

Połączenie beztlenowego i tlenowego oczyszczania ścieków w przykładowej oczyszczalni browaru w Szczecinie

mgr inż. Magdalena Górską, mgr inż. Marek Jeżewski

Carlsberg Polska S.A. Oddział Browar Bosman w Szczecinie

Przykładowa oczyszczalnia ścieków w szczecińskim browarze powstała w latach 2004-2006 na około 900 m² powierzchni (wycinek terenu 40 × 22 m). Inwestycja współfinansowana była przy udziale Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Elementy procesu

Na potrzeby Browaru Bosman zaprojektowano i wybudowano pełną oczyszczalnię ścieków. Oczyszczone ścieki spełniają wymagania umożliwiające odprowadzanie ich po oczyszczeniu bezpośrednio do odbiornika - rzeki Odry.

Połączenie procesu beztlenowego i tlenowego oczyszczania ścieków pozwala na stosowanie wysokich obciążeń oczyszczalni, ponieważ usuwanie ChZT w reaktorze beztlenowym, jest wysoce efektywne. Jednocześnie podczas tlenowego etapu usuwane są związki biogenne (azot, fosfor). Poszczególne etapy oczyszczania ścieków: usuwanie cząstek stałych na sitach, zapoczątkowanie fermentacji wstępnej w zbiorniku buforowym, gromadzenie zrzutów o przekroczonym pH i temperaturze oraz sterowanie przepływem przy pomocy zbiornika zrzutów awaryjnych, korekta pH ługiem sodowym lub kwasem solnym, proces beztlenowy w reaktorze IC, proces tlenowy w reaktorze DC, flokulacja we flokulatorze, proces koagulacji i flotacji sprężonym powietrzem we flotatorze, doczyszczanie na mikrositach, wirowanie osadów w wirówce, oczyszczanie odorów na instalacji Bioway, spalanie biogazu w pochodni.

Charakterystyka ścieków browarniczych

Ścieki z przemysłu browarniczego charakteryzują się wysokim ładunkiem ChZT oraz stosunkowo dużą ilością biogenów. Dodatkowym problemem jest temperatura osadów pochodzących z produkcji piwa oraz szeroki zakres pH środków do dezynfekcji i mycia urządzeń technologicznych.

Ścieki przemysłowe powstające w poszczególnych etapach produkcji to:

- Warzelnia - brzezka, kłaczkowaty osad białkowy, (gorący)
- Tankofermentory - trub, brzezka i gęstwa drożdżowa
- Tanki leżakujące - osady drożdży

- Filtracja - osady drożdży
- Butelkownia - piwo i środki dezynfekcyjne
- Niszczenie piwa
- Ścieki komunalne z terenu zakładu

Parametry ścieków na wlocie

Parametr	Dane projektowe	Rzeczywiste wartości
Zawiesina ogólna mg/l	0-500	490
ChZT ogólne mg/l	2.600-5.000	4.150
Azot ogólny mg/l	-	65
Fosfor ogólny mg/l	13,4-22,4	17,6
Siarczany mg/l	200-240	165
Temperatura °C	20-39	27
pH	4,5-12 (dla reaktora IC 6,8-7,3)	7,6
BZT ₅ mg O ₂ /l	1.230-3.300	2.209
BZT ₅ kg/d	2.500-6.500	2.164

Tab. 1 Parametry ścieków na wlocie oczyszczalni

Parametry hydrauliczne oczyszczalni

Parametr	Założenia projektowe	Rzeczywiste wartości
1.RLM	70.000	36.066
2. Średni przepływ godzinowy m ³ /h	80	50
3. Maksymalny przepływ godzinowy m ³ /h	180	100
4. Średni przepływ dobowy m ³ /d	2.000	980
5. Maksymalny przepływ dobowy m ³ /d	3.000	1.260

Tab. 2 Parametry hydrauliczne oczyszczalni

Oczyszczanie mechaniczne - sita obrotowe

Pompy zainstalowane w pompowni tłoczą ścieki surowe na sita obrotowe umieszczone na najwyższej kondygnacji budynku oczyszczalni. Każde z sit ma wydajność 220 m³/h i prześwit 1 mm. Większe skratki zatrzymywane są na sitach, które okresowo poddawane są płukaniu. Ścieki pozbawione skratek spływają grawitacyjnie do zbiornika buforowego lub awaryjnego w przypadku przekroczenia pH.

Zbiornik awaryjny

Funkcje zbiornika awaryjnego polegają głównie na przejmowaniu ścieków o podwyższonych wartościach ChZT, zbyt niskich lub zbyt wysokich wartościach pH i temperatury, a także pełni on funkcję bufora hydraulicznego. Aby wychwycić ewentualne sytuacje awaryjne na rurociągu tłocznym zamontowano pH-metr z pomiarem temperatury oraz w zbiorniku pomiar poziomu ścieków. Informacje o zrzucie ścieków o wysokim ładunku ChZT operator oczyszczalni powinien otrzymać od technologa produkcji. Zbiornik awaryjny ma pojemność 180 m³ i przy średnim napływie ścieków możliwe jest ich przetrzymanie przez ok. 2h. Na dnie zbiornika zamontowano mieszadło, aby uniknąć osiadania osadów na dnie i zapewnić jednorodną mieszaninę. Zbiornik zaopatrzony jest także w przelew awaryjny, umożliwiający skierowanie ścieków do kanalizacji. W zbiorniku awaryjnym możliwe jest zapoczątkowanie procesu fermentacji wstępnej.

Zbiornik buforowy

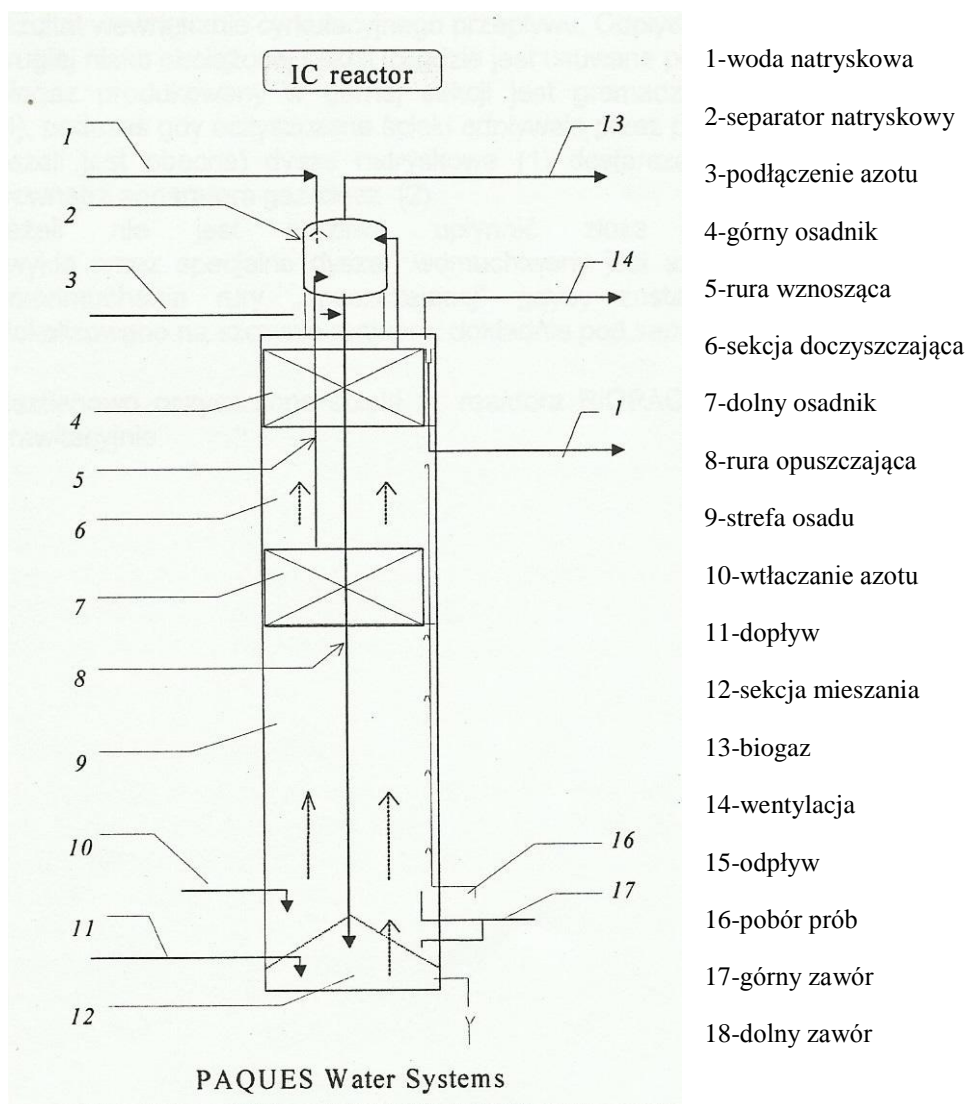
Zbiornik buforowy posiada pojemność 800 m³, spływają do niego ścieki o wskaźnikach mieszczących się w założonych granicach oraz mogą zostać przepompowane ścieki ze zbiornika awaryjnego, o czym decyduje obsługa. Czas zatrzymania ścieków dla rozpoczęcia fermentacji kwaśnej wynosi 4-5,5 h. W zbiorniku buforowym zachodzi przekształcanie zawartych w ściekach zanieczyszczeń do lotnych kwasów tłuszczowych w procesie hydrolizy i zakwaszania. Poziom ścieków w zbiorniku musi zawsze być wyższy od minimalnego, aby zapewnić odpowiednią ilość bakterii zakwaszających. Gromadzenie się osadów na dnie zbiornika powoduje upośledzenie procesu hydrolizy. Do zbiornika dozuje się ług sodowy lub kwas solny w celu korekty pH. Ze zbiornika ścieki przepompowywane są do zbiornika recyrkulacyjnego pompą o wydajności maksymalnej 125 m³/h.

Zbiornik recyrkulacyjny

Pojemność zbiornika to 50 m³. Pompowane są do niego ścieki ze zbiornika buforowego. Zawraca się także odpływ z reaktora beztlenowego IC w celu obniżenia zużycia ługu sodowego, obniżenia ChZT na dopływie do reaktora, zmniejszenia fluktuacji złoża i osiągnięcia stabilnego obciążenia hydraulicznego reaktora. Przepływ recyrkulacyjny wynosi 80 m³/h, jeśli nie ma dopływu ze zbiornika buforowego, dzięki temu recyrkulacja jest nadal utrzymywana. Do zbiornika recyrkulacyjnego automatycznie dozowany jest ług sodowy w celu utrzymania pH ok. 6,5. Zbiornik recyrkulacyjny jest zawsze wypełniony w 80-100%.

Etap beztlenowy - reaktor beztlenowy IC

Reaktor beztlenowy IC, którego nazwa wywodzi się z języka angielskiego "internal circulation" (czyli wewnętrzna cyrkulacja) posiada pojemność 465 m³. Składa się z dwóch sekcji, z których pierwsza jest wysoko obciążona, natomiast druga pracuje w procesie nisko obciążonym. W reaktorze następuje dwustopniowa separacja biogazu. Biogaz powstający w pierwszej sekcji reaktora ulega samoczynnemu unoszeniu, powodując zjawisko wewnętrznej cyrkulacji.



Dopływające ścieki pompowane są do reaktora przez specjalny system dystrybucji zapewniający dobre wymieszanie z osadem recykulowanym i odpływem. Pierwsza sekcja zawiera złożo granulowane. Mieszanina ścieków i granulowanego osadu wynoszona jest ku górze, natomiast mieszanina ścieków recykulowanych i osadu przepływa w dół. Dzięki temu tworzy się złożo w formie fluidalnej. Tak utrzymujące złożo pozwala na wytworzenie dobrego kontaktu między ściekami i biomasą, co pozwala na zastosowanie wysokich obciążeń przy zachowaniu wysokiej skuteczności usuwania ChZT. Biogaz powstający w tej sekcji gromadzony jest w niższej części trójfazowego separatora. Pomiar przepływu biogazu jest prowadzony w sposób ciągły. Produkcja biogazu wynosi średnio 30-50 m³/h. Osad i ścieki

unoszą się, powstaje zjawisko gas liftingu, czyli samoczynnego wznoszenia się przez rurę wznoszącą do separatora gaz/ciecz umieszczonego na szczycie reaktora. Tam biogaz jest oddzielany. Mieszanina ciecz/osad kierowana jest do dna reaktora. Odpływ z pierwszej sekcji jest doczyszczany w sekcji drugiej, nisko obciążonej. Ścieki do następnego zbiornika odpływają grawitacyjnie.

Biogaz produkowany w górnej sekcji gromadzony jest na szczycie trójfazowego separatora, oczyszczone ścieki odpływają przez przelew. Biogaz nasycony jest para wodną, gdy temperatura gazu spada ciecz kondensuje. Kondensat odbierany jest w studni kondensatu. Produkcja biogazu jest zmienna. **Zbiornik biogazu** ma objętość 10 m³ i wyrównuje te fluktuacje.

Dysze natryskowe zapobiegają powstawaniu piany dostarczając wodę natryskową do gaszenia piany wewnątrz separatora.

Azot wdmuchiwany jest do reaktora w celu upłynnienia złoża lub w celu przedmuchania rury opuszczającej.

Pochodnia biogazu usytuowana jest na wolno stojącym fundamencie w pobliżu reaktora IC. Ze względu na swoją lokalizację zastosowano pochodnię z płomieniem krytym. Wydajność pochodni to 300 m³/h. Cały biogaz produkowany w reaktorze IC spalany jest w pochodni.

Odory powstające podczas procesu odprowadzane są poprzez **system wentylacji**. W pierwotnej wersji odory z nad zbiornika recyrkulacyjnego i IC odprowadzane były nad złożo filtracyjne Biofiltr. Nie spełniało ono jednak swojej roli i w rezultacie obecnie wykorzystywany jest reaktor biologiczny. W reaktorze dezodoryzacji wewnątrz każdego zbiornika umieszcza się 2 kasety z wypełnieniem. Strumień zanieczyszczonego powietrza zawiera mieszaninę różnych składników, jak H₂S i inne substancje wonne. Wilgotność wypełnienia oraz zawarty w nim mikroorganizmów osiągnięty przez system zraszania, który od czasu do czasu spryskuje złożo wodą (o określonych parametrach) i pożywkami. Dysze zraszacza posiadają odpowiednio duże otwory w celu uniknięcia zapchania. Stężenie siarkowodoru na wylocie po przejściu przez reaktor Bioway to średnio 0,2 ppm, przy dopuszczalnej wartości 5 ppm.

Redukcja ChZT po beztlenowym etapie w stosunku do ładunku zawartego w ściekach na wlocie to 85%.

Powstawanie biogazu

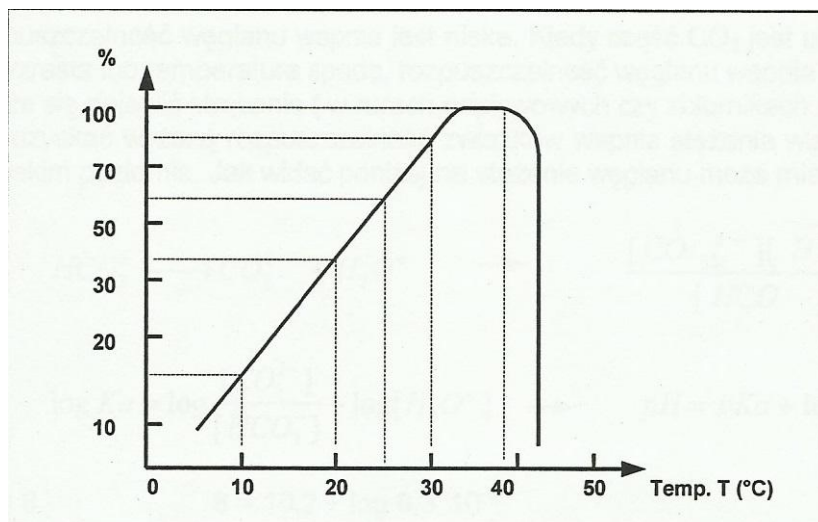
Podczas procesu beztlenowego oczyszczania ścieków zawarty w nich ChZT ulega przemianie w biogaz, dwutlenek węgla i niewielką ilość biomasy.

Skład biogazu: metan 60-90 % vol., dwutlenek węgla 5-20 % vol., siarkowodor 0,1-3 % vol., para wodna 0-0,5 % vol.

Zawartość siarkowodoru w biogazie 5500-6000 ppm (przy przepływie 40-60 m³/h).

Parametry procesu

Temperatura



Między 10-30⁰C temperatura wzrasta 10 %/ 1⁰ C. W temperaturze ok. 35⁰C aktywność bakterii metanogennych jest stała, ale gwałtownie spada powyżej 42⁰C, tak więc optymalna temperatura procesu w reaktorze beztlenowym wynosi poniżej 40⁰C.

Zadania procesu tlenowego oczyszczania ścieków

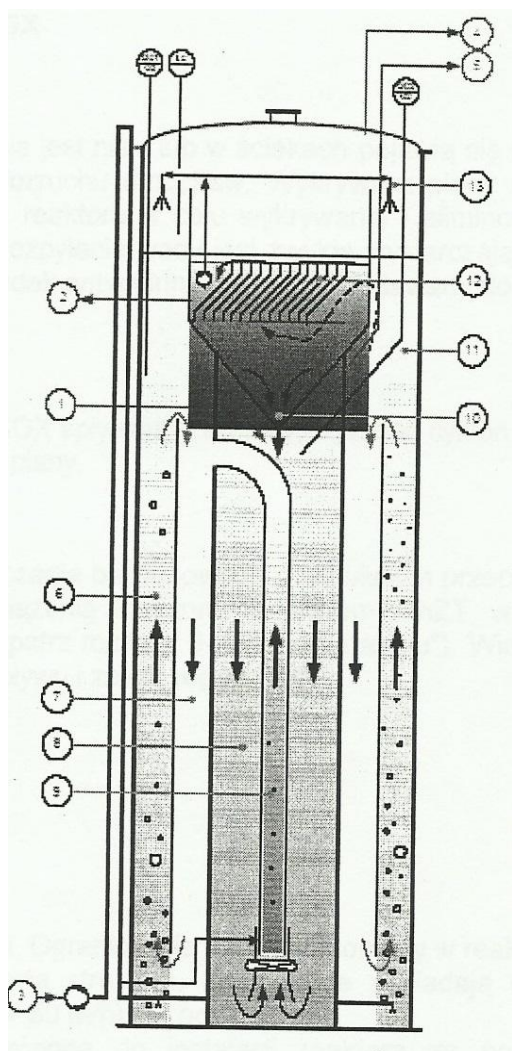
- Usunięcie zanieczyszczeń pozostałych po beztlenowym oczyszczaniu
- Usunięcie związków biogennych
- Utlenianie związków wydzielających zapach H₂S
- Degradacja i adsorpcja rozpuszczonego ChZT

Reaktor tlenowo-beztlenowy

W reaktorze tlenowym usuwane są resztki ChZT i azot. Produktami utleniania są: dwutlenek węgla i azot gazowy. Powstaje także pewna ilość osadu granulowanego. Reaktor podzielony jest na dwie strefy tlenową i niedotlenioną. W obu strefach umieszczone są sondy tlenowe służące ciągłej kontroli natlenienia. Strefa tlenowa podzielona jest na przewód wznoszący "riser" i spływowy "downer". Tlen dozowany jest do tlenowego przewodu pionowego zgodnie z aktualnym zapotrzebowaniem przy pomocy dmuchaw. Wstrzymanie dopływu tlenu powoduje różnicę gęstości między przewodem wznoszącym, a spływowym, czego wynikiem jest wewnętrzna cyrkulacja.

Odprowadzanie odgazów i powietrza z reaktora odbywa się przez odpowietrznik w górnej części zbiornika. Mieszanka ścieków i osadu pozbawiona gazu przepływa do osadnika lamelowego, gdzie osad sedymentuje. Odpływ z reaktora następuje przez przelew znajdujący się na szczycie reaktora. Osad przepływa do strefy niedotlenionej, gdzie łączy się z

dopływem. Przy pomocy powietrznego podnośnika ścieki te ponownie pompowane są do przewodu wznoszącego strefy tlenowej. Przepływem steruje ilość powietrza doprowadzanego do powietrznego podnośnika. Azot powstający w strefie niedotlenionej usuwany jest z reaktora przez wylot.



1. Dopływ
2. Odpływ
3. Doprowadzenie powietrza
4. Ujście powietrza
5. Ujście azotu
6. Rura wznosząca riser
7. Rura spływowa downer
8. Strefa niedotleniona
9. Pompa powietrzna
10. Zawracanie osadu do reaktora
11. Strefa odgazowania
12. Osadnik lamelowy
13. Woda spryskująca

QC O₂ Czujniki tlenu

LC Detektor piany

Parametry kontrolne procesu tlenowego

- Biomasa w normalnych warunkach eksploatacji wynosi 200-400 ml/l
- ChZT na wylocie 50-150 mg/l
- Azot amonowy na wylocie < 5 mg/l
- Temperatura optymalna dla procesu 15-35 °C, (nigdy więcej niż 40 °C !!!)
- pH optymalne 7-8
- Tlen rozpuszczony w strefie tlenowej 2-3 mg/l (dawka ustalana doświadczalnie), w strefie niedotlenionej nie więcej niż 0,5 mg/l

Flokulacja

Odbywa się w flokulatorze, do którego spływają ścieki ze zbiornika wyrównawczego. Flokulator zbudowany jest z równoległe przebiegających rur PE w formie węzownicy do której doprowadzany jest roztwór flokulanta przygotowywanego na stacji dozowania polielektrolitu oraz koagulant chlorek poliglinu. Na instalacji umocowany jest także pH-metr w celu ciągłej kontroli pH. Dawkowanie koagulantu i polielektrolitu są dawkowane zależnie od przepływu.

Flotator

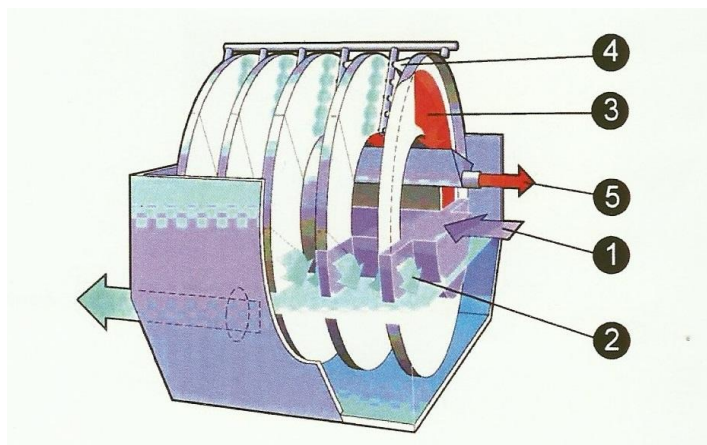
Z flokulatora mieszanina ścieków i reagentów przepompowywana jest do flotatora. Obecna instalacja jest drugim rozwiązaniem zastosowanym na oczyszczalni. W pierwotnej wersji projektowej stosowano flotator kołowy DAF ze zgarniaczem pracującym cyklicznie po okręgu. Obecnie proces flotacji prowadzony jest w zbiorniku wykonanym ze stali nierdzewnej w kształcie podłużnego leja. Przy wlocie ścieki nasycane są od spodu pęcherzykami tlenu z saturatora. Osad flotuje. Cięższe osady nieflotujące opadają do specjalnego okresowo otwierającego się leja. W górnej części flotatora pracuje zgarniacz osadzony na poruszających się łańcuchach. Zgarnia osad do specjalnego spływu. Sucha masa osadu poflotacyjnego to ok. 5%. Ścieki kierowane są na mikrosita w celu doczyszczenia, natomiast osad do dekantera.

Wirówka

Wirówka odśrodkowa posiada prędkość roboczą do 4000 obrotów/minutę. W warunkach standardowych pracuje z prędkością 3250 obr/min. Maksymalna gęstość osadu przeznaczonego do filtrowania $1,2 \text{ kg/dm}^3$. Do wirówki doprowadzany jest polimer wymieszany z wodą. Maksymalna ilość suchej masy uzyskanej w warunkach pracy oczyszczalni to 25%. Uzyskanie tak wysokiej zawartości suchej masy generuje jednak wiele problemów eksploatacyjnych. Średnio jest to 18-20% suchej masy osadu. Osad składowany jest w kontenerze, a następnie jest przekazywany firmie zewnętrznej. Wirówka pracuje okresowo.

Mikrosita

Usytuowane w budynku na zewnątrz oczyszczalni. Pełnią rolę w doczyszczeniu ścieków oczyszczanych i załączane są okresowo. Instalacja składa się z siedmiu tarcz podzielonych na segmenty i umieszczonych koncentrycznie w zbiorniku ze stali nierdzewnej. Na każdej tarczy z obu stron umieszczono po 12 warstw materiału filtracyjnego.



1. Woda przefiltrowana trafia do bębna centralnego.
2. Woda przepływa przez elementy filtracyjne.
3. Substancje stałe osiadają na elementach filtracyjnych i przez ruch obrotowy bębna przenoszone są do komory wypłukiwania.
4. Elementy filtracyjne zostają przepłukane wodą rozpylaną przez dysze. Zanieczyszczenia trafiają do rynienki osadowej.
5. Zanieczyszczenia stałe wypływają z filtra siłą grawitacyjną

Parametry ścieków na wylocie

Parametr	Wartości dopuszczalne	Średnie wartości rzeczywiste
Zawiesina ogólna mg/l	35	27,9
ChZT mg O ₂ /l	125	56,93
Azot ogólny mg/l	30	21,78
Fosfor ogólny mg/l	2	1,4
Azot amonowy mg/l	10	2,77
BZT ₅ mg O ₂ /l	25	17,2

Tab. 3 Parametry ścieków oczyszczonych