



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Innowacyjne źródło węgla dla wspomagania denitryfikacji w komunalnych oczyszczalniach ścieków

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego
Innowacyjna Gospodarka

Stacja dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego

Autorzy opracowania:

dr hab. inż. Jacek Mąkinia, prof. nadzw. PG
dr inż. Krzysztof Czerwionka
dr inż. Jakub Drewnowski

Gdańsk, marzec 2013

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	2
2. Opis stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego	3
2.1 Kontener wraz z wyposażeniem.....	3
2.1.1 Zbiornik na ZŻW.....	6
2.1.2 Pompa dozująca.....	7
2.1.3 Mieszadło	9
2.1.4 Orurowanie i armatura.....	9
2.2 Szafka sterowania.....	11
2.2.1 System sterowania stacji dozowania	16
2.2.2 Aparatura pomiarowa	19
2.3 Układ napełniania zbiornika.....	21

1. Wprowadzenie

Wielofazowe układy osadu czynnego, umożliwiające efektywny przebieg procesów biologicznego usuwania związków organicznych, azotu i fosforu, są powszechnie stosowane w dużych i średnich komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce. Doświadczenia eksploatacyjne jednoznacznie wskazują, że uzyskanie niskich stężeń związków biogennych w ściekach oczyszczonych jest możliwe, ale wymaga zapewnienia optymalnych warunków dla przebiegu biochemicznych procesów jednostkowych, takich jak nityfikacja, denityfikacja, czy podwyższona biologiczna defosfatacja.

W odniesieniu do procesu denityfikacji, jednym z podstawowych wymogów jest zapewnienie odpowiedniej ilości łatwo rozkładalnych związków organicznych w komorach anoksycznych. Wymóg ten często nie jest spełniony z uwagi na zużycie tych związków w komorze beztlenowej (na potrzeby biologicznej defosfatacji), a także pogarszający się w ostatnich latach stosunek węgla do azotu (ChZT/N) w oczyszczanych ściekach. W takich przypadkach może zachodzić konieczność dodawania zewnętrznych źródeł węgla, które można podzielić na konwencjonalne (np. metanol czy kwas octowy), produkty komercyjne (dostępne na rynku) oraz alternatywne (przemysłowe produkty uboczne lub odpadowe, w szczególności z przemysłu spożywczego).

Podstawową wadą dwóch pierwszych grup jest znaczne zwiększenie kosztów eksploatacyjnych, natomiast dla alternatywnych źródeł węgla wskazane jest przeprowadzenie badań technologicznych w celu weryfikacji warunków i rzeczywistych efektów stosowania takich związków. Dodatkową zaletą zastosowania niedrogich zewnętrznych źródeł węgla jest możliwość poprawy bilansu energetycznego oczyszczalni. Następuje to w wyniku poprawy efektywności usuwania zawieszin organicznych i zwiększenia ilości osadu surowego kierowanego do zamkniętych komór fermentacyjnych..

Uwzględniając duży potencjał ścieków z różnych gałęzi przemysłu spożywczego jako zewnętrznego źródła węgla organicznego w procesie biologicznego usuwania azotu i fosforu celowe wydaje się sprawdzenie możliwości ich zastosowania w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Szczegółową procedurę oceny tego typu ścieków lub produktów odpadowych przedstawiono w wytycznych opracowanych w ramach projektu „Innowacyjne źródło węgla dla wspomagania denityfikacji w komunalnych oczyszczalniach ścieków” (INCAS) dostępnych także na stronie projektu www.incas.pl.

W wytycznych tych wskazano na konieczność wykonania badań w skali technicznej z dozowaniem danego alternatywnego źródła węgla. W tym celu niezbędna będzie stacja do jego dozowania. Podobna sytuacja wystąpiła także w trakcie realizacji projektu INCAS, co wiązało się z koniecznością opracowania dokumentacji, a następnie skonstruowana mobilnej stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego.

Doświadczenia zdobyte w trakcie opracowywania dokumentacji oraz eksploatacji stacji dozowania przedstawiono w ramach niniejszego opracowania. Można je wykorzystać bezpośrednio do budowy tego typu stacji lub w trakcie opracowywania dokumentacji projektowej stacjonarnej instalacji dozowania ZŻW w komunalnych oczyszczalniach ścieków.

Opracowanie to jest dostępne bezpłatnie, jednak autorzy zwracają się z prośbą o przesłanie informacji o jego wykorzystaniu.

2. Opis stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego

W niniejszym opracowaniu przedstawiono szczegółowy opis stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego wykonanej na potrzeby realizacji badań w skali technicznej z dozowaniem zewnętrznego źródła węgla dla wspomagania denitryfikacji w ramach projektu INCAS.

Stacja dozowania wykonana została w postaci mobilnego zestawu obejmującego następujące elementy składowe:

- kontener wyposażony w zbiornik wraz z armaturą,
- szafka sterowania wyposażona w system sterowania, rejestracji i wizualizacji pracy stacji dozowania,
- układ napełniania zbiornika obejmujący pompę wraz z rozwijanymi węzami.

W ramach projektu INCAS analizowano zastosowanie różnych źródeł węgla organicznego pochodzącego z przemysłu spirytusowego. Jako najbardziej obiecujący uznano oleje fuzlowe, które z uwagi na skład należą do substancji łatwopalnych. Z tego powodu kontener wraz z wyposażeniem wykonano w wersji przeciwwybuchowej (EX), natomiast szafka sterownicza odsunięta jest od niego na odległość 10 m.

Cała instalacja wykonana została jako wolnostojąca, w układzie odpornym na działanie zewnętrznych warunków atmosferycznych.

2.1 Kontener wraz z wyposażeniem

Podstawowe parametry techniczne kontenera:

- wymiary zewnętrzne długość 2200mm, szerokość 1500mm, wysokość całkowita 2500 mm,
- waga ok. 900 kg,
- rama nośna wykonana z profili zimnogiętych 30x30x3 mm, umieszczonych w odstępach nie większych niż 1 metr, materiał stal S235JR, zabezpieczenie antykorozyjne farbą epoksydową, malowanie natryskowe lub ręczne
- podłoga wykonana z blachy ryflowanej gorącowalcowanej typu ŁEZKA, grubość 3 mm, materiał stal S235JR, zabezpieczenie antykorozyjne farbą epoksydową, malowanie natryskowe lub ręczne
- ściany boczne wykonane z paneli elewacyjnych z blachy powlekanej, panel typu PS (produkcji np: Blachy Pruszyński lub równoważny tj. o nie gorszej jakości)
- dach wykonany z blachy trapezowej powlekanej, typ T14 dach (produkcji: np. Blachy Pruszyński lub równoważny tj. o nie gorszej jakości)
- rama dolna wykonana w sposób umożliwiający transport wózkiem widłowym, wykonana z profili 100x50x4,0 mm, materiał stal S235JR, rama połączona ze zbiornikiem za pomocą połączeń śrubowych (fot. 1)
- ściana boczna otwierana dwudzielnie, przystosowana do zamknięcia kłódką pałkową, konstrukcja umożliwiająca otwieranie skrzydła o kąt 180 stopni z zabezpieczeniem przed przypadkowym zamknięciem.



Fot. 1. Widok ramy dolnej kontenera stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego

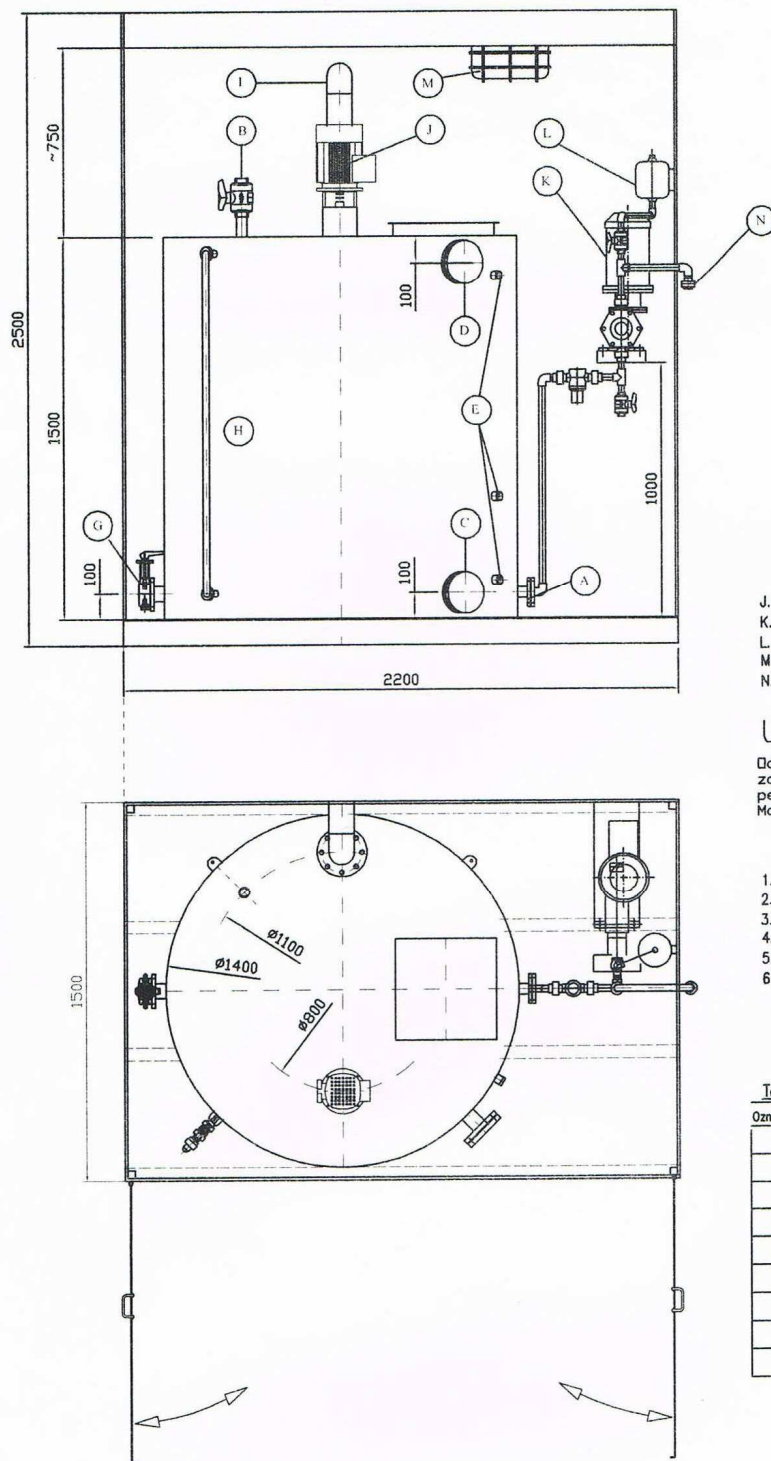
Dodatkowo kontener wyposażony jest w następujące elementy montażowe:

- rama nośna pod pompę dozującą, wyniesiona 1,0 m nad poziom podłogi, wykonana z kątownika 40x40x4 mm, materiał stal kwasoodporna 1.4301, wymiary i rozstaw otworów zostały przewidziane do wyspecyfikowanej pompy dozującej MiltonRoyEurope typ MaxRoy RA,
- w oprawę oświetleniową w wykonaniu przeciwwybuchowym Ex o mocy 150W,
- płyta montażowa dla przetwornika pH o wymiarach szerokość 200 mm i wysokość 300 mm
- płyta montażowa dla wyłącznika oświetlenia o wymiarach 100x100 mm
- na ramie kontenera należy przewidzieć otwory umożliwiające przymocowanie korytka kablowego o wymiarach 50x50 mm.

Wyposażenie kontenera stanowią:

- zbiornik na ZŻW,
- mieszadło mechaniczne,
- pompa dozująca wraz z armaturą.

Na rys. 1 przedstawiono rysunek wymiarowy kontenera wraz z wyposażeniem, a na fot. 2 widok wnętrza kontenera.



Urządzenia dodatkowe:

- J. Mieszadło
- K. Pompa dozująca z oprzyrządowaniem
- L. Tłumik pulsacji
- M. Oprawa oświetleniowa
- N. Szybkozłącze kłowe typ GEKO 1/2" – stal KS

UWAGA:

Odpowietrzenie wykonać z rury $\phi 114,3 \times 2,0$ i zakończyć kratką wentylacyjną ścienną z perforacją,
Materiał: stal 1.4301

Dane techniczne:

1. Zbiornik bezciśnieniowy cylindryczny pionowy
2. Zbiornik stalowy kwasoodporny ze stali 1.4301
3. Temperatura pracy do 40 °C
4. Zbiornik zabudowany w kontenerze
5. Otwór rewizyjny w zbiorniku o wymiarach 400x400
6. Kolnierzy przyłączeniowy mieszadła zgodnie DTR mieszadła

Tabela króćców dla jednego zbiornika

Oznaczenie DN (mm)	Pn (bar)	Ilość	Przeznaczenie	Uwagi
A	15	1	Króciec tłoczny pompy dozującej	Długość króćca 80 mm
B	1"	1	Doprowadzenie wody wodociągowej	Długość króćca 80 mm
C	50	1	Króciec spustowy	Długość króćca 80 mm
D	50	1	Króciec przebiegowy	Długość króćca 80 mm
E	M27x2	3	Króciec ANPA	
G	50	1	Króciec połączeniowy do drugiego zbiornika	Długość króćca 80 mm
H	20	1	Króciec pozbawiacza	dobór wg. producenta
I	100	1	Króciec odpowietrzenia	Długość króćca 100 mm

Rys. 1. Rysunek wymiarowy kontenera stacji dozowania wraz z wyposażeniem

Kontener może być ustawiony na wolnym powietrzu. Dla równomiernego obciążenia dna, kontener należy osadzić na równym, stabilnym podłożu. Przewody doprowadzające i odprowadzające medium, przyłącza spustowe powinny być mocowane w sposób nie powodujący naprężeń i odkształceń króćców. Przy zabudowie wolnostojącej kontener nie może być narażony na zewnętrzne działania mechaniczne mogące uszkodzić powierzchnię poszycia.



Fot. 2. Kontener stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego wraz ze zbiornikiem i armaturą

Do podnoszenia kontenera należy używać wózka widłowego. Widły wózka należy wprowadzić w konstrukcji dna kontenera. Niedopuszczalne jest podnoszenie, przewożenie kontenera za inne elementy konstrukcji niż w/w. Podczas rozładunku oraz ustawiania kontenera należy unikać obciążeń powstających od nagłych wstrząsów które mogą być przyczyną uszkodzenia kontenera, zbiornika oraz armatury połączeniowej i urządzeń znajdujących się wewnątrz. Przed przystąpieniem do podnoszenia kontenera należy upewnić się, że znajdujący się wewnątrz zbiornik jest całkowicie opróżniony z cieczy.

2.1.1 Zbiornik na ZŻW

Podstawowe parametry techniczne zbiornika:

- zbiornik bezciśnieniowy cylindryczny pionowy, do zabudowy w kontenerze,
- materiał: stal kwasoodporna 1.4301, grubości blachy płaszczu min 2 mm i dennic min 4 mm,
- wymiary:
 - średnica zewnętrzna 1400 mm,
 - wysokość czynna 1500 mm,
 - wysokość całkowita 1600 mm,
- objętości:
 - czynna 2100 dm³,
 - całkowita 2300 dm³,
- warunki pracy:
 - temperatura max medium 40°C,

- temperatura min otoczenia 4°C,
- przyłącza - wszystkie połączenia na instalacji muszą być połączeniami spawanymi (symbole zgodnie z rys. 1):
 - 1 x tuleja kołnierzowa DN 50 (D),
 - 1 x tuleja kołnierzowa DN 100 (I),
 - 2 x króciec gwintowany GZ 2" (C i G),
 - 1 x króciec gwintowany GZ 1" (B),
 - 1 x króciec gwintowany DN 15 (A),
 - 3 x króciec gwintowany M27x2 (E),
 - 2 x króciec poziomowskazu DN 20 (H)
- wyposażenie:
 - 1 x poziomowskaz kołnierzowy FIG 708 (z rurką szklaną, szkło B-Si z osłoną w wykonaniu ze stali kwasoodpornej 1.4301, uszczelnienie PTFE),
 - 1 x flansa mieszała,
 - 1 x pokrywa 400x400 w wykonaniu ze stali kwasoodpornej 1.4301,
 - 2 x zawór nierdzewny odcinający kulowy 2",
 - 1 x przewód wentylacyjny nierdzewny DN 100

2.1.2 Pompa dozująca

Podstawowe wymagania techniczne pompy:

- pompa w wykonaniu przeciwwybuchowym spełniającym wymagania - ATEX CE II 2 G/D c T4
- typu membranowego, napędzana silnikiem elektrycznym przystosowanym do współpracy z falownikiem (nie dopuszcza się zastosowania pompy nurnikowej lub elektromagnetycznej).
- materiał głowicy w której będzie tłoczone medium musi być wykonane z materiału nie gorszego niż - SS 316L – dotyczy całej przestrzeni głowicy w ramach której przetłaczane jest medium wraz z zaworami na ssaniu i tłoczeniu
- ilość głowic w pompie – jedna (nie dopuszcza się układów wielogłowicowych)
- musi posiadać wewnętrzny zawór nadmiarowy, wykonany z materiału nie gorszego niż SS316L
- wykonanie gniazd zaworów oraz kulek w zaworach z materiału nie gorszego niż SS316L
- membrana bezpośrednio przetłaczająca medium musi być wykonana co najmniej z materiału kompozytowego w pokryciu PTFE od strony procesowej, membrana musi posiadać integralny ring uszczelniający powierzchnię pracy
- napęd membrany hydrauliczny
- materiał, z którego zostaną wykonane uszczelnienia w obrębie głowicy nie gorszy niż PTFE
- korpus pompy dozującej – żeliwny
- przyłącza do pompy - ½ " na ssaniu i tłoczeniu – typ NPT
- maksymalne gabaryty pompy to: gł. 650 mm x szer. 250 mm x wys. 700mm
- kolor pompy – z uwagi na strefę zagrożenia wybuchem – żółty

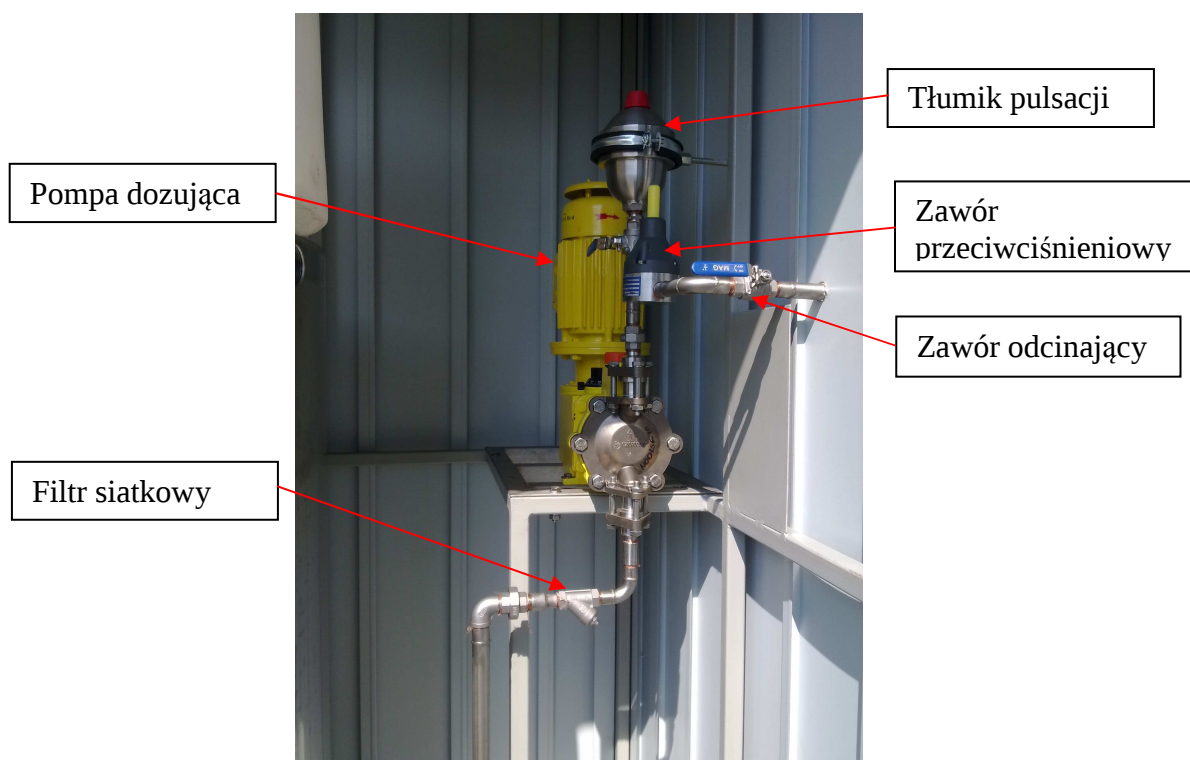
Parametry pracy:

- praca ciągła w trudnych warunkach zewnętrznych (duża wilgotność, temperatura 4-40 °C , działanie szkodliwych czynników zewnętrznych, pracy w strefie zagrożenia wybuchem)
- wydajności nie mniejsza niż 330 l/h przy ciśnieniu pracy 2 bar oraz 22 l/h przy maksymalnym ciśnieniu pracy pompy
- maksymalne ciśnienie pracy pompy nie może być mniejsze niż 10 bar
- minimalna częstotliwość skoków membrany –144 skoków/min
- dokładność dozowania pompy dozującej nie może być mniejsza niż +/- 1%. Powyższe wymaganie musi być spełnione co najmniej w zakresie wydajności przepływu pompy od 10% do 100% wydajności
- zdolność zasysania pompy musi być nie mniejsza niż - 2 m H₂O
- maksymalna temperatura medium, które może być podane na głowicę: +90 °C.

Parametry silnika pompy

- moc co najmniej – 0,75 kW
- prędkość obrotowa co najmniej 1500 rpm
- zasilanie trójfazowe 400VAC 50 Hz
- wykonanie ATEX CE II 2 G/D c T4
- przystosowany do pracy z falownikiem

W wykonanej stacji dozowania zastosowano pompę dozującą produkcji MiltonRoyEurope typ MaxRoy RA. Na fot. 3 przedstawiono widok zamocowanej na specjalnej ramie w kontenerze pompę wraz z częścią armatury i orurowania.



Fot. 3. Widok na pompę dozującą wraz z armaturą w kontenerze stacji dozowania

2.1.3 Mieszadło

Podstawowe wymagania techniczne pompy:

- wykonanie przeciwybuchowe ATEX CE II 2 G/D c T4,
- wyposażone w przekładnię redukcyjną redukującą obroty propellera z wałem w stosunku do obrotów silnika,
- łożyskowanie bezobsługowe,
- smarowanie przekładni samoczynne olejowe,
- propeler zainstalowany na wale musi być wyposażony w min 4 łopaty wykonany z materiału nie gorszego niż SS316L,
- możliwość pracy w pustym zbiorniku bez wystąpienia niebezpieczeństwa skrzywienia wału,
- klasa ochrony nie gorsza niż IP 55,
- waga do 56 kg,
- mieszadło nie może wystawać ponad zbiornik więcej niż 400 mm,
- średnica kołnierza umożliwiającego montaż na zbiorniku do 200 mm,
- kolor – z uwagi na strefę zagrożenia wybuchem – żółty.

Parametry pracy:

- temperatura pracy mieszadła nie mniejsza niż 80 °C
- możliwość pracy w medium o lepkości ponad 100 mPas, i gęstości ponad 1,1 kg/m³
- prędkość obrotowa propellera nie mniejsza niż 90 rpm
- średnica propellera nie mniejsza niż 600 mm
- wydajność mieszadła nie mniejsza niż 955 m³/h
- obciążenie osiowe nie mniejsze niż 18 (DaN)
- moment obrotowy nie mniejszy niż 7 (DaN)
- moc zainstalowanego silnika nie mniej niż 0,75 KW, zasilanie trójfazowe 50 Hz w wykonaniu przeciwybuchowym ATEX CE II 2 G/D c T4,
- silnik wyposażony w wentylator chłodzący.

W wykonanej stacji zastosowano mieszadło z przekładnią produkcji MiltonRoyEurope typ VRP, z wałem o długości 100 cm. Na fot. 2 widoczny jest silnik mieszadła zainstalowanego na zbiorniku wewnątrz kontenera.

2.1.4 Orurowanie i armatura

Tłumik pulsacji (przyjęto tłumik pulsacji produkcji MiltonRoyEurope, fot. 3):

- objętość przestrzeni roboczej co najmniej 0,5 l
- max ciśnienie pracy nie mniejsze niż 150 bar
- ciśnienie robocze 8 bar
- zakres temp. pracy: -15 +80 °C
- obudowa wykonana ze stali nierdzewnej nie gorszej niż SS316L
- membrana robocza wykonana z butylu

- przyłączy do instalacji ½ '' NPT
- wyposażony w zawór napełniania tłumika wykonany ze stali nierdzewnej SS316
- możliwość samodzielnego uzupełnienia przestrzeni roboczej nad membraną azotem celem ustalenia ciśnienia roboczego
- możliwość samodzielnej wymiany w tłumiku membrany oraz zaworu uzupełniania azotu

Zawór przeciwcisnieniowy (przyjęto zawór produkcji MiltonRoyEurope, fot. 3):

- membrana zaworu nie gorsza niż Viton
- materiał korpusu zaworu nie gorszy niż SS 316
- przyłącza ½''
- możliwość podłączenia zamiennie końcówek (wtedy spełniać będzie funkcję zaworu bezpieczeństwa)
- zakres możliwości ustawienia pracy zaworu 0-10 bar
- maksymalny przepływ zaworu przy współpracy z pompą membranową 350 l/h

Filtr (przyjęto filtr siatkowy, fot. 3):

- materiał korpusu nie gorszy niż SS 316
- wykonany w układzie Y umożliwiający swobodną wymianę wkładu

Orurowanie:

- instalacja orurowania obejmująca część ssawną i tłoczną wykonana ze stali kwasoodpornej 1.4301,
- zawór odcinający kulowy na odcinku ssącym
- zawór odcinający kulowy na odcinku tłocznym na wyjściu z pompy spełniający wymagania maksymalnego ciśnienia tłoczenia pompy
- zawór odcinający kulowy na dodatkowym wyjściu ze zbiornika umożliwiającym podłączenie do zbiornika rezerwowego
- zawór odcinający kulowy na spuszcie
- połączenie skręcane typu NPT na końcu przewodu tłocznego (na zewnątrz kontenera)
- z dodatkową instalacją króćca montażowego dla sondy pH ½ cala wykonanego ze stali nierdzewnej, o parametrach pracy: ciśnienie do 100 bar, temperatura pracy do 100 °C

Dodatkowym wyposażeniem jest elastyczny przewód tłoczny o średnicy ½ '' i długości 50 m wykonany z PE zakończony połączeniem skręcanym typu NPT do połączenia z końcówką instalacji na zewnątrz kontenera (fot. 4).



Fot. 4. Elastyczny przewód tłoczy podłączony do instalacji dozowania ZŻW w kontenerze

2.2 Szafka sterowania

Szafka sterowania wykonana jest w postaci niezależnego obiektu oddalonego na min. 10 m od kontenera. Takie rozwiązanie powoduje, że nie musi ona spełniać wymagań strefy bezpieczeństwa Ex.

Parametry szafki:

- wolnostojąca, odporna na agresywne środowisko oczyszczalni ścieków.
- wymiary: wysokość 1000mm, szerokość 750mm, gł.: 420 mm
- materiał: poliester
- z podwójnymi drzwiami, elementy sterownicze na drzwiach wewnętrznych, szafa zamykana na klucz
- wyposażona w cokół ułatwiający posadowienie szafy na podłożu (przytwierdzenie do płyty betonowej), minimalna wysokość cokołu 400mm
- klasa bezpieczeństwa min. IP55
- zasilanie 3 fazowe, zakładana moc 4 kW
- kabel zasilający szafę: giętki przewód w izolacji PCV 5x2,5mm², długość 60m, zakończony wtyczką 16A/5p, kabel układany w rurkach z tworzywa sztucznego lub w peszlu

Na fot. 5 przedstawiono położenie szafki i kontenera w trakcie badań na terenie Lewobrzeżnej Oczyszczalni Ścieków w Poznaniu.



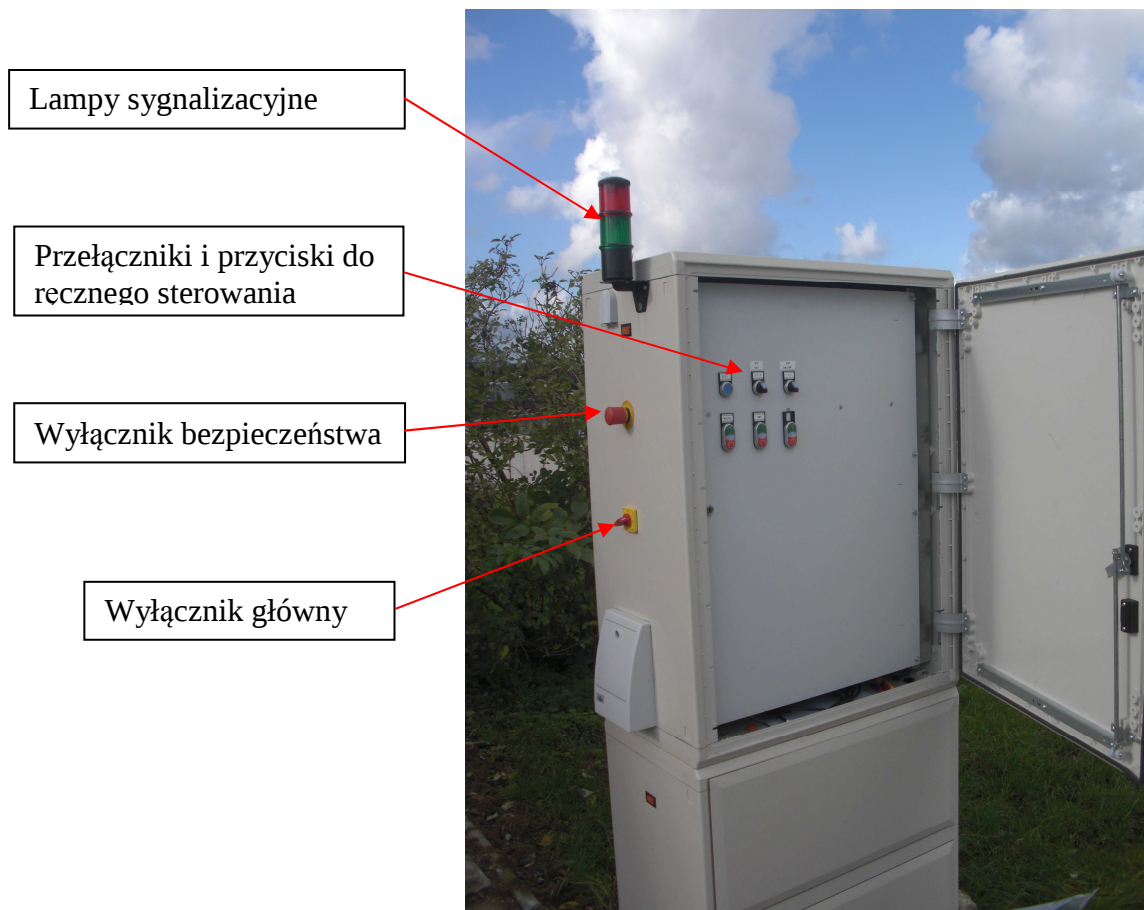
Fot. 5. Kontener i szafka sterowania stacji dozowania na terenie LOŚ w Poznaniu

Wyposażenie szafy:

- sterownik PLC do sterowania układem dozowania zewnętrznego źródła węgla: napięcie zasilania 24 VDC, zasoby sterownika: 16 wejść binarnych, 12 wyjść binarnych, 4 wejścia analogowe, 2 wyjścia analogowe, zegar czasu rzeczywistego,
- falownik zasilający pompę dozowania (moc pompy 0,75 kW) , możliwość zdalnego lub ręcznego zadawania częstotliwości wyjściowej falownika,
- zasilacz 24 VDC, wydajność 4A z akumulatorami do utrzymania pracy sterownika PLC w przypadku zaniku zasilania, czas podtrzymania ok. 4 minuty,
- wyłącznik główny szafy (znajduje się na lewej ścianie bocznej szafy sterującej i służy do załączania i wyłączania dopływu energii elektrycznej do całego urządzenia),
- gniazdko zasilania 230 VDC, 6 A,
- przełącznik blokady pracy automatycznej,
- wyłącznik bezpieczeństwa (znajduje się na lewej ścianie bocznej szafy sterującej i służy do awaryjnego wyłączenia i blokowania załączenia urządzeń wykonawczych),
- dwie lampy sygnalizujące stan układu sterowania,
- obwody sterownicze do lokalnego i zdalnego załączania mieszałki i pompy, (przełącznik praca Lokalna/Zdalna, przycisk START, przycisk STOP, lampka potwierdzająca pracę napędu,
- aparaty zabezpieczające zasilanie mieszałki, falownika pompy, oświetlenia i pozostałych elementów szafy sterowniczej,
- komputer przenośny typu laptop wyposażony w bezprzewodowy modem internetowy o stałym adresie IP, stanowiący integralną część systemu sterowania.
- na wewnętrznych drzwiach szafy znajdują się przełączniki i przyciski do ręcznego sterowania urządzeniami:

- przycisk „RESET” służy do kasowania alarmów (również reset awarii falownika)
- przełącznik „Tryb pracy” - wybór trybu pracy urządzeń wykonawczych, pozycja „Z” - sterowanie zdalne z wizualizacji na komputerze PC, pozycja „L” - sterowanie lokalne z przycisków START/STOP
- przełącznik „Start samoczynny” określa sposób działania układu po zaniku napięcia zasilającego, pozycja „0” blokuje pracę automatyczną układu po zaniku napięcia, pozycja „1” pozwala na samoczynny start układu po zaniku napięcia
- przyciski START/STOP pozwalają na uruchomienie i zatrzymanie napędów, gdy wybrany jest tryb pracy „L” (lokalny). Pompa 2 jest sterowana tylko z przycisków START/STOP, niezależnie od pozycji przełącznika „Tryb pracy”

Położenie poszczególnych elementów wyposażenia szafy przedstawiono na fot. 6 i 7.



Fot. 6. Widok na ścianę zewnętrzną z elementami wyposażenia i drzwi wewnętrzne szafki sterowania



Fot. 7. Widok wnętrza szafki sterowania wraz z komputerem przenośnym

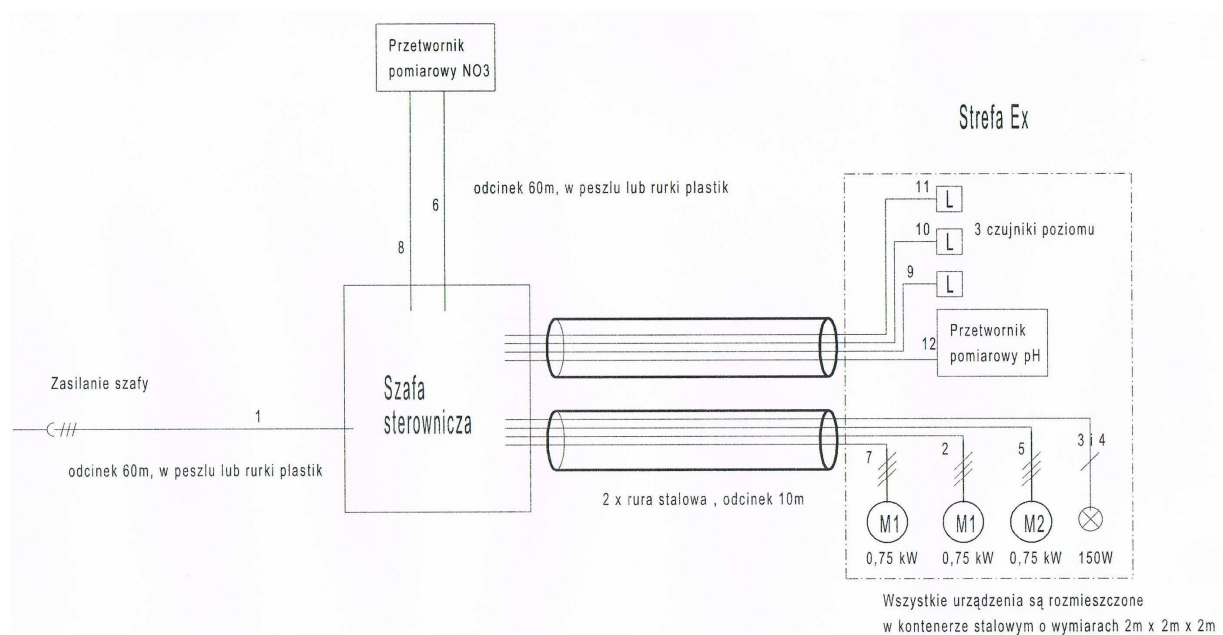
Urządzenia zasilane z szafy sterowania:

- mieszadło 0,75 kW, (znajduje się w strefie Ex)
- pompa 0,75 kW (znajduje się w strefie Ex)
- lampa 150W (znajduje się w strefie Ex)
- przetwornik pomiarowy sondy pH - zasilanie 24 VDC (znajduje się w strefie Ex)
- przetwornik pomiarowy sondy NO_3 - zasilanie 230 VAC, 50 VA (poza strefą Ex)

Urządzenia i kable obsługiwane z szafy:

- specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$, długość 15 m (zasilanie mieszadła 0,75 kW)
- specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$ w ekranie, długość 15 m (zasilanie pompy 0,75 kW)
- specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$, długość 15 m (zasilanie lampy), wyłącznik instalacyjny w wykonaniu przeciwwybuchowym,
- specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$, długość 15 m, bariera bezpieczeństwa (zasilanie przetwornika pomiarowego w strefie Ex),
- specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, $4 \times 0,75 \text{ mm}^2$ w ekranie, długość 15 m, bariera bezpieczeństwa dla dwóch pomiarów analogowych (pomiar analogowy z przetwornika pomiarowego w strefie Ex),

- trzy czujniki poziomu (bistabilne, z elektrodą detekcyjną w postaci krótkiego pręta, z możliwością regulacji czułości i histerezy czujnika) w wykonaniu przeciwwybuchowym (iskrobezpiecznym - Xi), mocowanie czujnika na gwint M27x2, podłączenie każdego czujnika: specjalny przewód sterowniczy dla zastosowań w strefach zagrożonych wybuchem, 4x0,75 mm² w ekranie, długość 15 m, bariera bezpieczeństwa (obwód iskrobezpieczny - separator binarny w wykonaniu iskrobezpiecznym; parametry dostosowane do parametrów czujnika poziomu, z odpowiednimi certyfikatami),
- kable biegnące do strefy Ex układane w dwóch rurach ze stali ocynkowanej, średnica minimum 6/4", grubość ścianek minimum 2,6mm, osobno kable zasilające i osobno kable pomiarowe, długość odcinka ok. 10m,
- podłączenie przetwornika pomiarowego poza strefą Ex: zasilanie - giętki przewód sterowniczy w izolacji PCV ,
- 3 x 1,5 mm², długość 60m, pomiar analogowy - giętki przewód sterowniczy w izolacji PCV , 2 x 2 x 0,75 mm² w ekranie, długość 60m, kable układane w rurkach z tworzywa sztucznego lub w peszlu.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny systemu sterowania: 1-zasilanie szafy sterowniczej, 2-zasilanie silnika mieszadła, 3i4-zasilanie oświetlenia, 5-zasilanie silnika pompy przetłaczania ZŻW, 6-zasilanie przetwornika pomiarowego NO₃, 7-zasilanie silnika pompy przetłaczania ZŻW, 8-pomiary 4-20 mA, 9,10 i 11-czujnik poziomu, 12-zasilanie przetwornika pomiarowego pH.

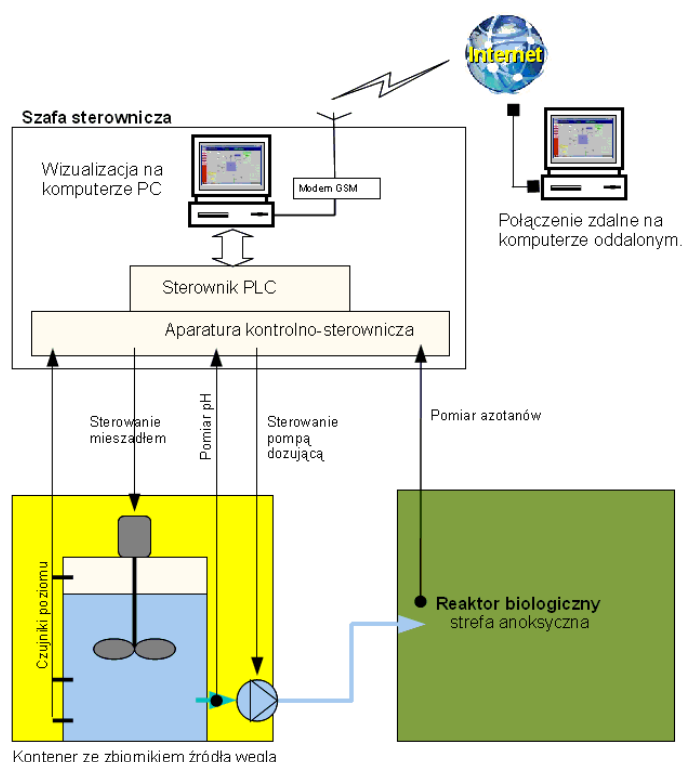
2.2.1 System sterowania stacji dozowania

Podstawą systemu sterowania są znajdujące się w szafie sterowania sterownik PLC i komputer przenośny. Sterownik PLC odczytuje dane z aparatury kontrolnej i pomiarowej oraz realizuje sterowanie urządzeniami wykonawczymi (mieszadło i pompa). Na komputerze zainstalowany jest program wizualizacji, który służy do: sterowanie obiektem, gromadzenia i prezentacji danych pomiarowych, kontroli działania układu. Komputer wyposażony jest w bezprzewodowy modem GSM umożliwiający zdalny dostęp do programu wizualizacji.

Wymagania dla wizualizacji na komputerze:

- rejestracja pomiarów analogowych i stanów binarnych,
- możliwość wprowadzania nastaw parametrów związanych z pracą układem sterowania stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla,
- sygnalizacja stanów awaryjnych,
- możliwość ustawienia częstotliwości pomiaru azotanów, pH i temperatury,
- przenoszenia zarejestrowanych danych do plików dyskowych; dane powinny być zapisywane w formacie przystosowanym do odczytu przez program Ms Excel; powinna istnieć możliwość wyboru danych, okresu czasowego rejestracji (np. 1 dzień) i okresu próbkowania (np. dane odczytywane co 1 sekundę).

Schemat funkcjonalny systemu sterowania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny systemu sterowania stacją dozowania zewnętrznego źródła węgla (Mąkinia i wsp. 2013)

Zalecenia odnośnie wizualizacji:

- na ekranie głównym wizualizacji powinien być pokazany schemat stacji dozowania zewnętrznego źródła węgla z uwzględnieniem:
 - analizatora $\text{NO}_3\text{-N}$ (w bioreaktorze oczyszczalni),
 - zbiornika (pompa dozująca, mieszadło, pomiar pH i temperatury oraz stan napełnienia),
 - stanu zasilania szafy sterującej,
 - trybu pracy stacji (automatyczny/ręczny),
 - stanu urządzeń wykonawczych (włączony/wyłączony),
 - informacji o sytuacjach alarmowych (niski poziom medium w zbiorniku, wysoka temperatura, awarie urządzeń wykonawczych),
 - przyciski do sterowania ręcznego elementami wykonawczymi,
- wizualizacja powinna posiadać następujące okna dodatkowe:
 - "Wykresy" - okno do przeglądania rejestracji przebiegów czasowych wszystkich pomiarów analogowych i sygnałów binarnych (praca mieszadła, poziomy w zbiorniku),
 - "Regulator" - okno z nastawami regulatorów PID dozowania zewnętrznego źródła węgla,
 - "Alarmy" - okno przeglądania historii alarmów i stanów ostrzegawczych,
 - "Nastawy" - okno do określania charakterystyki wydajności pompy, czasów pracy mieszadła,
 - "Dane" - okno do przenoszenia zarejestrowanych danych do plików dyskowych; dane powinny być zapisywane w formacie przystosowanym do odczytu przez program Ms Excel, wybór danych, przedziału czasowego rejestracji, okresu próbkowania.

Na rys. 4 przedstawiono ekran główny wizualizacji wykonanej dla stacji dozowania.

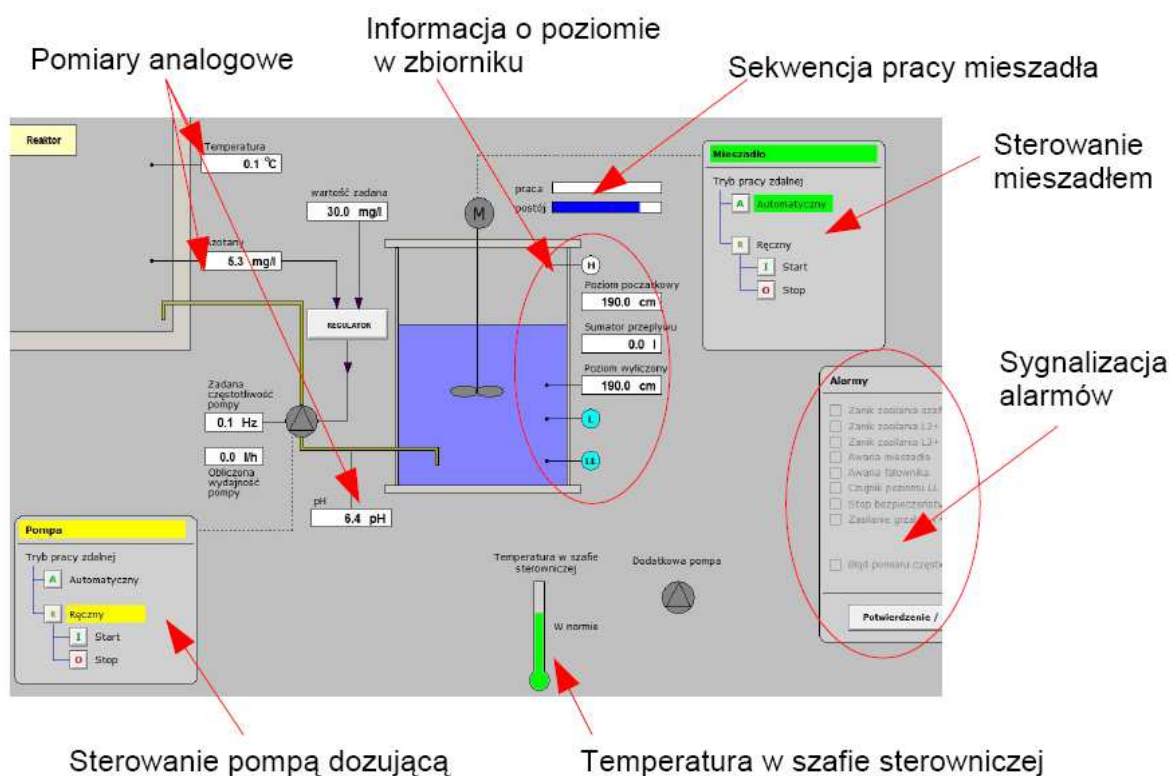
W części środkowej ekranu (na szarym tle) znajduje się schemat układu sterowania z informacjami o stanie układu i przyciskami do sterowania mieszadłem i pompą dozowania. Wizualizacja umożliwia zdalne sterowanie mieszadłem i pompą dozującą. Na ekranie głównym ze schematem instalacji znajdują się stacyjki sterowania tymi napędami.

Kolor podświetlenia nazwy napędu informuje o trybie sterowania zdalnego:

- żółty to sterowanie zdalne ręczne,
- zielony to sterowanie automatyczne.

Zmiana trybu następuje poprzez „kliknięcie” myszką odpowiedniego przycisku.

W trybie automatycznym mieszadło pracuje w sekwencji: czas pracy / czas przerwy, (nastawy czasów znajdują się w oknie „Ustawienia”). Pompa dozująca jest sterowana przez cyfrowy regulator PID (nastawy regulatora znajdują się w oknie „Regulator”). W trybie zdalnym ręcznym napędy załączane i wyłączane są przez przyciski. Sterowanie zdalne może być zablokowane przez sygnał suchobiegu. Załączenie pompy dozującej jest blokowane przez czujnik dolny poziomu LL (sygnalizacja braku cieczy blokuje załączenie pompy). Załączenie mieszadła jest blokowane przez czujniki dole poziomu LL i L (sygnalizacja braku cieczy na którymkolwiek z tych czujników blokuje załączenie mieszadła).



Rys. 4. Ekran główny wizualizacji

W oknie regulatora znajdują się następujące wielkości:

- skala pomiaru azotanów – to zakres pomiarowy azotanów (ta wartość musi być taka sama jak nastawa na przetworniku azotanów)
- wartość zadana azotanów – to wartość zadana dla regulatora
- uchyb regulacji – to różnica między wartością zadaną, a pomiarem
- wyznaczona wydajność pompy – to wydajność z jaką pompa powinna pracować w bieżącym okresie regulatora
- okres pracy regulatora – to czas pomiędzy kolejnymi obliczeniami sterowania regulatora
- nastawy regulatora – to nastawy regulatora PID, który działa wg następującego wzoru:

$$\Delta u(k) = k_p \left[\left(1 + \frac{T_p}{T_I} + \frac{T_D}{T_p} \right) e(k) - \left(1 + 2 \frac{T_D}{T_p} \right) e(k-1) + \frac{T_D}{T_p} e(k-2) \right]$$

gdzie:

T_p to okres pracy regulatora,

e to uchyb regulacji w ostatnich 3 krokach.

2.2.2 Aparatura pomiarowa

Urządzenia pomiarowe wykorzystywane są do określenia podstawowych parametrów on-line:

- pH i temperatury produktów odpadowych dozowanych ze zbiornika,
- $\text{NO}_3\text{-N}$ w bioreaktorach badanej oczyszczalni ścieków w strefie dozowania ZŻW.

Sonda do pomiaru $\text{NO}_3\text{-N}$

W projekcie przyjęto sondę NITRATAX plus sc firmy HachLange, o następujących parametrach:

- budowa
 - bezodczynnikowa cyfrowa sonda pomiarowa z układem UV
 - zintegrowane czyszczenie wycieraczką
 - układ optyczny z kompensacją mętności oraz zawiesiny,
 - obudowa ze stali szlachetnej
 - możliwość montażu w armaturze zanurzeniowej oraz przepływowej,
- parametry pracy
 - zakres pomiarowy co najmniej $0,1\text{-}100 \text{ mg NO}_3\text{-N/dm}^3$
 - dokładność pomiarowa $\text{mg NO}_3\text{-N/dm}^3$: nie mniejsza niż $\pm 3 \%$ z wartości pomiaru
 - temperatura pracy: zakres nie mniejszy niż od $+2$ do $+40^\circ\text{C}$,
- wyposażenie:
 - zestaw wycieraczek do sond pomiarowych azotanów - min 5 szt.
 - zestaw mocujący sondę do brzożu zbiornika bioreaktora wykonany ze stali nierdzewnej

Sonda współpracuje z wydzielonym przetwornikiem mocowanym na bioreaktorze w rejonie dozowania ZŻW i pomiaru azotanów (fot. 8).



Fot. 8. Przetwornik sondy NITRATAX plus sc zainstalowany do bariery bioreaktora w trakcie badań w skali pełnotechnicznej w GOŚ „Dębogórze” w Gdyni

Parametry pracy przetwornika (przyjęto przetwornik SC200 firmy HachLange)

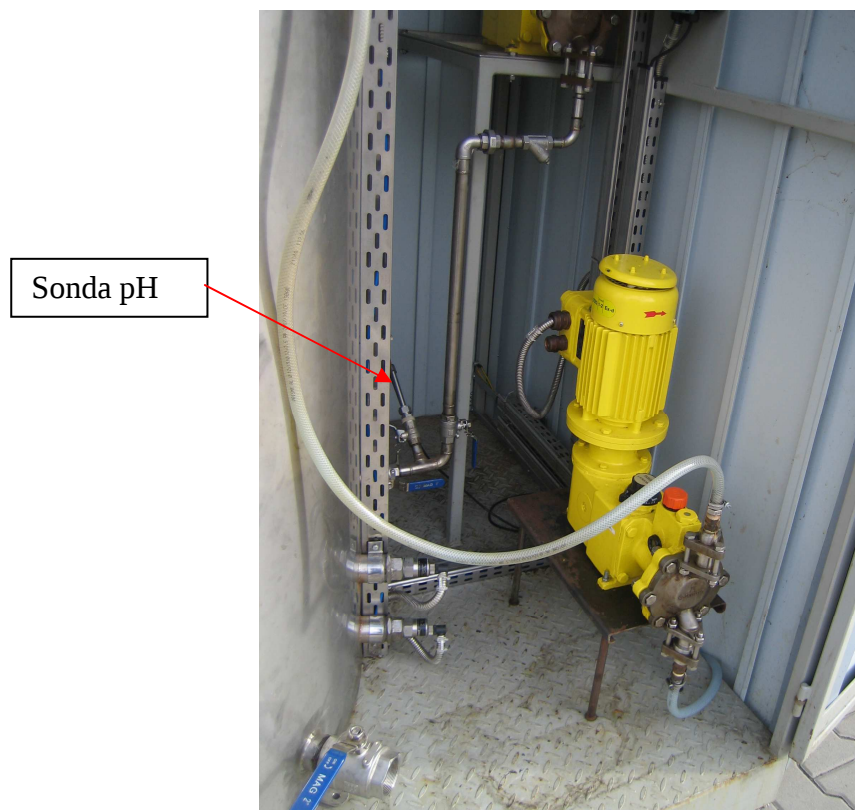
- warunki pracy
 - zasilanie 230 VAC, 50VA,
 - sygnał wyjściowy: Profibus DP lub 4-20mA
 - stopień ochrony: min IP65
 - temperatura pracy: zakres nie mniejszy niż od -20 do +40°C,
- wymagane funkcje
 - przetwornik wyposażony w funkcję kontroli pracy czujnika
 - rejestr danych na karcie pamięci SD
 - przetwornik musi być wyposażony w wyświetlacz z możliwością programowania i kalibrowania
- wyposażenie:
 - zestaw montażowy do brzegu zbiornika bioreaktora dla przetwornika z daszkiem przeciwsłonecznym.

Sonda do pomiaru odczynu i temperatury

W projekcie przyjęto sondę pH ze zintegrowanym pomiarem temperatury do przewodów ciśnieniowych firmy HachLange, o następujących parametrach:

- budowa
 - sonda cyfrowa w obudowie ze stali nierdzewnej z czujnikiem temperatury
 - system referencyjny Ag/AgCl
 - elektrolit KCl/AgCl + KNO₃, odpowiedni dla wyższych temperatur (min. do 95 °C)
 - zintegrowany kabel
 - kalibracja pH: jedno lub dwupunktowa
 - kalibracja temperatury: jednopunktowa, pomiar porównawczy
 - możliwość montażu w strefie wybuchowej (Ex)
 - do montażu on-line
 - max ciśnienie pracy czujnika: 15 barów
- parametry pracy
 - zakres pomiarowy pH nie węższy niż: 0 – 14 pH
 - zakres pomiarowy temperatury nie węższy niż od -5°C do + 135°C
 - dokładność pomiarowa pH: nie gorsza niż ± 0,02 pH
 - dokładność pomiarowa temperatury: nie gorsza niż ± 0,2 °C
 - czułość: minimalnie 0,5 % z wartości końcowej zakresu pomiarowego
- wyposażenie
 - zestaw mocujący sondę do zbiornika stalowego wykonany z stali nierdzewnej nie gorszej niż 1.4571/Noryl, o długości i średnicy odpowiedniej dla oferowanej sondy
 - montaż on-line, armatura przystosowana do pracy przy max ciśnieniu nie mniejszym niż 10 bar i max temperaturze pracy nie niższej niż 100 °C, króciec przyłączeniowy ½ cala

Na fot. 9 przedstawiono sondę pH zainstalowaną na rurociągu łączącym zbiornik ZŻW z pompą dozującą.



Fot. 9. Sonda pH zainstalowana na rurociągu wewnątrz kontenera stacji dozowania

Sonda pH współpracuje z przetwornikiem, o następujących parametrach pracy (przyjęto przetwornik si794 pH/ORP firmy HachLange):

- warunki pracy
 - zasilanie 24 V
 - sygnał wyjściowy: 2x 4-20mA
 - stopień ochrony: min IP65
 - możliwość montażu w strefie wybuchowej (Ex)
 - temperatura pracy: zakres nie mniejszy niż od -10 do +50°C,
- wymagane funkcje
 - wyświetlacz LCD: 7-segmentowy z symbolami
 - możliwość programowania i kalibrowania sond pH z poziomu przetwornika
 - rejestracja danych na kości pamięci EPROM
 - funkcja kontroli stanu pracy czujnika

2.3 Układ napełniania zbiornika

Z uwagi na stosunkowo niewielką objętość zbiornika na ZZW, konieczne jest jego okresowe napełnianie. W tym celu można wykorzystać istniejącą na terenie oczyszczalni instalację dozowania reagentów. W przypadku wykonanej na potrzeby projektu INCAS stacji dozowania konieczne było uwzględnienie własnej tego typu instalacji. Obejmuje ona:

- pompę do przetłaczania - wykorzystano zapasową pompę dozowania, mocując ją na specjalnie wykonanym podeście (fot.10)
- przewodów wykonanych ze wzmacnianego węża PVC.



Fot. 9. Pompa do przetłaczania ZŻW ustawiona wewnątrz kontenera

Za pomocą tej instalacji można przetłaczać ZŻW ze zbiorników transportowych (np. paletozbiorników widocznych na fot. 10). Napełniania wymaga każdorazowo ręcznego uruchomienia pompy, co wynika z konieczności uszczelniania zbiorników magazynowych z uwagi na właściwości palne stosowanego w badaniach oleju fuzlowego.



Fot. 10. Paletozbiorniki z olejami fuzlowymi na terenie LOŚ w Poznaniu