



# Jak podejść do zmniejszenia zużycia energii w oczyszczalni ścieków.

Maciej Kita  
Agata Malec

Od dawna zastanawiamy się czy oczyszczalnie ścieków mogą być samowystarczalne energetycznie oraz jakie warunki muszą być spełnione, aby było to możliwe. Oczywiście wiadomo, że każda oczyszczalnia jest inna i zależy od wielu uwarunkowań: wielkości, charakteru zlewni, położenia, dostępnego przemysłu, warunków terytorialnych, itp.

Nie ma jednego optymalnego rozwiązania dla wszystkich oczyszczalni ścieków. Chcieliśmy zatem pokazać możliwości uzyskania samowystarczalności energetycznej dla różnorodnych oczyszczalni poprzez zsynchronizowanie różnych dostępnych na rynku i możliwych do wdrożenia na oczyszczalniach źródeł energii.

**Wdrożony wymóg Samowystarczalności energetycznej według nowej dyrektywy ściekowej:**

**Całkowita energia ze źródeł odnawialnych wyprodukowana na poziomie krajowym przez oczyszczalnie ścieków komunalnych <10 000 RLM odpowiada 100% całkowitej rocznej energii zużywanej przez takie zakłady.**

**PEŁNE WDROŻENIE DO 2045**

**Dyrektywa sprawiła wyraźne poruszenie branży kanalizacyjnej**

Dążenie do samowystarczalności energetycznej nie oznacza wyłącznie zwiększenia produkcji nośników energii, ale i (a nawet **PRZEDE WSZYSTKIM**) redukcję zużycia energii.

Samowystarczalność energetyczna oznacza energię elektryczną, ale i ciepło!

Oszczędności nieraz są prostsze, a przeważnie tańsze niż rozbudowa źródeł energii. No i lepsze środowiskowo.

# Bilanse energetyczne

Od czego zacząć bilans energetyczny

## Prawidłowe podejście

- Analiza aktualnie prowadzonych Procesów technologicznych pod kątem zużycia energii oraz możliwości jej zminimalizowania
- Analiza aktualnie stosowanych urządzeń pod kątem ich energochłonności
- Analiza zlewni oraz przemysłu
- Analiza rozwiązań projektowych

## Droga na skróty

- Wykonanie nawet najskrupulatniejszego bilansu mocy na podstawie aktualnie prowadzonej eksploatacji
- Bazowanie na aktualnych obciążeniach zlewni

**BILANSE WARIANTOWE I ETAPOWE PRZY DOCELOWYM ROZWOJU ZLEWNI**

## EKSPLOATACJA – WIEDZA POTRZEBNA DLA PRZEPROWADZENIA POPRAWNYCH MODERNIZACJI OBIEKTU.

**Ponadto należy przeanalizować procesy pod względem ich sprawności**

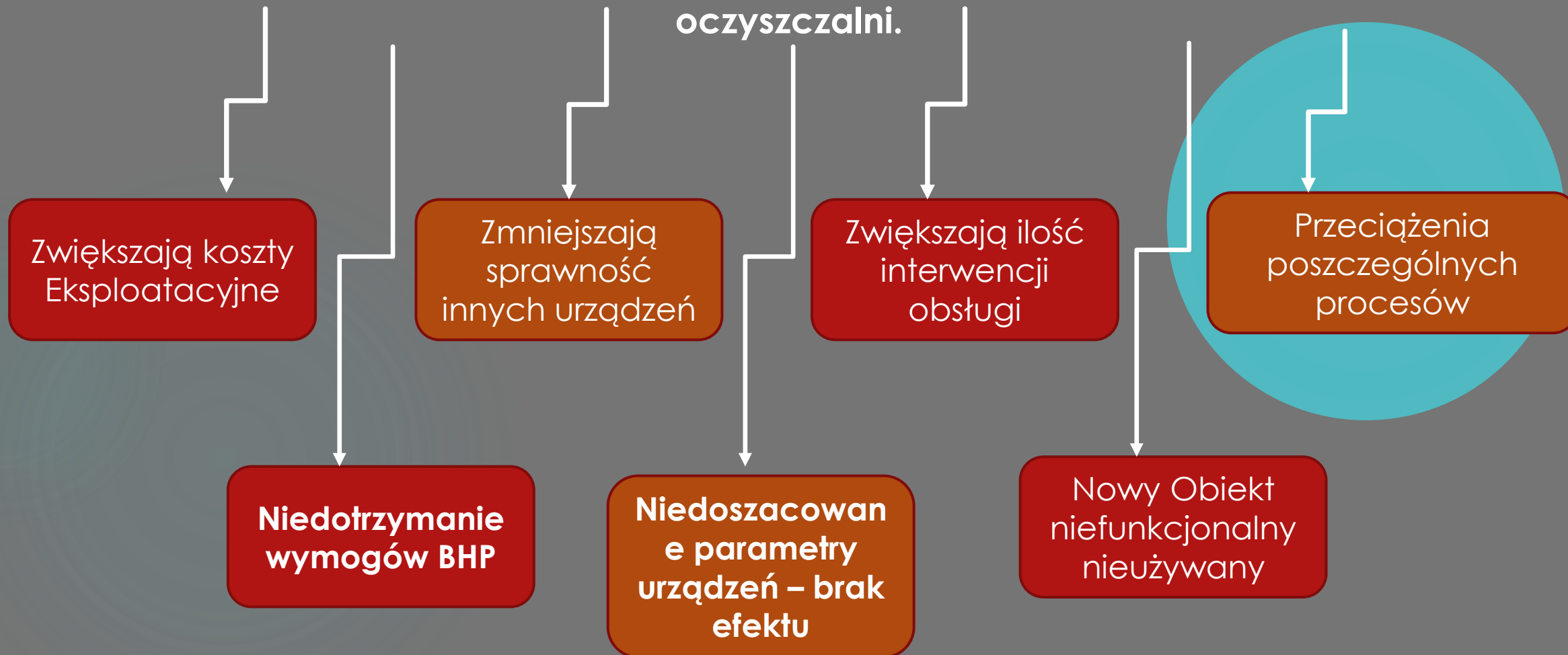
- Sprawność osadników wstępnych
- System napowietrzania
- System mieszania w reaktorach biologicznych
- System recyrkulacji wewnętrznej
- System mieszania w komorach fermentacyjnych
- Biofiltry
- Itp...
- Czemu nie ma pomp na liście – wszystkie powyższe pracują 24 h/d, pompy nie zawsze. I pompy potrafimy dobierać wszyscy.

# FAZA PROJEKTOWANIA I WYKONANIA.

MACIEK

AGATA

Błędy projektowe, wykonawcze oraz nieprawidłowy dobór urządzeń jednostkowych obiektów a ich wpływ na ekonomię oraz pracę całej oczyszczalni.



## WAŻNE – SAM PROCES – eksploatacja !!!

Sprawne prowadzenie procesów technologicznych z wykorzystaniem pełnego potencjału energetycznego ich substratów, stanów przejściowych

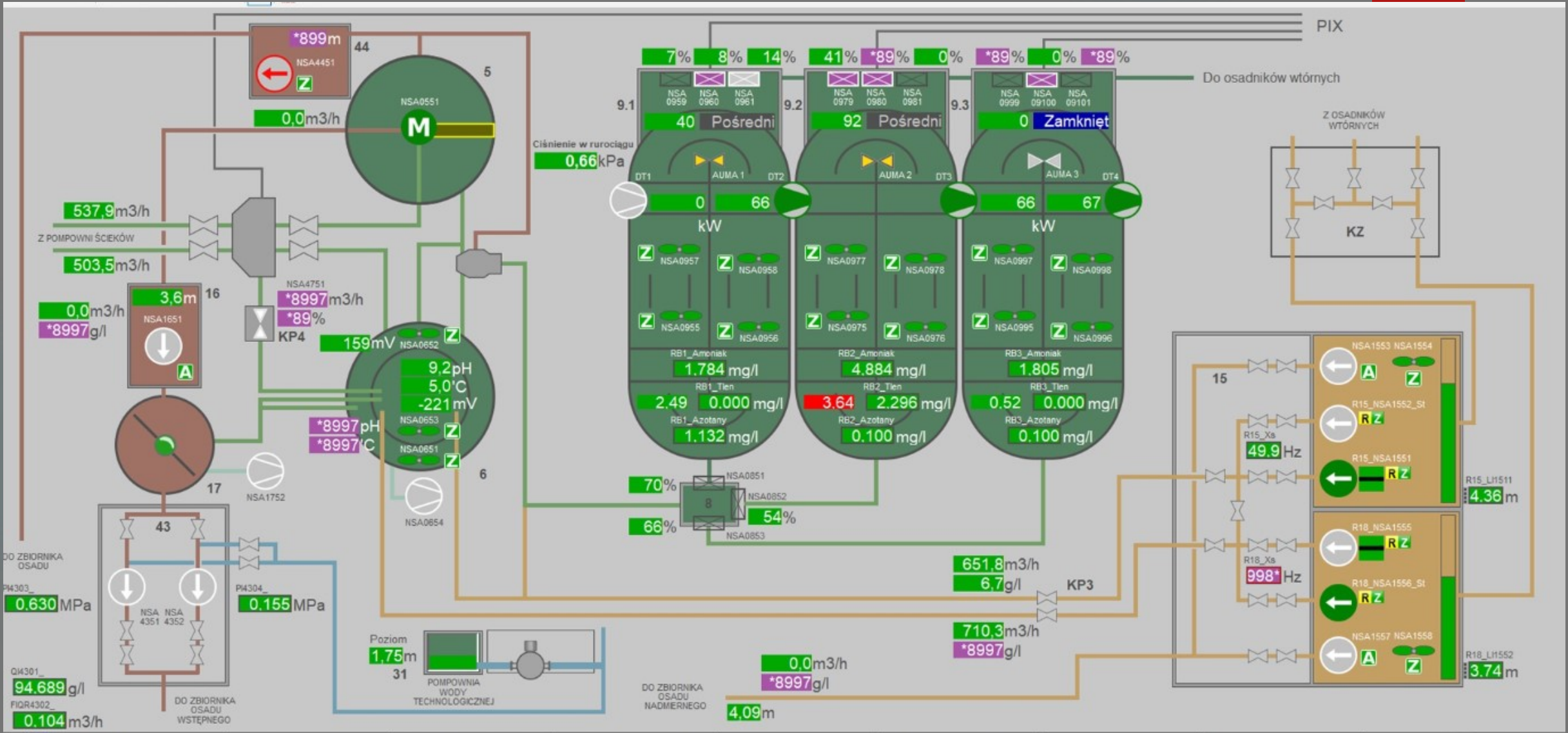
- Tlenu z azotanów i azotynów
- Węgla w ilościach wymaganych, a nie większych
- Eliminowanie strat węgla zawartych w osadach w celu ratowania sytuacji związanej z usuwaniem azotu
- Kontrola generowania LKT i prawidłowe ich wprowadzenie do procesów biologicznych
- Sprawne systemy sterowania
- Dobór urządzeń



## Parametry procesu i sposób prowadzenia

- Ciśnienie systemu napowietrzania (otwarcie przepustnic)
- Wymagane (ZMIENNE!) stężenie tlenu, zależne od azotu z kontrolą fosforu
- Ograniczniki min/max
- Znieczulenie regulatora przy przejściu faz
- Zmiany wieku osadu
- Wykorzystanie przepisów - OCZYSZCZALNIA na azot 10 i na azot ŚREDNIO 10  
TO DWA RÓŻNE OBIEKTY





	Część mechaniczna	Pompownia ścieków	Część biologiczna	Osadniki wtórne	Kotłownia	Stacja dmuchaw	ZG1	Parametry natleniania
	ZKF	Biogaz	Prasy	Rozdzielnia	Agregaty	Dmuchawy 1 - 4	ZG2	Obraz ogólny

## Parametry ogólne napowietrzania

Algorytm napowietrzania	<input type="button" value="Stary"/> <input type="button" value="Nowy"/>								
Dopuszczalna ilość reaktorów w fazie denitryfikacji	<input type="text" value="2"/>								
Przeciąganie fazy nityfikacji	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>								
Opisy parametrów	Reaktor RB1			Reaktor RB2			Reaktor RB3		
Tryb pracy	<input type="button" value="Staly tlen"/> <input type="button" value="Fazowanie"/>		<input type="button" value="Staly tlen"/> <input type="button" value="Fazowanie"/>		<input type="button" value="Staly tlen"/> <input type="button" value="Fazowanie"/>				
Sumaryczna wartość zadana tlenu	2,40 mg/l			3,10 mg/l			0,00 mg/l		
Staly tlen	2,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		2,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		2,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		2,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		
Faza nityfikacji - fazowanie	2,5 h <input type="button" value="ON"/>		0,6 h <input type="button" value="ON"/>		0,0 h <input type="button" value="OFF"/>		0,0 h <input type="button" value="OFF"/>		
MAX czas trwania fazy	6,0 h <input type="button" value="OFF"/>		6,0 h <input type="button" value="OFF"/>		6,0 h <input type="button" value="OFF"/>		6,0 h <input type="button" value="OFF"/>		
MIN czas trwania fazy	2,0 h <input type="button" value="ON"/>		2,0 h <input type="button" value="OFF"/>		2,0 h <input type="button" value="OFF"/>		2,0 h <input type="button" value="OFF"/>		
Azot amonowy MIN (koniec nityfikacji)	1,40 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		1,40 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		1,40 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		1,40 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		
Azot amonowy MIN (przeciąganie)	0,80 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		0,80 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		0,80 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		0,80 mg/l <input type="button" value="OFF"/>		
Azot azotanowy MAX (koniec nityfikacji)	9,50 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		9,50 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		9,50 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		9,50 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		
Zastawka ścisków do reaktora (położenie zad)	60,0 %		60,0 %		60,0 %		60,0 %		
Wartość zadana tlenu	3,10 mg/l <input type="button" value="Tabela"/> <input type="button" value="Stala"/> <input type="button" value="Tabela"/>		3,10 mg/l <input type="button" value="Tabela"/> <input type="button" value="Stala"/> <input type="button" value="Tabela"/>		3,10 mg/l <input type="button" value="Tabela"/> <input type="button" value="Stala"/> <input type="button" value="Tabela"/>		3,10 mg/l <input type="button" value="Tabela"/> <input type="button" value="Stala"/> <input type="button" value="Tabela"/>		
Faza dentryfikacji - fazowanie	0,0 h <input type="button" value="OFF"/>		0,0 h <input type="button" value="OFF"/>		0,3 h <input type="button" value="ON"/>		0,3 h <input type="button" value="ON"/>		
MAX czas trwania fazy	4,0 h <input type="button" value="OFF"/>		4,0 h <input type="button" value="OFF"/>		4,0 h <input type="button" value="OFF"/>		4,0 h <input type="button" value="OFF"/>		
MIN czas trwania fazy	1,5 h <input type="button" value="OFF"/>		1,5 h <input type="button" value="OFF"/>		1,5 h <input type="button" value="OFF"/>		1,5 h <input type="button" value="OFF"/>		
Azot amonowy MAX (koniec denitryfikacji)	5,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		5,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		5,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		5,00 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		
Azot azotanowy MIN (koniec denitryfikacji)	0,60 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		0,60 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		0,60 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		0,60 mg/l <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>		
Zastawka ścisków do reaktora (położenie zad)	62,0 %		62,0 %		62,0 %		62,0 %		
Wartość zadana tlenu	0,00 mg/l		0,00 mg/l		0,00 mg/l		0,00 mg/l		
Sterowanie aumą natleniania	40 %		92 %		0 %		0 %		
Szybkość zmian	4,0 %/min		4,0 %/min		4,0 %/min		4,0 %/min		
Sterowanie (wyjście z regulatora)	40,6 %		92,1 %		0,0 %		0,0 %		
Sterowanie (po filtracji)	40,5 %		92,1 %		0,0 %		0,0 %		



Część mechaniczna

Pompownia ścieków

Część biologiczna

Osadniki wtórne

Kotłownia

Stacja dmuchaw

ZG1

Parametry natleniania

ZKF

Biogaz

Prasy

Rozdzielnia

Agregaty

Dmuchawy 1 - 4

ZG2

Obraz ogólny

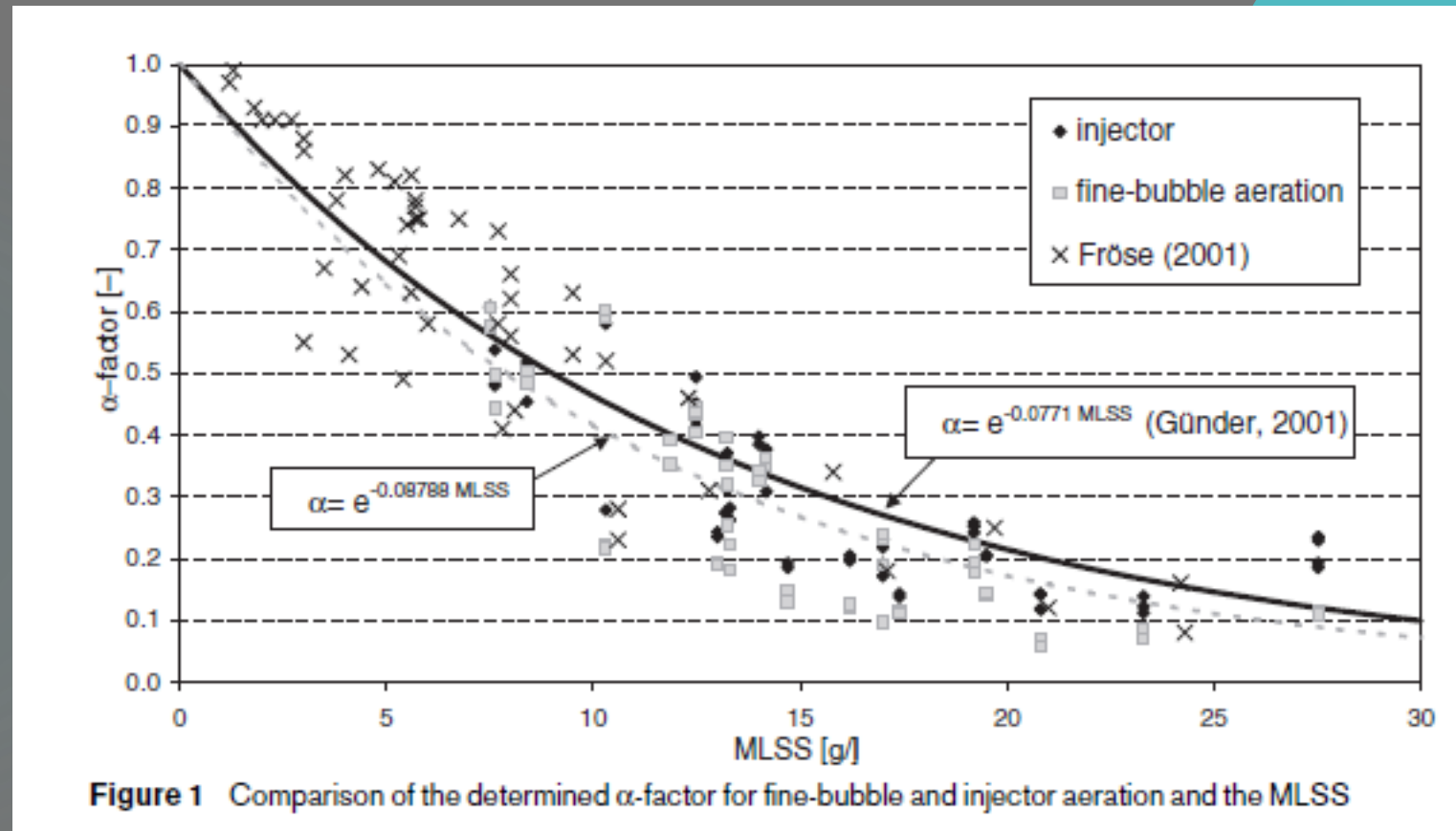
25.03.20  
11:52:11

# WAŻNE – Gęstość osadu w reaktorach biologicznych A sprawność napowietrzania

MACIEK

AGATA

Zmiana sprawności napowietrzania w zależności od stężenia osadu.



# Efektywność a gęstość osadu

AOR = 100 kg O<sub>2</sub>/h

Dla stężenia osadu 5 kg / m<sup>3</sup> SOTR = 100 / 0,65 = 154 kg O<sub>2</sub>/h

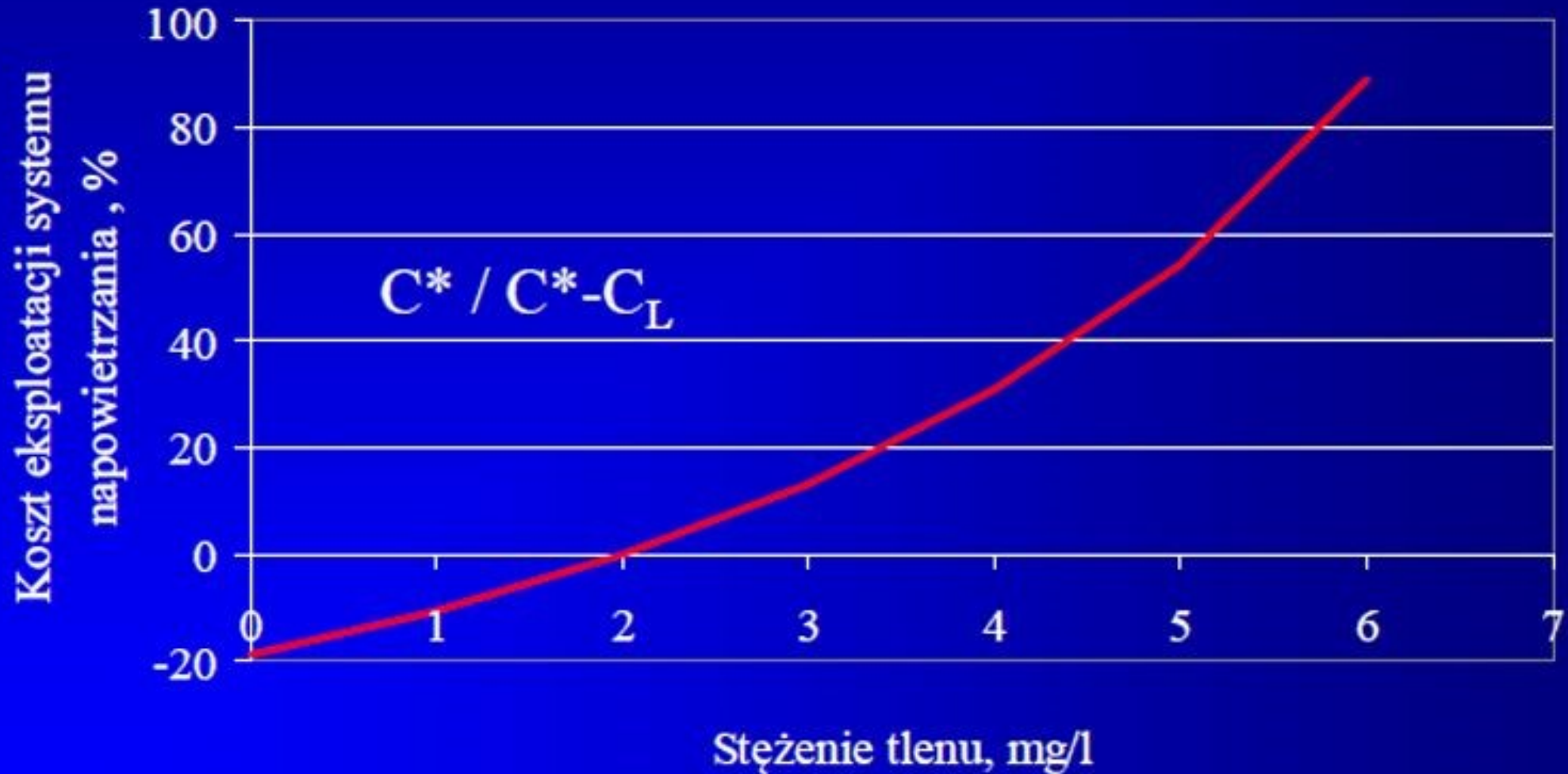
Dla stężenia osadu 7 kg O<sub>2</sub>/h SOTR = 100 / 0,55 = 182 kg O<sub>2</sub>/h

Dla stężenia osadu 12 kg O<sub>2</sub>/h SOTR = 100 / 0,4 = 250 kg O<sub>2</sub>/h

Czy są komory o tak wysokim stężeniu osadu ? TAK – MBR, KTSO



# Efektywność – jakie stężenie tlenu?



### MIESZADLA AUTO

Sumaryczne minimalne obciążenie przepustnic: 0.0 %

Komora KDN

Zmierzone: 0.00 mg/l NH4

Próg zał.: 0.00 mg/l Próg wyl.: 0.00 mg/l

Opóźnienie: 0 h Opóźnienie: 0 h

Histeresa: 0.00 mg/l

RB2/DN.PP1 RB2/DN.PP2

Zadane: 0.00 mg/l O2 Zadane: 0.00 mg/l O2

Zmierzone: 0.00 mg/l O2 Zmierzone: 0.00 mg/l O2

Wyster.: 0.0 % Wyster.: 0.0 %

Komora KN

RB2/N.PP1 RB2/N.PP2

Zad.: 1.80 mg/l O2 Zad.: 1.60 mg/l O2

Akt.: 1.51 mg/l O2 Akt.: 1.60 mg/l O2

Wys.: 100.0 % Wys.: 100.0 %

RB2/N.PP3 RB2/N.PP4

Zad.: 1.50 mg/l O2 Zad.: 0.35 mg/l O2

Akt.: 1.69 mg/l O2 Akt.: 0.08 mg/l O2

Wys.: 68.6 % Wys.: 21.0 %

Recykulacja wewnętrzna

RB2/N.MP1 REDOX

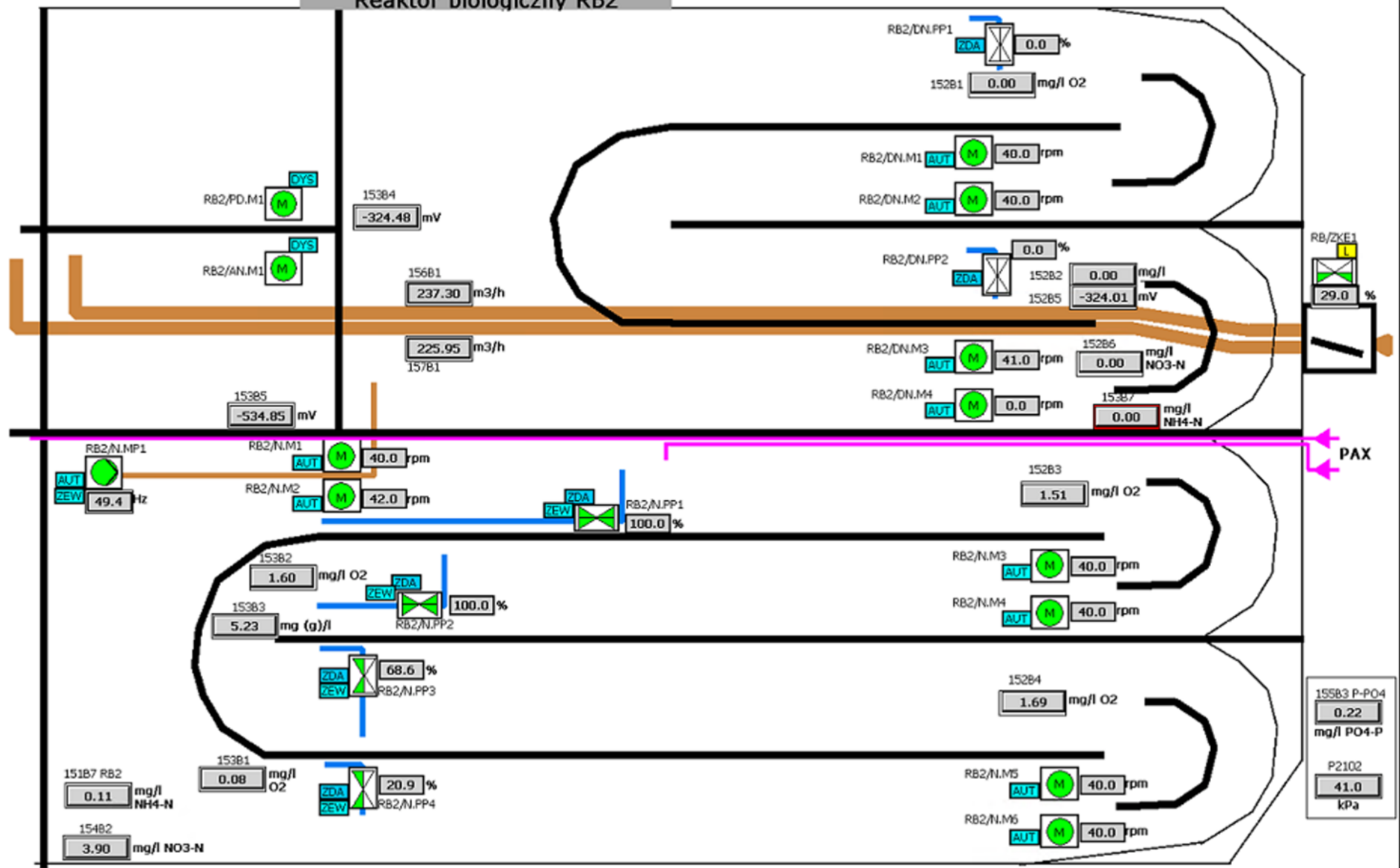
Zad.: 1.0 mg/l NO3-N Zad.: -80.0 mV

Akt.: 0.00 mg/l NO3-N Akt.: -324.2 mV

Wys.: 100.0 %

TREND Przepływy

### Reaktor biologiczny RB2

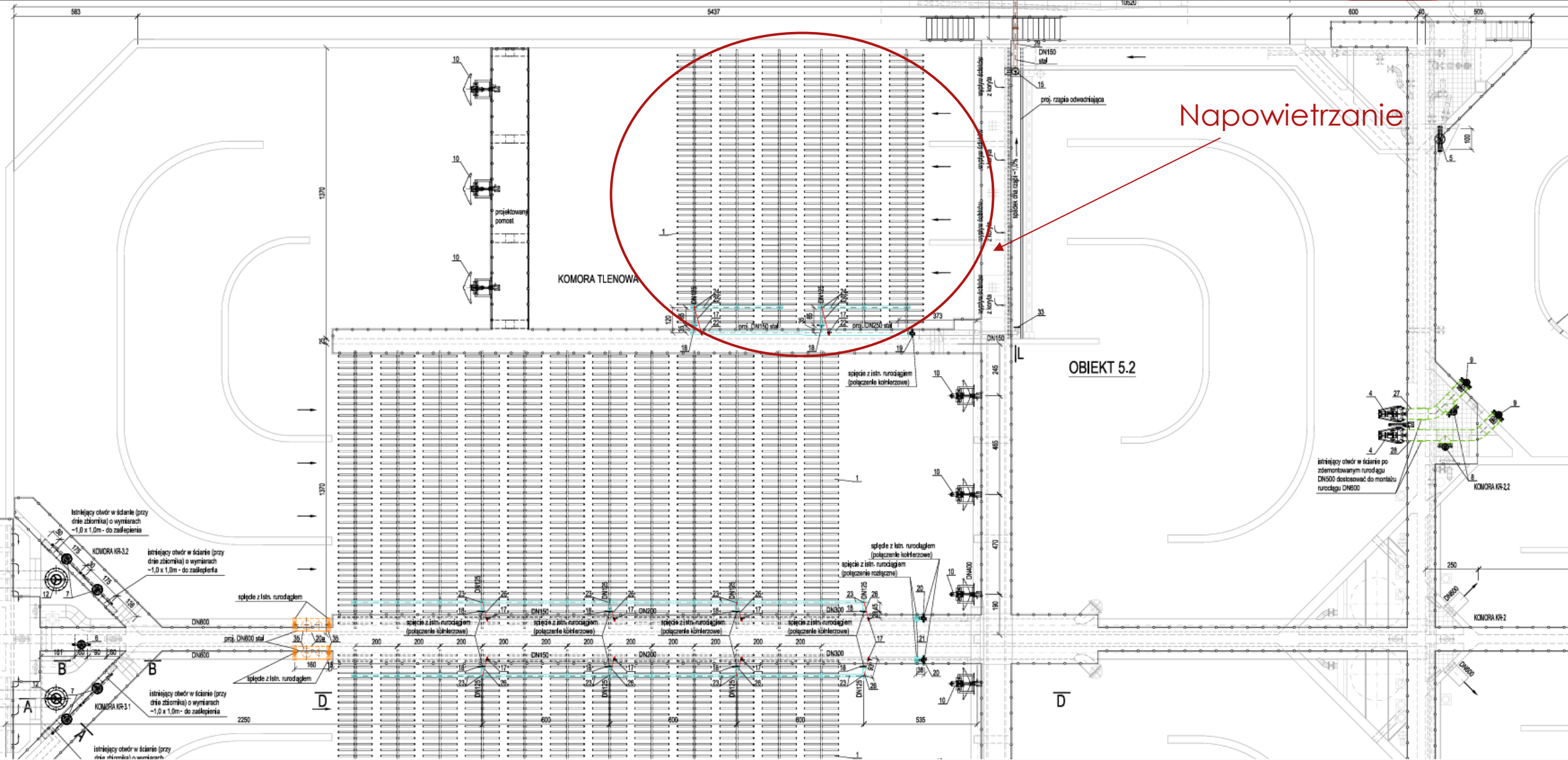


155B3 P-PO4  
0.22 mg/l PO4-P

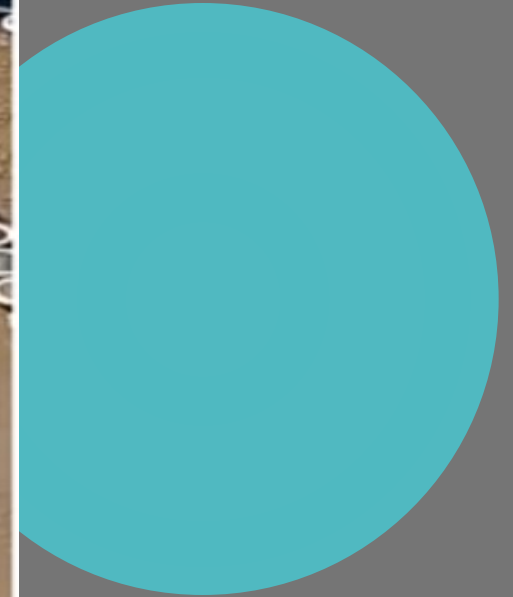
P2102  
41.0 kPa

# Projektowanie – opory rusztów

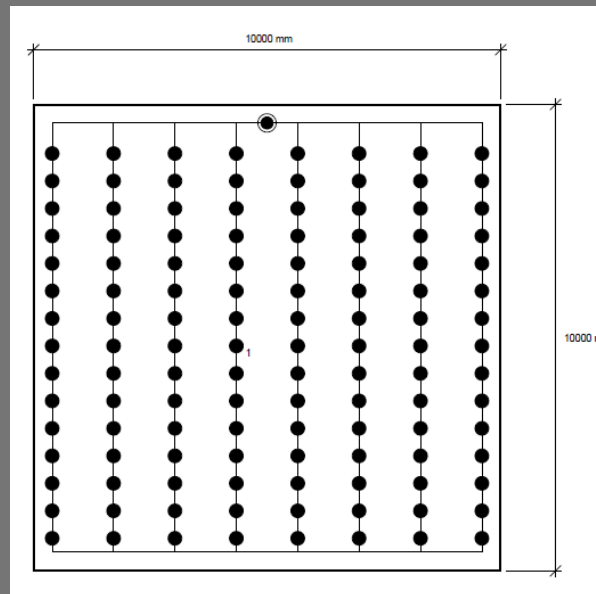
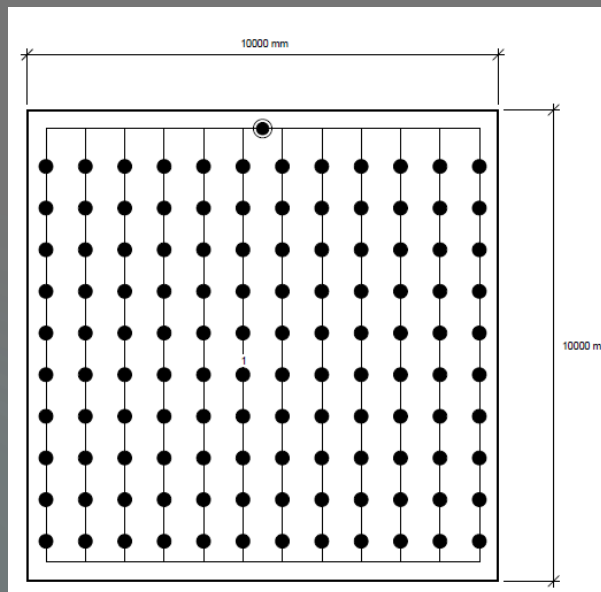
MACIEK  
AGATA



# Wykonanie



Jaki układ dyfuzorów jest lepszy ? Zbiornik 10x10 m, 120 sztuk dyfuzorów



**DOBRZE !**  
Równomierne rozłożenie  
Wysoka sprawność  
Doskonałe wymieszanie

**DOBRZE ! Ale....**  
Taniej o 20 %  
Niższa sprawność, bardzo  
złe mieszanie

# Komory fermentacyjne

## Ważne funkcje i możliwości w eksploatacji dlaczego ???

**Każdy musi przeliczyć sam ile kosztuje go każdy postój pracy WKF i sieci biogazowej**

Należy wymagać elastycznych układów, prostych do udrażniania i czyszczenia orurowania, itp.  
WYMAGAMY:

- Właściwej budowy komory – dno stożkowe, duża poduszka gazowa, dobre mieszanie. No i dwóch komór minimum.
- Załadunku każdej komory WKF nowym osadem ze zbiornika osadów zmieszanych w różnych wariantach miejsca dozowania
- Usuwania osadu przefermentowanego do zbiornika osadu przefermentowanego poprzez przelewy grawitacyjne (wyporowo) lub poprzez spust zasuwami regulacyjnymi; zastosować przelew regulowany,
- Recyrkulacji osadu z poborem z dna (ok. 50 cm nad dnem) lub z pobocznicą (ściany) WKF w dolnej części
- Możliwości recyrkulacji osadu przez układ grzewczy zapewniającą ciągłość pracy na wypadek awarii dowolnej pompy lub wymiennika
- Układu połączeń umożliwiający pobór osadu ze ściany do obiegu grzewczego i przepłukanie dna/stożka
- Udrażniania – przepłukania rurociągów osadu dla których istnieje prawdopodobieństwo zakorkowania lub zagazowania;
- Opróżniania komór WKF - po zrzucie grawitacyjnym do wyrównania poziomów ze zbiornikami osadu przefermentowanego, należy zapewnić możliwość pompowego opróżnienia pozostałości.
- Odpowietrzania przewodów osadowych - orurowanie instalacji
- Obejście komór fermentacyjnych;

# PRZYKŁADY BŁĘDÓW PROJEKTOWYCH I ICH SKUTKI

MACIEK

AGATA

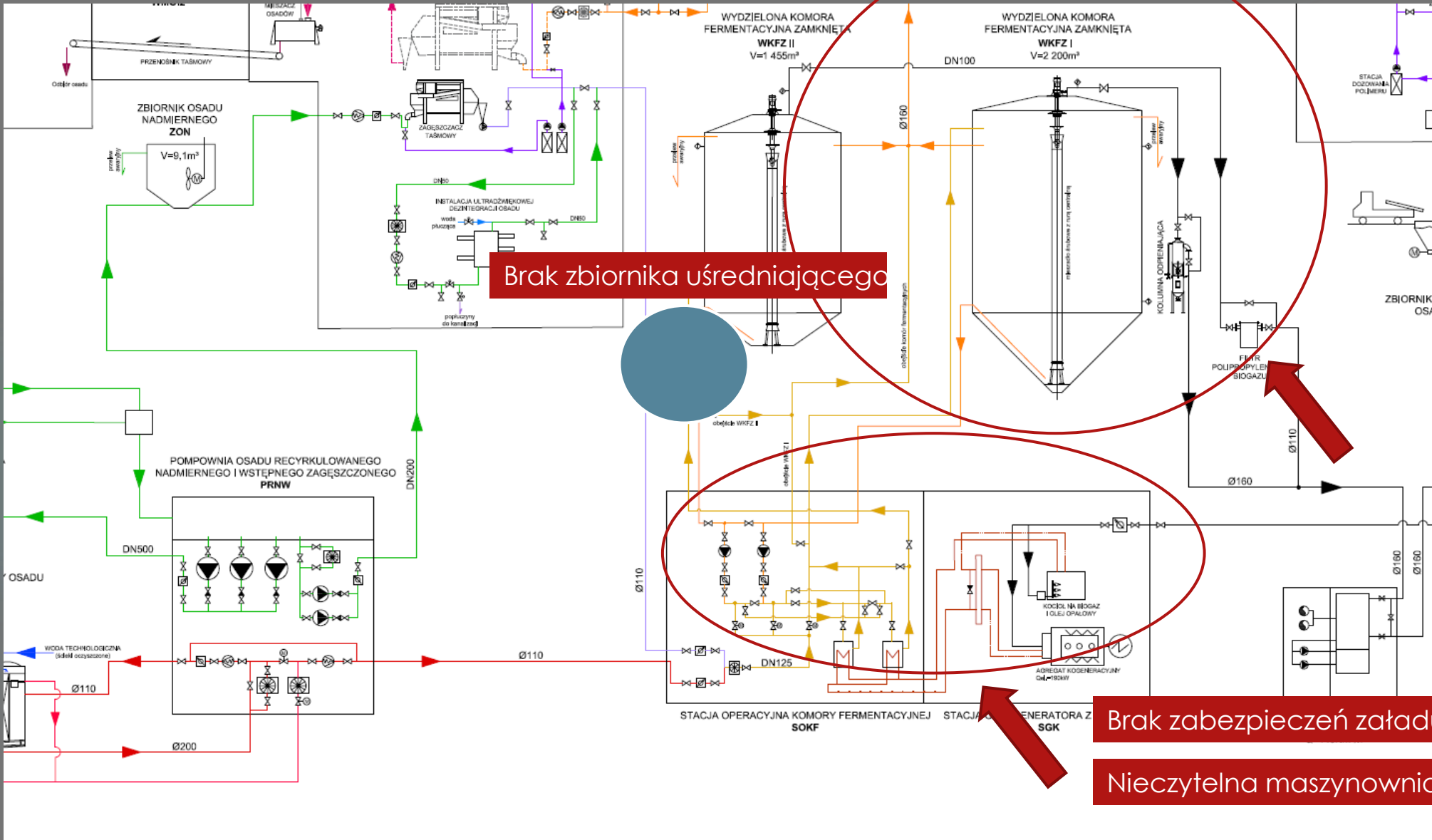
Brak obiegu, Brak gaszenia piany

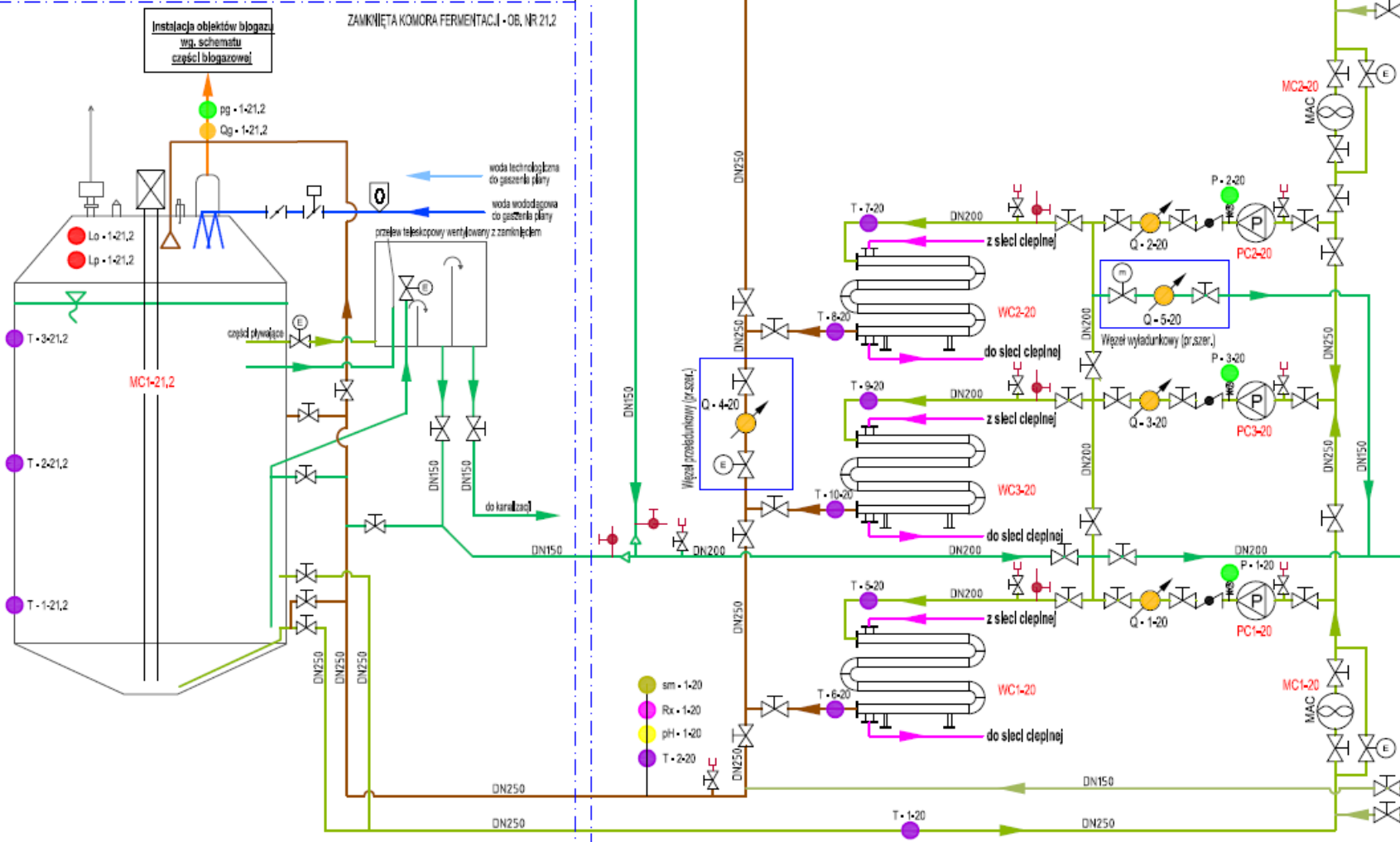
Różne wielkości komór fermentacyjnych

Brak zbiornika uśredniającego

Brak zabezpieczeń załadunku

Nieczysta maszynownia





**Fermentacja może być prawie bezobsługowa – tylko kontrola, konserwacje, ale nie ruch!**

**Wszelkie przestoje, opróżniania – brak gazu – koszt.**

**Dzień postoju komory o produkcji biogazu 2000 m3/d to 1400 zł (0,7 zł/kWh prądu) w samej energii elektrycznej.**



## Praca urządzeń:

- Zmniejszenie czasu pracy
- Zmniejszenie pobieranej mocy (falownik, hydraulika przewodów, itp.)
- Wyrównanie poboru mocy (nieczułość regulacji, retencja i przesunięcie części dopływu, itp.)

Oraz mnóstwo ważnych, a niezauważanych nieraz oszczędności:

- Wyższe ciśnienie biogazu w WKF – brak potrzeby dmuchawy dla kotłów
- Sprężone powietrze do WKF – oszczędzamy odsiarczalnię
- Wentylacja (zwłaszcza biofiltry) – prąd, ale i ciepło na ogrzewanie.
- Woda technologiczna – użycie jej, ale i koszty pompowań (ciśnienie, w tym kaskady pomp.)
- Odzysk ciepła z dmuchaw

FALOWNIKI do wielu napędów.

Zachęcamy, aby prace energetyczne zacząć właśnie od powyższych działań  
**NASTĘPNIE** – zwiększać produkcję biogazu, ale nie bez ograniczeń:

- Ważne są możliwości naszych reaktorów biologicznych
- Charakter osadów zewnętrznych i jego niekorzystny wpływ na instalację
- Wpływ kofermentów na osady przefermentowane i dalszą ich utylizację
- Możliwości pozyskania kofermentów

Dopiero wówczas określić:

- wielkość możliwej do uzyskania ilości energii z komór fermentacyjnych
- Wielkość energii wymaganej do uzupełnienia

# Źródła energii odnawialnej możliwe do wykorzystania, w celu uzyskania samowystarczalności

## Energetycznej oczyszczalni:



### Energia elektryczna

- Energia wiatru - WIATRAKI
- Energia wody/ścieków – TURBINY
- Energia osadów – KOGENERACJA
- Energia słoneczna - FOTOWOLTAIKA

### Energia cieplna

- Energia słoneczna - SOLARY
- Energia wody/ścieków/osadów – POMPY CIEPŁA
- Energia osadów – KOTŁY BIOGAZOWE  
KOGENERACJA
- Energia powietrza/ziemi – POMPY CIEPŁA

# Źródła energii odnawialnej dla oczyszczalni powyżej 20 000 RLM

## Priorytetem jest energia OSADÓW/KOGENERACJA !!!

Czy ona może dać 100 % samowystarczalności energetycznej oczyszczalni??

Oczywiście TAK, A NAWET WIĘCEJ, ale wymaga to:

- Prowadzenia oszczędnej technologii oczyszczania ścieków dostosowanej do danej oczyszczalni NIE SĄSIADA – np. wprowadzanie napowietrzania drobnopęcherzykowego zamiast powierzchniowego
- Nadzoru technologicznego: np.. analiz zlewni i rozróżnienia charakteru zanieczyszczeń, np. CHZT w zawieszynie i rozpuszczone
- Porozumienia z dostawcami ścieków przemysłowych do kanalizacji
- Wprowadzenia kofermentacji (oczywiście jeżeli są ku temu możliwości)
- Scentralizowaniu małych pobliskich oczyszczalni do jednej dużej w dwóch możliwościach:
  - ❖ Centralizacja ścieków
  - ❖ Centralizacja osadów

UWAŻAMY, ŻE W RAMACH MOZLIWOŚCI KOGENERACJA JEST TO PRIORYTET DLA OCZYSZCZALNI  
a następnie dopełnienie innymi odnawialnymi źródłami

## POŁĄCZENIE ENERGI Z KOGENERACJI Z INNYMI ŹRÓDŁAMI ENERGII ODNAWIALNEJ

MACIEK

AGATA

Nie zawsze oczyszczalnia ma możliwość uzyskania samowystarczalności

Wówczas warto braki energetyczne zrekompensować innym źródłem energii odnawialnej

### Jak połączyć różne źródła odnawialne z wykorzystaniem pełnego ich potencjału:

- Kogeneracja + wiatraki – brak stabilności praktycznie wyklucza zastosowanie połączenia  
Można to połączyć, ale należy wykonać dokładną analizę nakładów inwestycyjnych związanych z buforami ciepła i energii podczas korzystania z wiatraków. Kreślenie zysków oraz sprawności układu i strat praktycznie obarczone dużym błędem.
- Kogeneracja + elektrownia wodna – przy sprzyjającym profilu hydraulicznym połączenie ma duży sens zastosowania – kluczowe w tym zestawieniu jest prawidłowy dobór mocy instalacji oraz wyrównanie nierównomierności przepływów.
- Kogeneracja + pompa ciepła – praktycznie brak rekomendacji  
ciepła przy kogeneracji jest nadmiar, zastosowanie wyłącznie przy eksploatacji suszarni, ale do analizy
- Kogeneracja + fotowoltaika – duża sprawność układu przy prawidłowym doborze mocy oraz prawidłowym przygotowaniu instalacji wykorzystania odnawialnych zysków energetycznych.  
Praktycznie do wykorzystania dla wszystkich oczyszczalni w Polsce powyżej 10-20 000 RLM.

# Kogeneracja + Fotowoltaika

## Dobór mocy obu instalacji – od czego zacząć??

- Pierwszeństwo ma kogeneracja, dlatego należy zacząć od określenia jej maksymalnych STABILNYCH możliwości.
- Następnie należy określić bilans zapotrzebowania energii elektrycznej i ciepłej. Zapotrzebowanie z uwzględnieniem sezonowości, dobowe oraz chwilowe
- Określić minimalną produkcję kogeneracji z uwzględnieniem czasu i okresu trwania
- Określić produkcję dobową kogeneracji
- Określić maksymalną wymaganą do zapewnienia 100% wystarczalności obiektu instalacji fotowoltaiki
- Określić minimalną wymaganą do zapewnienia 100% wystarczalności obiektu instalacji fotowoltaiki
- Dobrać na tej podstawie instalacje fotowoltaiki z podziałem na sekcje – uwzględniając czasy konserwacji i napraw.
- Rozpoznać stan oraz możliwości sieci elektrycznej zewnętrznej
- Określić wymagane bufory nośnika energii, ciepła i ewentualną konieczności zastosowania baterii
- Ustalić algorytmy sterowania instalacją
- Rozważyć wykorzystanie zbiornika wyrównawczego ładunków ścieków w powiązaniu do możliwości obu instalacji.



**DZIĘKUJEMY !!!  
MACIEK I AGATA**