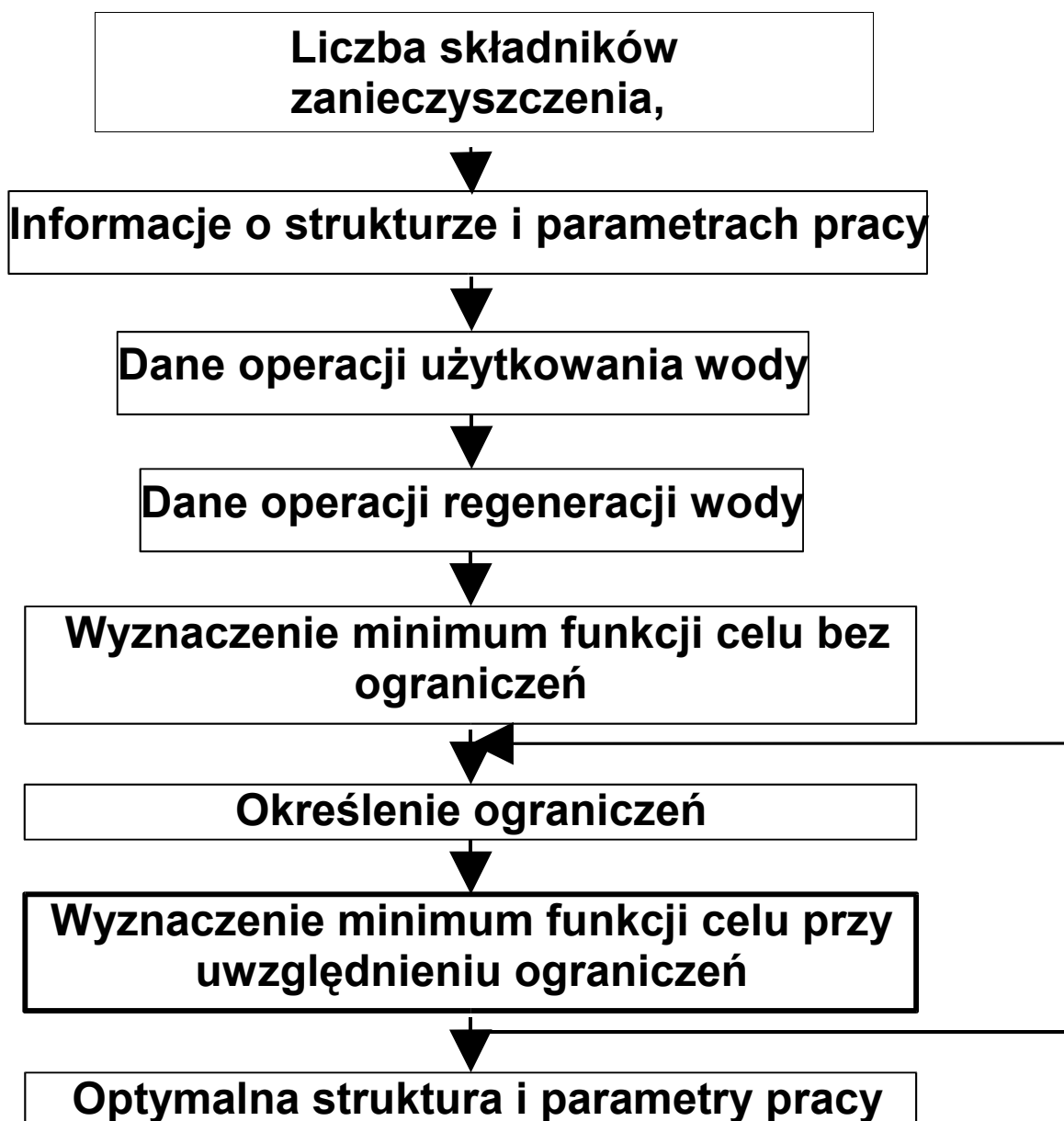
Rys. 3 METODYKA WATER PINCH - wyznaczenie min. przepływu wody



W celu minimalizacji zużycia wody należy łącznie rozpatrzeć cechy wszystkich operacji użytkowania wody. W tym celu konstruuje się graniczną krzywą kompozycyjną. Pokażę to na elementarnym przykładzie dla 4 operacji użytkowania wody, danymi są strumień masy wody w operacjach i stężenia składnika zanieczyszczenia. Umownie łączy się przebiegi operacji przez dodawanie wektorów symbolizujących graniczne linie użytkowania wody. W wyniku tego otrzymuje się graniczną krzywą kompozycyjną. Każdy punkt, w którym linia dostarczania wody dotyka granicznej krzywej kompozycyjnej, jest nazywany punktem PINCH. W rzeczywistej instalacji przemysłowej odpowiednikiem punktu PINCH jest ten fragment procesu użytkowania wody, w którym siła napędowa wymiany masy jest najmniejsza.

Odpowiednikami urządzeń występujących w instalacji wodno-ściekowej są operacje użytkowania i regeneracji wody (operacje użytkowania: mycie buraków, przemywanie gazu, transport hydrauliczny buraków oraz operacje regeneracji wody: oczyszczanie ścieków i oczyszczanie wody splawiakowej). Działanie instalacji przejawia się tym, że występuje pobór świeżej wody, zrzut ścieków jak również przepływy wody w połączeniach z pozostałymi obiegami.

Na kolejnym rysunku przedstawiono procedurę optymalizacyjną wykorzystującą metodykę Water Pinch. W kolejnych krokach należy określić: liczbę składników zanieczyszczenia, stężenia w wodzie świeżej i ściekach, wprowadzić informacje o strukturze i parametrach pracy.



Dane o strumieniach masy wody świeżej stanowią punkt startowy do wyznaczenia ekstremum funkcji celu bez ograniczeń. W pętli iteracyjnej należy każdorazowo określić ograniczenia (odnośnie wartości strumieni masy wody oraz struktury – w przypadku struktury to wykluczenie niedopuszczalnych połączeń oraz narzucenie warunków o operacjach źródłowych i docelowych) Czynności te powtarza się aż do znalezienia przy użyciu programu WATER najkorzystniejszej struktury inst. wodno-ściekowej, a jednocześnie wyznaczane są strumienie masy wody pomiędzy operacjami, a także strumień masy wody świeżej i strumień masy zrzucanych ścieków.

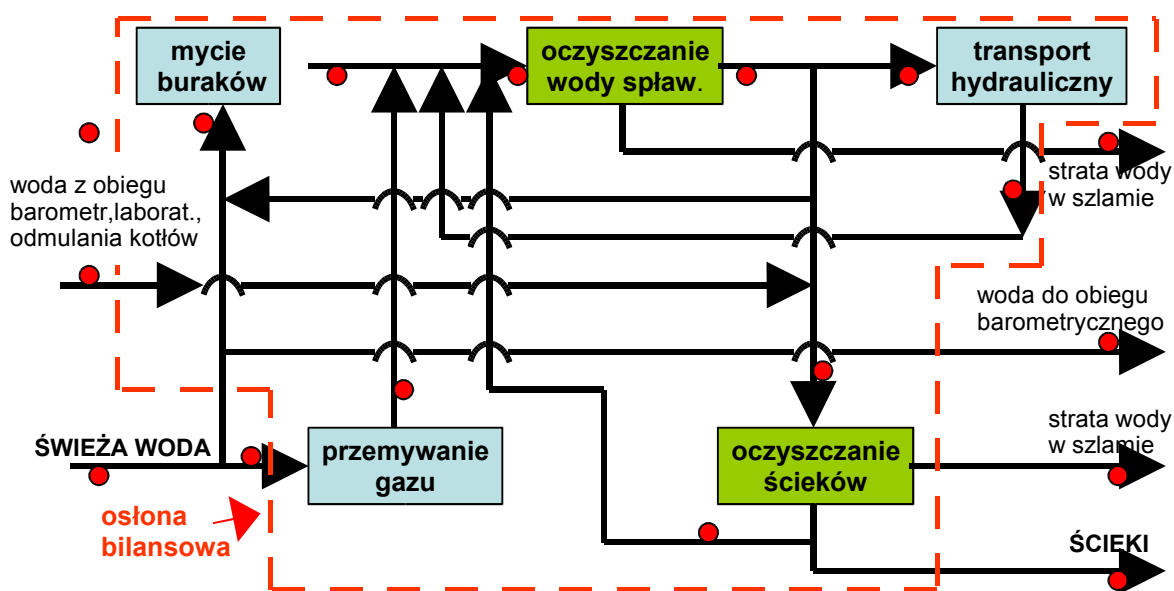
W ramach studium parametrycznego rozważono 2 przypadki. Pierwszym przypadkiem jest projektowanie modernizacji instalacji wodno-ściekowej w celu zmniejszenia zużycia wody. Rozważana cukrownia wytwarza cukier według procesu technologicznego powszechnie stosowanego w przemyśle cukrowniczym, tzn. końcowym etapem tego procesu jest krystalizacja cukru głównie przez odparowanie oczyszczonego i zagęszczonego soku buraczanego.

Drugi przypadek to projektowanie nowej instalacji przy braku rozwiązania wzorcowego. Rozważa się cukrownię pracującą według nowej technologii, której autorami są prof. Vaccari i prof. Mantovani z Uniwersytetu w Ferrarze. tzn. końcowym etapem produkcji jest krystalizację cukru wyłącznie przez chłodzenie zagęszczonego soku surowego.

W tabeli przedstawione są niektóre dane wejściowe do optymalizacji.

Zawartość zawiesiny w wodzie świeżej	65 ppm
Wartość chzt w wodzie świeżej	130 ppm
Narzut ziemi dostarczonej z burakami	8%
Udział ziemi przechodzącej do mieszaniny z wodą, w operacji mycia buraków	0,1
Udział ziemi przechodzącej do mieszaniny z wodą, w operacji transportu hydraulicznego	0,9
Współczynnik redukcji zawiesiny w osadniku	0,98
Współczynnik redukcji związków organicznych (reprezentowanych wartością chzt) w osadniku	0,095
Zawartość zawiesiny w szlamie usuniętym z osadnika	800000 ppm
Zawartość zawiesiny w wodzie zregenerowanej zrzucanej do otoczenia	30 ppm
Wartość chzt w wodzie zregenerowanej zrzucanej do otoczenia	80 ppm

Na rysunku przedstawiona jest struktura rozważanej instalacji wodno-ściekowej z możliwością użytkowania wody zregenerowanej z oczyszczalni.



Rys. 4. Schemat struktury (wariant z możliwością użytkowania wody zregenerowanej z oczyszczalni)

W schemacie rozpatruje się wyłącznie operacje użytkowania wody i operacje regeneracji wody. Wielostopniową mechaniczną regenerację wody w obiegu spławiakowym traktuje się jako jedną operację regeneracji wody. Obiekt rozważań, czyli instalacja wodno-ściekowa, jest jednoznacznie zdefiniowany przez osłonę bilansową. Poszukiwanie projektu modernizacji przy użyciu procedury optymalizacyjnej prowadzi do spostrzeżenia, że strukturę instalacji należy zmienić. Pewne połączenia trzeba zlikwidować, a zamiast nich wprowadzić inne. Procedura pozwala też obliczyć najkorzystniejsze wartości strumieni masy wody w poszczególnych połączeniach.

Część danych pochodzi z Cukrowni Borowiczki, lecz obliczenia wykonano dla zdolności przerobowej 10 tys. W tabelce znajdują się optymalne wartości niektórych strumieni masy wody dla obydwu rozpatrzonych wariantów. Osiągalne oszczędności wody świeżej w stosunku do instalacji wzorcowej wynoszą 35% dla instalacji bez możliwości użytkowania wody zregenerowanej z oczyszczalni i 44% dla instalacji z możliwością użytkowania wody zregenerowanej. Dla przyjętej zdolności przerobowej cukrowni 10000 ton buraków na dobę oszczędność świeżej wody wynosi odpowiednio 1100 i 1400 m³ w ciągu doby.

Zmniejszenie zużycia wody świeżej jest osiągnięte bez znaczącej zmiany wartości strumienia masy wody w operacjach regeneracji, czyli wdrożenie optymalnego rozwiązania jest możliwe bez kosztownego inwestowania w przebudowę urządzeń regeneracyjnych.

POŁĄCZENIA:		STRUMIENIE MASY WODY (%nb)		
od	do	instalacja wzorcowa	bez użytkow. wody zregen.	z użytkow. wody zregen.
mycie buraków	oczyszczanie wody splawiakowej	52,00	52,03	52,37
przemywanie gazu	oczyszczanie ścieków	≠	14,98	13,66
transport hydrauliczny	oczyszczanie wody splawiakowej	500,00	499,48	506,21
oczyszczanie ścieków	przemywanie gazu	≠	≠	6,66
oczyszczanie wody splawiakowej	mycie buraków	45,00	43,15	40,92
oczyszczanie wody splawiakowej	transport hydrauliczny	472,00	471,48	465,22
przemywanie gazu	oczyszczanie wody splawiakowej	15,00	≠	≠
oczyszczanie ścieków	oczyszczanie wody splawiakowej	37,00	≠	≠
POBÓR WODY ŚWIEŻEJ		32,00	20,87	18,07
ZRZUT ŚCIEKÓW		52,70	43,05	40,33

Wnioski i uwagi końcowe

Niezależnie od stosowanego w cukrowni procesu technologicznego, w układzie gospodarki wodno-ściekowej można wyróżnić trzy obiegi o różnych funkcjach. Zużycie wody świeżej zależy przede wszystkim od funkcjonowania głównego obiegu wodno-ściekowego i dlatego do całościowej analizy tego zagadnienia wystarczy rozpatrzyć główny obieg wodno-ściekowy przy uwzględnieniu jego współpracy z dwoma pozostałymi obiegami. Tak zdefiniowany przedmiot rozważań jest nazywany instalacją wodno-ściekową cukrowni.

Cel analizy - optymalizacja struktury i parametrów pracy instalacji w.-ś., wyznaczenie najniższego możliwego (w danych warunkach) zużycia wody świeżej w cukrowni. Opracowano wzorce modelowania matematycznego i optymalizacji, rozważono cukrownie pracujące zarówno według tradycyjnej technologii produkcji cukru, jak i według nowej technologii wykorzystującej krystalizację przez chłodzenie.

Sprawdzone na przykładach wzorce modelowania matematycznego i optymalizacji można traktować jako nowe narzędzie inżynierskie wspomagające poszukiwanie najkorzystniejszego, ze względu na zużycie wody, wariantu instalacji w.-ś.

W rozpatrywanym przykładzie metody obliczeniowej wykazano możliwość zmniejszenia zużycia wody od początkowej wartości 32 %nb do optymalnej wartości 18 %nb dla wariantu z możliwością użytkowania wody zregenerowanej. Zakres niezbędnej modernizacji obejmuje wyłącznie zmiany w układzie rurociągów.