

# **DOŚWIADCZENIA Z EKSPLOATACJI SYSTEMU AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA DAWKOWANIEM KOAGULANTA NA PODSTAWIE POMIARÓW ON LINE W KOMORZE NITRYFIKACJI NA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W LEGNICY.**

*Autorzy: Artur Dogielski*

*Jolanta Lipiec*

*Legnickie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A.*

## **WSTĘP**

Miejska oczyszczalnia ścieków w Legnicy położona jest w północno-wschodniej części miasta ,jej teren ma kształt nieregularnego wieloboku o powierzchni 23,4 ha. Oczyszczalnia mechaniczno biologiczna ze średnio obciążonym osadem czynnym została wybudowana w latach 1975-91, na podstawie projektu opracowanego w Biurze Projektów Budownictwa Komunalnego we Wrocławiu (część mechaniczna przekazana do eksploatacji w roku 1979, część biologiczna przekazana do eksploatacji w roku 1989 ,a część osadowa w roku 1991) . Nominalna przepustowość wynosiła 50 tys. m<sup>3</sup>/d.

## **SYSTEM ODBIORU I OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW**

Ścieki dopływają do oczyszczalni z terenu miasta Legnicy oraz sąsiednich gmin. Wśród zakładów przemysłowych jedynie Huta Miedzi posiada własną oczyszczalnię. Większość kanalizacji , zwłaszcza w starej części miasta ,to kanalizacja ogólnospławna , w związku z czym w czasie opadów dopływają ścieki deszczowe , charakteryzujące się dużą ilością zawieszin. Ponadto sieć kanalizacyjna zbiera pewne ilości wód infiltracyjnych powodujących znaczne rozcieńczenie ścieków. Z rejonów miasta nie posiadających kanalizacji , ścieki dowożone są na oczyszczalnię wozami asenizacyjnymi i przyjmowane do zlewni ścieków .

### **Część mechaniczna**

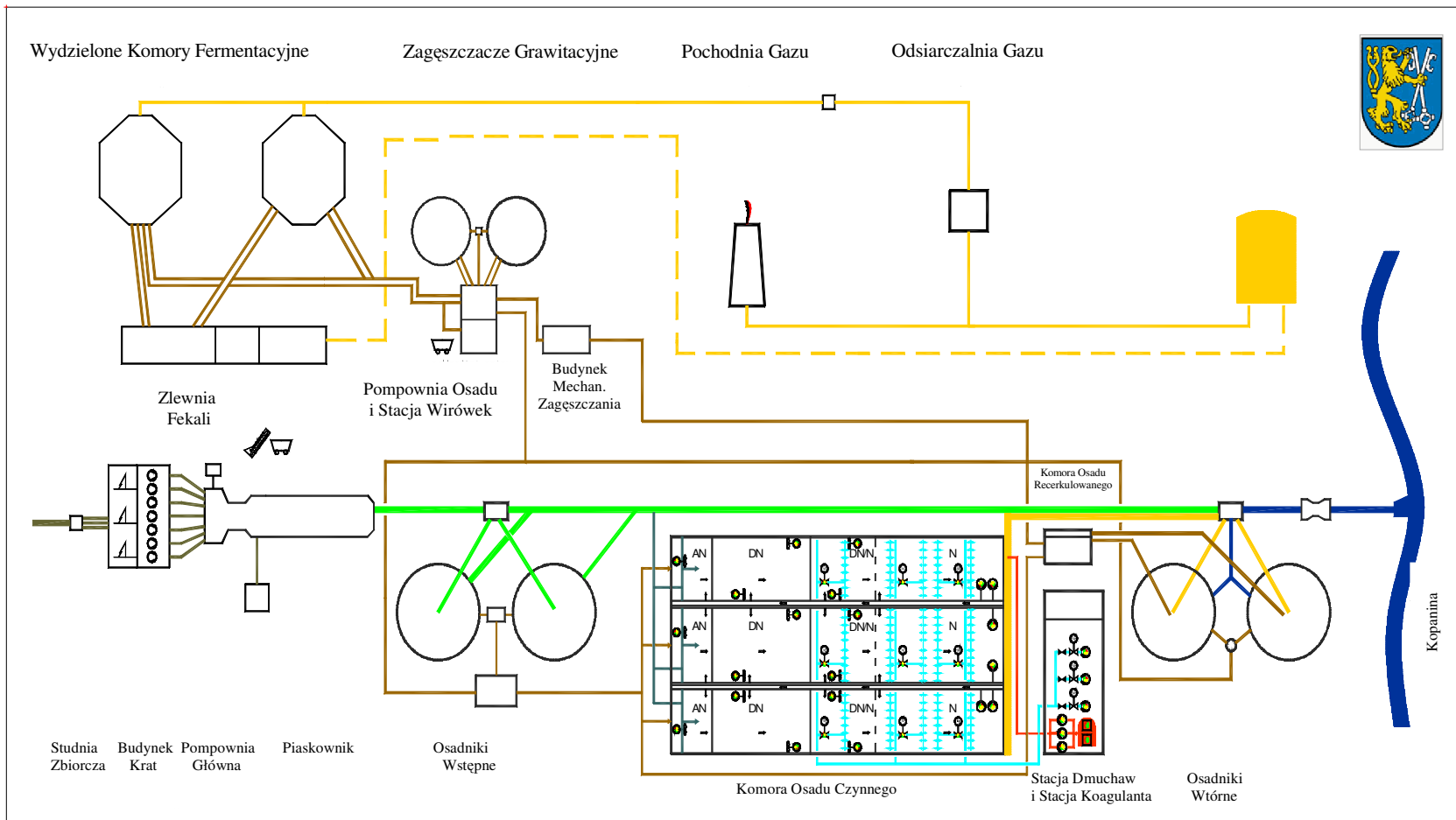
Ścieki surowe doprowadzane są na oczyszczalnię kolektorami grawitacyjnymi do studni zbiorczej , skąd przepływają do komory krat i pompowni głównej.

W studni zbiorczej zamontowana jest zastawka , za pomocą której możliwa jest regulacja napływu ścieków na oczyszczalnię ,zwłaszcza w czasie opadów.

Budynek krat został zmodernizowany w 1997 roku . Z 3 sztuk krat typu KUMP-1,8/1,4 o prześwicie 20 mm pozostały dwie ,natomiast jedną wymieniono na kratę schodkową o prześwicie 6 mm ,która pracuje jako podstawowa. W tym samym czasie wymieniono dwie pompy w pompowni głównej dostosowując ich wydajność do obserwowanych zmniejszonych przepływów ścieków.

Pozbawione skratak ścieki tłoczone są do piaskownika przedmuchiwanego dwukomorowego o wymiarach B=2,5 m, L=24 m, F=6,0 m<sup>2</sup>. Piaskownik współpracuje z hydraulicznym separatorem piasku.

Końcowym elementem oczyszczalni mechanicznej są dwa osadniki wstępne radialne o średnicy D=40 m i objętości czynnej V cz = 5000 m<sup>3</sup>.



SCHEMAT TECHNOLOGICZNY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W LEGNICY

## Część biologiczna

Została zmodernizowana w latach 2000-2002 .W związku z wykorzystaniem istniejących obiektów kubaturowych jej przepustowość zmalała z 50 tys. m<sup>3</sup>/d do 35 tys.m<sup>3</sup>/d. Modernizacja polegała na wymianie systemu napowietrzania oraz wprowadzeniu procesów usuwania związków biogenych (system BARDENPHO).

### Jakość ścieków oczyszczonych na odpływie z oczyszczalni ścieków w Legnicy.

Rok	BZT <sub>5</sub>	ChZT	Zawiesina ogólna	Azot ogólny	Azot amonowy	Fosfor ogólny
2000	15,00	53,47	8,00	25,40	21,20	4,39
2001(modernizacja)	20,10	64,30	19,80	24,30	20,10	4,75
2002(modernizacja)	12,80	39,10	5,40	16,54	11,19	2,44
2003 I kw. (po modernizacji)	8,70	28,00	4,10	7,29	1,34	1,24
Pozwolenie wodnoprawne	15,00	150,00	50,00	30,00	6,00	1,5

Reaktor biologiczny składa się z trzech równolegle pracujących komór osadu czynnego. Komora osadu czynnego służy do oczyszczania ścieków w procesach biochemicznych biocenozy niskoobciążonego, wielofazowego osadu czynnego ze wspomaganie defosfotacji biologicznej strącaniem chemicznym . Jest obiektem przepływowym z wydzielonymi następującymi po sobie strefami: beztlenowa, denitryfikacji, denitryfikacji-nitryfikacji, nitryfikacji. W końcowej części strefy nitryfikacji w rejonie odpływu zainstalowane są pompy recyrkulacji wewnętrznej. Przepływ oraz pełne wymieszanie ścieków z osadem czynnym zapewniają zamontowane mieszadła ,natomiast pełne natlenienie i wymieszanie – system napowietrzania sprężonym powietrzem.

Parametry techniczne reaktora biologicznego:

- wymiary reaktora w planie 81x 56 m
- głębokość czynna 4 m
- pojemność czynna 18 144 m<sup>3</sup>

Charakterystyczne parametry komór osadu czynnego:

-strefa defosfatacji :

- pojemność czynna –1568 m<sup>3</sup>
- czas przetrzymania- T= 1,0 godz.
- wyposażenie :jedno mieszadło wolnoobrotowe na każdą komorę,

-strefa denitryfikacji :

- pojemność czynna –5600 m<sup>3</sup>
- czas przetrzymania- T= 3,9 godz.
- wyposażenie : dwa mieszadła wolnoobrotowe na każdą komorę,

-strefa denitryfikacji-nitryfikacji:

- pojemność czynna –2688 m<sup>3</sup>
- czas przetrzymania- T= 1,8 godz.
- wyposażenie :dwa mieszadła wolnoobrotowe na każdą komorę, ruszt napowietrzający z dyfuzorami elastomerowymi Schumaflex-RK firmy Schumacher

-strefa nityfikacji

- pojemność czynna –8288 m<sup>3</sup>
- czas przetrzymania- T= 5,7 godz.
- wyposażenie : ruszt napowietrzający z dyfuzorami ceramicznymi Brandol firmy Schumacher

Komory osadu czynnego współpracują z dwoma osadnikami wtórnymi radialnymi o średnicy 50 m (V cz =12800 m<sup>3</sup>) ,pompownią osadu recykulowanego, stacją dmuchaw ,stacją dozowania koagulantu.

Procesy oczyszczania w bloku biologicznym kontrolowane są i sterowane automatycznie .

Zainstalowane w komorach urządzenia kontrolno-pomiarowe informują o przebiegu procesu oczyszczania ścieków . Rejestrowane są takie parametry jak:

-temperatura ścieków

-odczyn

-tlen rozpuszczony

-potencjał redox

-gęstość osadu

-stężenie azotanów

-stężenie azotu amonowego

-stężenie fosforu

System analityczno –kontrolno –pomiarowy umożliwia sterowanie pracą urządzeń technologicznych takich jak:

-dmuchawy – w zależności od stężenia tlenu,

-pompy recykulacji wewnętrznej – w zależności od stężenia azotanów,

-pompki dozujące koagulant – w zależności od stężenia fosforu.

Wydajność dmuchaw sterowana jest w oparciu o ciśnienie powietrza w rurociągu głównym.

Ilość powietrza doprowadzana do poszczególnych stref komór osadu czynnego regulowana jest za pomocą przepustnic w oparciu o pomiary stężenia tlenu w strefach nityfikacji i nityfikacji-denitryfikacji.

## **Część osadowa**

Osad wstępny odprowadzany jest z osadników wstępnych pompą do dwóch zbiorników zagęszczania grawitacyjnego o pojemności V cz= 2000 m<sup>3</sup>. Zagęszczony osad podawany jest do zamkniętej komory fermentacyjnej o pojemności V cz = 4700 m<sup>3</sup> z zainstalowanym mieszadłem Halberga. Podgrzewanie osadu odbywa się poprzez zewnętrzne wymienniki ciepła typu SWC-16 i pompy recykulacji osadu .

Przefermentowany osad odwadniany jest na dwóch wirówkach (francuskiej –firmy Guinard typu D4 LP oraz duńskiej –firmy Niro Separation typu Hysep MD 44) o wydajności 15-20 m<sup>3</sup>/h każda.

Do magazynowania gazu fermentacyjnego ujmowanego z WKFZ służy zbiornik gazowy o pojemności 1000 m<sup>3</sup> . Biogaz wykorzystywany jest do spalania w kotłowni ,wyposażonej w dwa kotły ,przystosowane do pracy na biogaz i gaz ziemny.

## **POMIAR STĘŻENIA FOSFORU ORTOFOSFORANOWEGO**

### **Stanowisko pomiarowe**

Zainstalowany na naszej oczyszczalni analizator on line firmy WTW służy do pomiarów azotu amonowego, fosforu ortofosforanowego i azotu azotanowego na wylocie ze strefy nityfikacji komór osadu czynnego. Instalacja składa się z następujących elementów:

- 3 pomp do poboru próby z każdego ciągu komór osadu czynnego
- systemu przygotowania próby składającego się z 3 modułów PurCon/230
- rozdzielacza filtratu
- analizatora „on line ” TresCon A111
- modułu pomiarowego azotu azotanowego
- modułu pomiarowego azotu amonowego
- modułu pomiarowego ortofosforanów
- elementów ochrony przeciw przepięciowej
- instalacji poboru próbki i odprowadzenia ścieków.

Całość znajduje się w prefabrykowanym, ocieplanym kontenerze.

### **Czynności eksploatacyjne**

Czynności eksploatacyjne przy analizatorze polegają na okresowych przeglądach , konserwacji/regeneracji poszczególnych elementów systemu oraz wymianie zużytych materiałów eksploatacyjnych.

Czynności obsługowe jednostki centralnej i modułów pomiarowych:

- kontrola stanu napełnienia odczynników –co najmniej raz w tygodniu
- kontrola stanu elektrody amonowej –raz w miesiącu
- kontrola szczelności i drożności wężyków doprowadzających próbę oraz odczynniki –co dwa tygodnie
- wymiana oraz przesunięcie węży pompy perystaltycznej –według interwału sygnalizowanego przez TresCon

Czynności obsługowe systemu przygotowania próby:

- kontrola zużycia węży pompy perystaltycznej w systemie przygotowania próby ,ewentualne ich przesunięcie lub wymiana –co trzy tygodnie
- czyszczenie filtra kompresora –co trzy tygodnie
- płukanie komory filtrów wodą oraz 24 –o godzinna dezynfekcja 1 % roztworem podchlorynu sodu –co sześć miesięcy
- płukanie instalacji doprowadzającej próbę z modułów PurCon do analizatorów –co trzy miesiące

### **Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne**

Koszt inwestycyjny naszego systemu do oznaczania N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> i P-PO<sub>4</sub> dla trzech ciągów technologicznych wyniósł ok.175 tysięcy zł , natomiast koszt zestawu do pomiaru wyłącznie P-PO<sub>4</sub> w jednym punkcie pomiarowym wynosi ok.80 tysięcy zł.

Koszty eksploatacyjne (materiałów i odczynników do pomiaru ortofosforanów), po pierwszym okresie doświadczeń, szacujemy na 8500 zł/rok.

## Dokładność pomiarów

W celu potwierdzenia pewności pomiarów on line wprowadziliśmy kontrolne badania wykonywane jednocześnie przez analizator oraz laboratorium.

Wyniki jednorazowych prób przedstawia poniższa tabela. Stwierdzana jest duża zbieżność wyników pomiarów .

Miesiąc	Odczyt z analizatora P-PO <sub>4</sub> mg/l	Pomiar z laboratorium P-PO <sub>4</sub> mg/l
Luty	2,30	2,48
Marzec	1,80	2,17
Kwiecień	4,70	4,58
Maj	3,40	3,59

## FUNKCJONOWANIE SYSTEMU SYMULTANICZNEGO STRĄCANIA FOSFORU

### Wyposażenie

Stacja magazynowania i dozowania koagulantu firmy ProMinent Dozotechnika składa się z następujących elementów:

- 3 pompy dozujące typu Sigma o wydajności 90 l/h każda
- tłumiki pulsacji
- zawory stałego ciśnienia
- zawory przelewowe
- filtr wstępny
- armatura i rurociągi
- zbiornik magazynujący z osprzętem o pojemności 32 m<sup>3</sup>.

### Algorytm pracy

Instalacja dozowania uruchamiana jest automatycznie w przypadku , gdy średnie stężenie fosforu mierzone przez analizatory w strefie nityfikacji w komorach osadu czynnego jest wyższe od 0,5 g P-PO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.Wartość powyższa została ustalona w trakcie rozruchu technologicznego , podczas którego stwierdzono ,że wartość ta odpowiada stężeniu fosforu w ściekach oczyszczonych równemu 1,5 g P/m<sup>3</sup> .

W algorytmie automatycznego sterowania uwzględniono :

- średnie stężenie fosforu z trzech komór osadu czynnego mierzone w każdej strefie nityfikacji za pomocą analizatora fosforu firmy WTW,
- dawkę koagulantu w g PIX/gP-PO<sub>4</sub> ,która jest wartością wybieralną ze stacji operatorskiej,
- godzinowy przepływ ścieków ,podawany sygnałem z przepływomierza ścieków oczyszczonych

W trakcie rozruchu wypracowano wzór algorytmu:

$$Q = A \times ( B - 0,5 ) \times C / 1500$$

gdzie:

Q- przepływ koagulantu , l/h

A- dawka koagulantu zadawana przez operatora, g PIX/gP-PO<sub>4</sub>

B- średnie mierzone stężenie fosforu , g P-PO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>

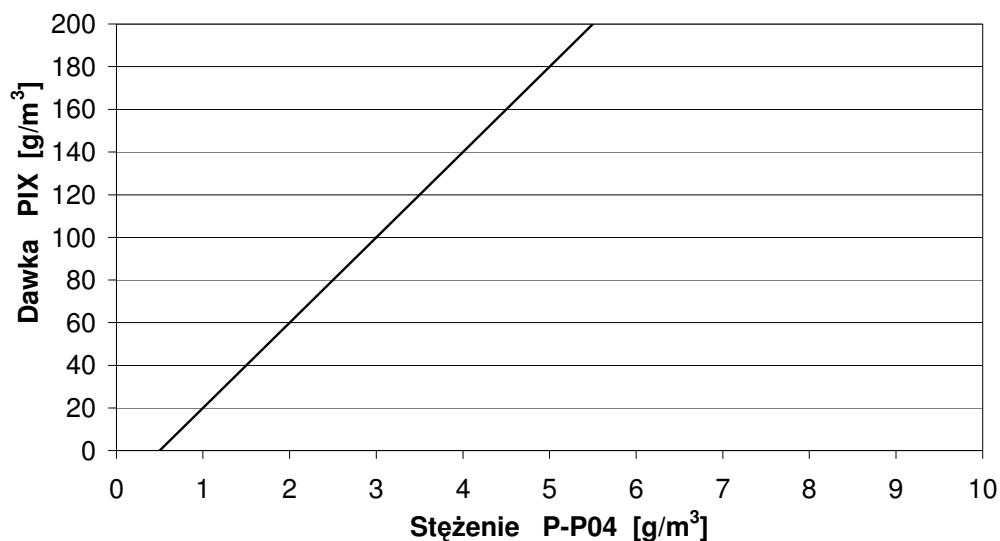
C- przepływ ścieków , m<sup>3</sup>/h

1500-gęstość roztworu PIX ,g /l

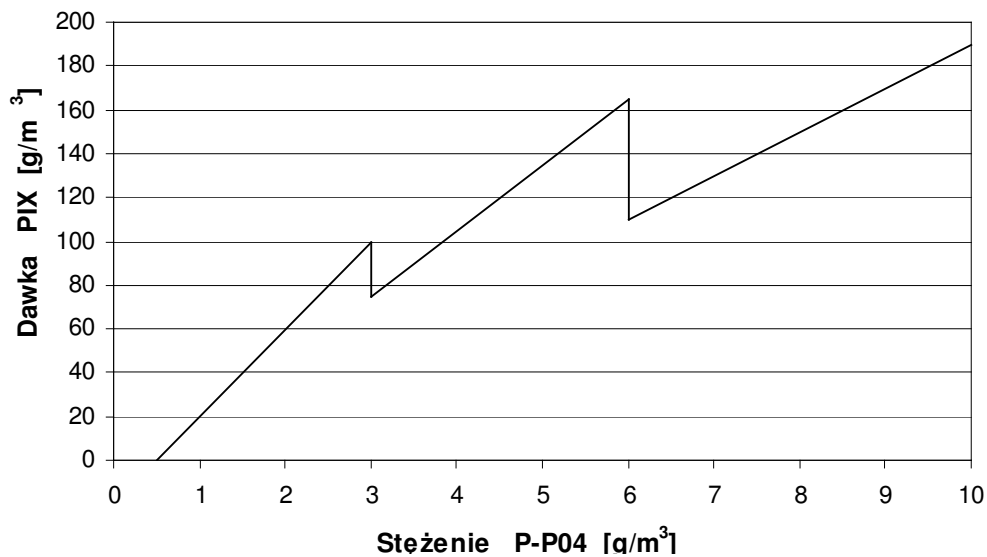
Algorytm dawkowania koagulantu podlegał ciągłej analizie. W pierwszej wersji (wykres nr 1 dla przykładowej dawki A=40 g PIX/gP-PO<sub>4</sub> ) ilość dawkowanego koagulantu wzrastała liniowo w zależności od stężenia ortofosforanów .

Następnym krokiem było przyjęcie ,że wraz ze wzrostem stężenia fosforu łatwiejsze jest jego usuwanie ,czyli ,że jednostkowa dawka koagulantu przy wyższych stężeniach winna być mniejsza. W związku z tym wprowadzono trzy przedziały stężenia P-PO<sub>4</sub> : 0,5-3,0 ; 3,0-6,0 ; 6,0-i powyżej . Dla każdego z nich zapewniono możliwość oddzielnego ustalania dawki w zakresie od 0-100 g PIX/gP-PO<sub>4</sub> . Przykładowy wykres dla przyjętej w pierwszym przedziale dawki 40 g PIX/gP-PO<sub>4</sub>,w drugim - 30 g PIX/gP-PO<sub>4</sub>,w trzecim-20 g PIX/gP-PO<sub>4</sub> przedstawia wykres nr 2. Dodatkowo ,aby uniknąć gwałtownych spadków dawki przy przechodzeniu przez wartości graniczne ( 3 lub 6 ) , wprowadzono „zatrzaskiwanie” dawek do momentu gdy następuje ich wzrost ( wykres nr 3 ).

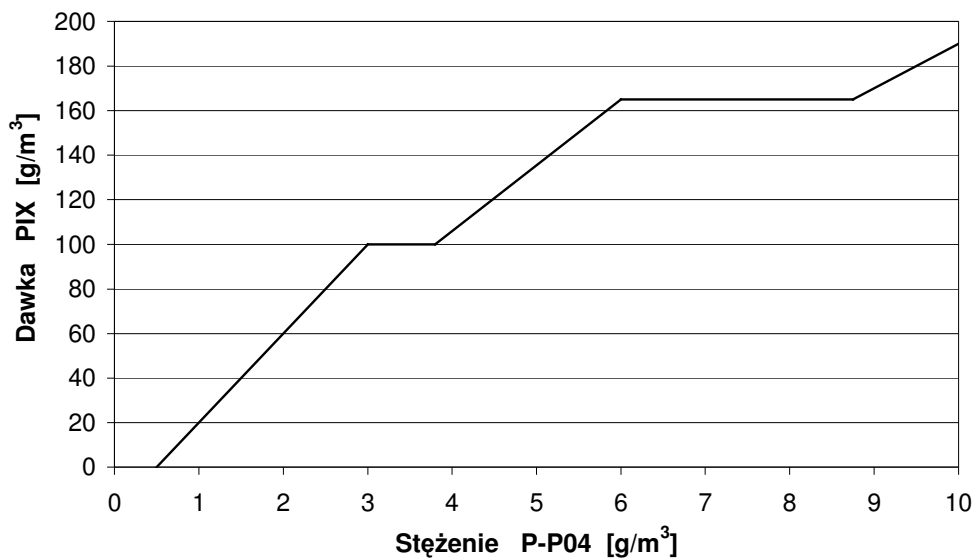
Wykres nr 1



Wykres nr 2



Wykres nr 3



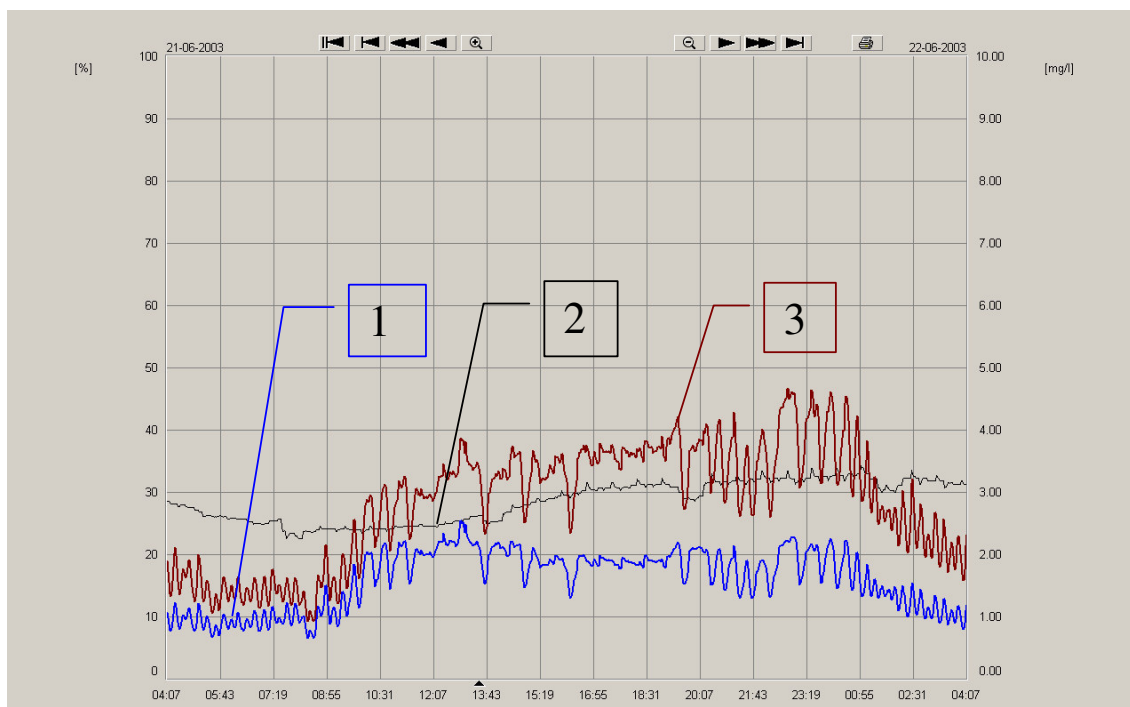
### Układ regulacji

Zadaniem układu regulacji jest wypracowanie sygnału sterującego wydajnością pomp dozujących PIX. Układ regulacji jest układem jednoparametrowym typu PID z wyjściem ciągłym. Pomiarom wiodącym jest średnie stężenie fosforanów wszystkich ciągów bloku biologicznego (średnia arytmetyczna pomiarów), drugim parametrem przychodzącym do systemu jest natężenie przepływu ścieków oczyszczonych.

Załączenie pompy w stan pracy automatycznej następuje z chwilą zmiany jej stanu przez operatora ze stanu Ręka w Auto. Jeżeli z wartości stężenia fosforu i przepływu wynika potrzeba dozowania PIX-u , aktualnie zdefiniowana jako prowadząca pompa podejmuje dozowanie w zakresie od 5-90 dawek na minutę. Jeżeli pierwsza pompa pracuje z maksymalną wydajnością oraz zwiększa się zapotrzebowanie na dozowanie PIX , regulator dołączy następną pompę.

Wybór kolejności pracy pomp dokonuje operator za pomocą selektora pomp na stacji operatorskiej.

Poniżej przedstawiamy przykładowy wykres z pracy stacji operatorskiej:



Jest to wybrany losowo wykres dobowy przepływu ścieków, stężenia ortofosforanów oraz ilości wprowadzanego koagulantu .Wynika z niego duża nierównomierność ilości ścieków (1) od 400-1200 m<sup>3</sup>/h , zmiany stężenia ortofosforanów (2) :2,3-3,3 mgP-PO<sub>4</sub> /l oraz duże wahania ilości wprowadzanego koagulantu (3) : 25-130 l/h.

Wykres obrazuje bardzo wyraźnie korelacje pomiędzy wielkościami branymi pod uwagę w algorytmie oraz jak bardzo w ciągu doby zmienia się ilość wymaganego do wprowadzenia koagulantu.

## WNIOSKI

1. W przypadku zastosowania sterowania usuwania fosforu w zależności od pomiarów on line ortofosforanów ,należy ustalić algorytm indywidualnie dla każdej oczyszczalni. Szczególny wpływ ma miejsce dawkowania ,skuteczność wymieszania, praca osadników wtórnych charakterystyczne dla danej oczyszczalni.
2. Koszty eksploatacyjne analizatorów nie są znaczne .Dają ważną informację o pracy komór osadu czynnego np.o defosfatacji biologicznej . Koszty inwestycyjne są znaczne ,ale procentowo w całości inwestycji niewielkie ( u nas około 1,5 % ) .
3. Ze względu na wysoki stopień zaawansowania technicznego analizatorów wymagana jest duża kultura obsługi .
4. Stwierdzono znaczną dokładność wyników analiz wskazywanych przez analizator .
5. Zastosowanie systemu daje możliwość precyzyjnego dawkowania koagulantu. Dalsza obserwacja pracy systemu pozwoli określić efekt ekonomiczny wynikający z optymalizacji zużycia koagulantu.