

Wysokoefektywna technologia oczyszczania ścieków przemysłowych w mechaniczno-chemiczno-biologicznej oczyszczalni ścieków zakładów mięsnych

Małgorzata Pławecka

Zakłady Mięsne Henryk Kania S.A.

1. Wstęp

Zakłady Przetwórstwa Mięsnego Henryk Kania S.A. w Pszczynie jako jeden z nielicznych w Polsce zakładów branży przetwórstwa mięsnego posiadają przyzakładową oczyszczalnię ścieków z pełnym oczyszczaniem ścieków, które są wprowadzane do środowiska – rzeki Pszczynki.

Zakłady Mięsne Henryk Kania S.A. posiadają pozwolenie zintegrowane dla Instalacji do przetwórstwa produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego o zdolności produkcyjnej ponad 75 ton wyrobów gotowych na dobę. Pozwoleniem zintegrowanym objęta jest również oczyszczalnia.

Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników w ściekach oczyszczonych w pozwoleniu zintegrowanym określono na poziomie:

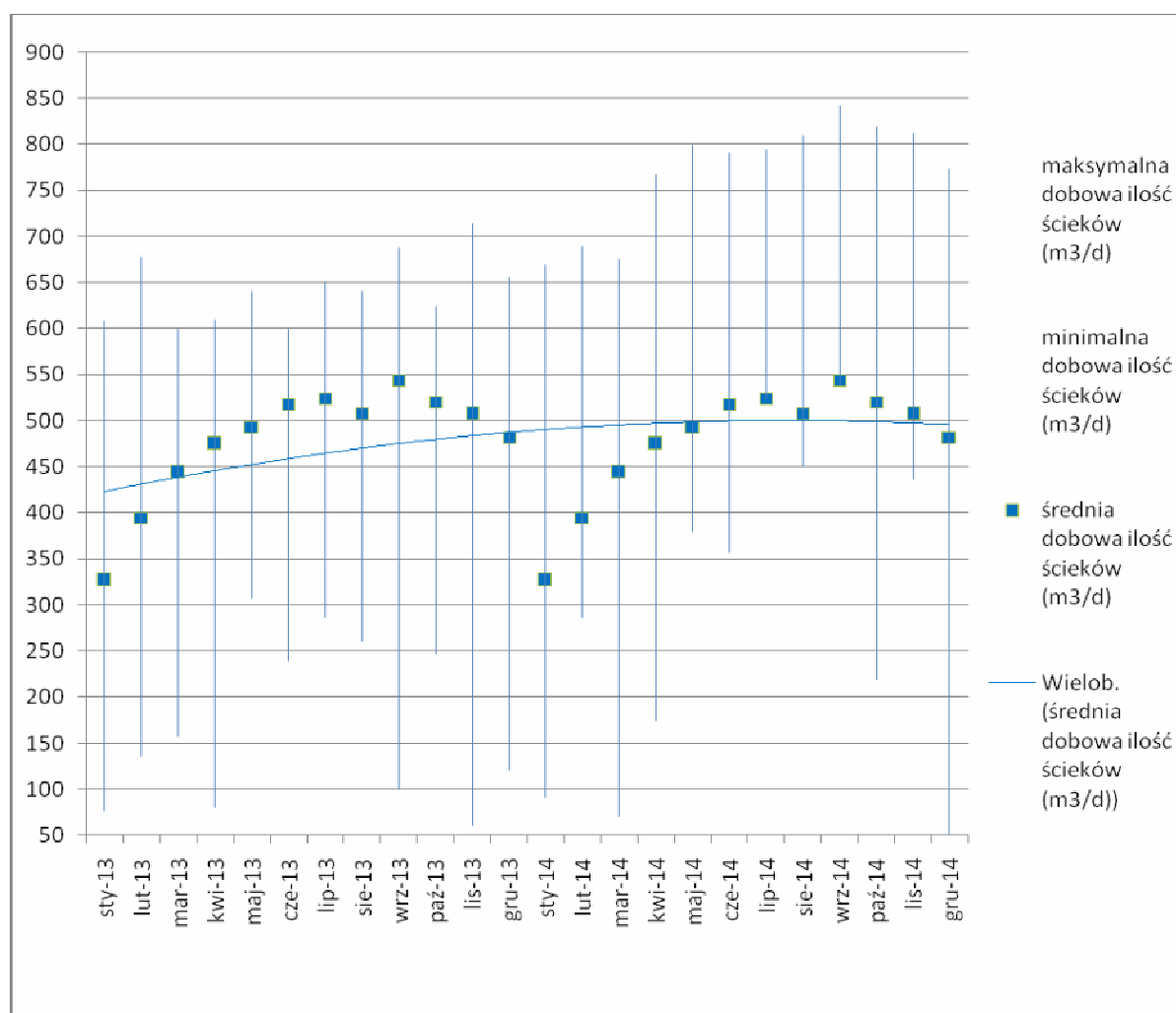
- BZT₅ – 25 mg O₂/l,
- ChZT – 125 mg O₂/l,
- zawiesiny ogólne – 35 mg/l,
- azot ogólny – 30 mg N/l,
- azot amonowy – 20 mg N-NH₄/l,
- azot azotanowy – 30 mg N-NO₃/l,
- fosfor ogólny – 3 mg/l,
- substancje ekstrahujące się eterem naftowym – 20 mg/l.

Maksymalna przepustowość hydrauliczna oczyszczalni wynosi 800 m³/d, średnia 600 m³/d, RLM projektowe – 18000, RLM rzeczywiste – ok. 10 200.

Technologia oczyszczania ścieków opisana poniżej oparta jest o układ mechaniczno-chemiczno-biologicznego oczyszczania ścieków. Biologiczne oczyszczanie ścieków realizowane jest w sekwencyjnym biologicznym reaktorze (SBR) z wydzieloną strefą denitryfikacji.

2. Ilość ścieków

Ilość ścieków ogólnych powstających w procesach produkcyjnych to ok. 80-90 % ilości wody pobranej z sieci wodociągowej i wyniosła średnio 478 m³/d (2013 r.), 621 m³/d (2014 r.). Średnie ilości ścieków oczyszczonych na oczyszczalni w poszczególnych miesiącach 2013 i 2014 roku przedstawiono na Rysunku nr 1 z uwzględnieniem wartości dobowych minimalnych, maksymalnych oraz wartości średniodobowych .



Rysunek nr 1. Dobowa ilość ścieków oczyszczanych na oczyszczalni z uwzględnieniem wartości dobowej minimalnej, maksymalnej i średniodobowej w 2014 r.

3. Jakość ścieków surowych

Ścieki z zakładów przetwórstwa mięsnego charakteryzują się stosunkowo wysokim stężeniem łatwobiodegradowalnego ładunku organicznego. Podstawowy zakres badań laboratoryjnych wskaźników zanieczyszczeń obejmuje oznaczenie zawiesiny ogólnej, biologicznego i chemicznego zapotrzebowania na tlen oraz substancji ekstrahujących się eterem naftowym. Stosunek BZT₅ do ChZT w ściekach surowych kształtuje się na poziomie 0,5- 0,7.

Poza substancjami organicznymi w ściekach występują substancje biogenne tj. nieorganiczne i organiczne związki azotu oznaczane w badaniach laboratoryjnych jako azot amonowy, azot azotanowy i azot ogólny oraz nieorganiczne i organiczne związki fosforu oznaczane jako fosforany rozpuszczone i fosfor ogólny.

Ścieki surowe z Zakładów Mięsnych Henryk Kania S.A. nie odbiegają od typowych ścieków z tej branży przemysłu, w Tabeli nr 1 przedstawiono średnie stężenia wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych uzyskane w badaniach kontrolnych w latach 2013-2014.

Tabela nr 1. Średnie stężenia wskaźników zanieczyszczeń – ścieki surowe (2013 - 2014 r.).

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartości		
			średnie	minimalne	maksymalne
1	BZT ₅	mg O ₂ /l	980	710	1700
2	ChZT _{Cr}	mg O ₂ / l	1892	1460	2360
3	Zawiesina ogólna	mg/ l	602	440	760
4	Azot ogólny	mg N/l	126	89	190
5	Azot amonowy	mg N-NH ₄ /l	21,5	7,1	38,7
6	Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	0,50	0,20	1,4
7	Fosfor ogólny	mg P/ l	31,2	25,8	44,8
8	Ekstrakt eterowy	mg / l	223	143	430

Wstępne podczyszczanie mechaniczno-chemiczne przyczynia się do znacznej redukcji stężeń wskaźników zanieczyszczeń, w odniesieniu do ich wartości w ściekach surowych, co przedstawiono w Tabeli nr 2.

Tabela nr 2. Stopień redukcji zanieczyszczeń po oczyszczaniu mechaniczno-chemicznym.

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	% redukcji
1	BZT ₅	mg O ₂ /l	89
2	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /l	86
3	Zawiesina ogólna	mg/l	87
4	Azot ogólny	mg N/l	64
5	Azot amonowy	mg N-NH ₄ /l	Nie dotyczy
6	Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	Nie dotyczy
7	Fosfor ogólny	mg P/l	92
8	Ekstrakt eterowy	mg /l	96

Średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach po procesie flotacji (podczyszczeniu na stopniu chemicznym) zamieszczono Tabeli nr 3, wartości te uzyskano w przeprowadzonej serii badań kontrolnych w 2013 r.

Tabela nr 3. Średnie stężenia wskaźników zanieczyszczeń – ścieki po procesie flotacji (2013 r.).

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartości		
			średnie	minimalne	maksymalne
1	BZT ₅	mg O ₂ /l	82	39	160
2	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /l	257	70	432
3	Zawiesina ogólna	mg/l	80	9,0	150
4	Azot ogólny	mg N/l	36,2	21,7	49,8
5	Azot amonowy	mg N-NH ₄ /l	15,7	11,9	17,8
6	Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	0,35	0,2	0,45
7	Fosfor ogólny	mg P/ dm ³	1,82	0,47	2,43
8	Ekstrakt eterowy	mg / dm ³	9,7	5,6	13,3

4. Jakość ścieków oczyszczonych i stopień redukcji zanieczyszczeń na oczyszczalni

Wyniki analiz jakości ścieków oczyszczonych z poborów kontrolnych w 2013 r. i 2014 r. prowadzonych w ramach tzw. automonitoringu czyli okresowych pomiarów ilości i jakości ścieków przedstawiono w Tabeli nr 4. Na ich podstawie można stwierdzić, że praca oczyszczalni charakteryzuje się dużą stabilnością w zakresie osiągnięcia odpowiedniej jakości ścieków oczyszczonych bez względu na porę roku i cykl produkcyjny.

Tabela nr 4. Średnie stężenia wskaźników zanieczyszczeń – ścieki oczyszczone (2013-2014 r.).

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartości		
			średnie	minimalne	maksymalne
1	BZT ₅	mg O ₂ /l	7,4	3	16
2	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /l	66	37	118
3	Zawiesina ogólna	mg/ l	13,4	6,8	29,0
4	Azot ogólny	mg N/l	8,7	4,5	14,6
5	Azot amonowy	mg N-NH ₄ /l	2,3	0,6	8,5
6	Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	3,1	0,3	7,5
7	Fosfor ogólny	mg P/l	0,6	0,22	1,08
8	Ekstrakt eterowy	mg /l	8,2	4,1	15,2

Na podstawie danych z Tabel nr 1 i 4 obliczono stopnie redukcji zanieczyszczeń, które zestawiono w Tabeli nr 5.

Tabela nr 5. Stopień redukcji zanieczyszczeń na oczyszczalni ścieków.

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	% redukcji
1	BZT ₅	mg O ₂ /l	99
2	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /l	96
3	Zawiesina ogólna	mg/ l	98
4	Azot ogólny	mg N/l	93
5	Azot amonowy	mg N-NH ₄ /l	89
6	Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	nie dotyczy
7	Fosfor ogólny	mg P/l	98
8	Ekstrakt eterowy	mg /l	96

Jak wskazują dane zebrane w Tabeli nr 5, wartości procentów redukcji zanieczyszczeń osiągane na oczyszczalni ścieków Zakładów Mięsnych Henryk Kania S.A. w Pszczynie są bardzo wysokie i świadczą o doskonałej pracy instalacji.

5. Technologia oczyszczania ścieków

Oczyszczanie ścieków przemysłowych z Zakładów Mięsnych Henryk Kania S.A. w Pszczynie realizowane jest poprzez pracę trzystopniowego układu oczyszczania ścieków tj. mechaniczno-chemiczno-biologicznego z bioreaktorem.

Pierwszy stopień oczyszczania polega na mechanicznym oczyszczaniu ścieków surowych dopływających na oczyszczalnię poprzez ich cedzenie na sicie bębnowym obrotowym o średnicy oczek 0,8 mm. Następnie ścieki po wyrównaniu w zbiorniku uśredniającym podawane są pompowo na stopień chemiczny stanowiący zespół urządzeń flotacyjnych tj. flokulator zespolony z flotatorem ciśnieniowym. Podczyszczone wstępnie ścieki kierowane są na stopień oczyszczania biologicznego.

Na biologiczny reaktor typ SBR składają się dwa zespolone funkcjonalnie obiekty tj. zbiornik kontaktowy i reaktor SBR. Charakterystyczna jest konstrukcja reaktora SBR ponieważ zbudowany jest jako koncentryczny zbiornik, którego zewnętrzny pierścień stanowi wydzielona strefa/komora denitryfikacji. Wewnętrzna część jest napowietrzana i/lub mieszana i funkcjonalnie może być strefą tlenową (nitryfikacji) lub anoksydacyjną (denitryfikacji). Połączenia międzystrefowe zapewniają prowadzenie recyrkulacji pomiędzy strefą denitryfikacji, a strefą napowietrzania/nitryfikacji. Recyrkulacja ta jest wymuszona poprzez szybkoobrotowe mieszadło zabudowane w ścianie oddzielającej obie strefy.

Ścieki po podczyszczeniu chemicznym trafiają do zbiornika kontaktowego, gdzie mieszają się ze strumieniem recyrkulatu z reaktora SBR. Stopień recyrkulacji jest ustalony doświadczalnie i może być zmieniany w zależności od potrzeb. W zbiorniku kontaktowym zabudowana jest strumienica, która zapewnia odpowiednie mieszanie i napowietrzanie zbiornika. Zbiornik ten pełni funkcje tlenowego selektora. Pompa w zbiorniku kontaktowym podaje okresowo mieszaninę ścieków i osadu czynnego do zewnętrznego pierścienia bioreaktora. Należy zauważyć, że ten typ reaktora SBR ze względu na profil przepływu ścieków przypomina reaktory przepływowe o przepływie tłokowym, co nie jest typowym rozwiązaniem, ponieważ najczęściej reaktory SBR to reaktory pełnego wymieszania rzadko wyposażane w zbiorniki kontaktowe – selektory.

Charakterystycznym rozwiązaniem jest ciągle zasilanie reaktora ściekami przerywane jedynie na czas sedymentacji i dekantacji (odprowadzenia) ścieków oczyszczonych do odbiornika. Reaktor obecnie pracuje w dwóch dwunastogodzinnych cyklach na dobę. Każdy cykl składa się z 9,5 godzin napełniania i tzw. „reakcji”, 30 minut sedymentacji i 2 godzin dekantacji. Podczas tzw. „reakcji”, w zależności od warunków wynikających z obciążenia reaktora związkami węgla i azotu pierwsze 1-2 godziny przeznaczone są na tzw. „denitryfikację”, czyli w obu strefach bioreaktora pracują tylko mieszadła. W kolejnych godzinach „reakcji” włączane jest napowietrzanie. Przy pełnym obciążeniu bioreaktora ładunkiem zanieczyszczeń cały 9,5 godzinny czas napełniania jest połączony z napowietrzaniem.

Optymalizacja pracy reaktora polega na kontroli obciążenia substratowego osadu czynnego i poziomu związków azotu (azot amonowy, azot azotanowy) w ściekach oczyszczonych. Działania takie pozwalają na dostosowywanie czasów napowietrzania podczas „reakcji” do aktualnych warunków pracy reaktora.

Efektem stosowania wyrównania ilości i stężenia ścieków surowych w zbiorniku uśredniającym oraz zastosowania chemicznego podczyszczania ścieków jest uzyskanie w zasadzie „stałych” parametrów jakości ścieków po stopniu mechaniczno-chemicznym, zatem zmiany obciążenia substratowego będą związane bezpośrednio ze zmianami wynikającymi z ilości podawanych do bioreaktora ścieków.

Osad nadmierny jest usuwany podczas końcowej fazy dekantacji do zbiornika wyrównawczego. Zbiornik wyrównawczy jest zbiornikiem napowietrzonym z zabudowanym rusztem drobnopęcherzykowego napowietrzania. W zasadzie jest reaktorem biologicznym z wysokoobciążonym osadem czynnym. Przeciętny czas zatrzymania ścieków w tym zbiorniku waha się w granicach od 0,5 do 1 doby. Ostateczne usuwanie osadu nadmiernego z układu oczyszczania wiąże się z pracą flotatora ciśnieniowego i wytwarzaniem tzw. osadu flotacyjnego. Osad flotacyjny jest na bieżąco odbierany beczkownikami przez komunalną oczyszczalnię ścieków posiadającą stosowne decyzje w zakresie unieszkodliwienia odpadu w procesie fermentacji metanowej. Biogaz powstający w wyniku kofermentacji flotatów z osadami z komunalnej oczyszczalni ścieków wykorzystywany jest w układzie kogeneracji do produkcji energii elektrycznej.

5.1. Obiekty i instalacje części mechaniczno-chemicznej

W skład części mechaniczno-chemicznej wchodzi:

- studzienka pompowa – o średnicy 3 m i głębokości 2,5 m; studzienka wyposażona jest w pompę ściekową o wydajności 45 m³/h i układ sterujący jej pracą;
- sito obrotowe – wydajność maksymalna 45 m³/h; sito (szczelina 0,8 mm) wyposażone w instalację czyszczącą oraz układ automatycznego sterowania;
- zbiornik wyrównawczy – wykonany z powlekanej blachy stalowej o średnicy 11,0 m, wysokości 4,0 m i pojemności maksymalnej 380 m³. Zbiornik wyposażony jest w pompę o wydajności 45 m³/h oraz system drobnopęcherzykowego napowietrzania, którego zadaniem jest natlenienie i mieszanie ścieków;
- flokulator rurowy – o przepustowości średniej 35 m³/h, maksymalnej 45 m³/h;
- flotator (wanna flotacyjna) – o przepustowości średniej 35 m³/h, maksymalnej 45 m³/h,
- stacja dozowania koagulantu – zespół zbiornika paletowego zawierającego siarczan żelazowy wraz z systemem manualnego sterowania pompy dozującej;
- stacja dozowania NaOH – zespół zbiornika paletowego zawierającego NaOH (wodorotlenek sodowy 30%) wraz z systemem automatycznego i manualnego sterowania pompy dozującej;
- stacja dozowania polielektrolitu – (2 szt.) zespół urządzeń służących do automatycznego sporządzania roztworu polielektrolitu wraz z pompą dozującą;
- zbiornik osadu poflotacyjnego – zbiornik ze stali nierdzewnej służący do gromadzenia osadu poflotacyjnego o pojemności 20 m³.

Przepustowość hydrauliczna I stopnia oczyszczalni ścieków jest zależna od czasu pracy systemu flotacyjnego, czas ten zależy od cyklu pracy bioreaktora i jest ściśle związany z długością czasu „reakcji” bioreaktora ponieważ tylko w tym okresie następuje napełnianie bioreaktora ściekami. Obecnie przy 2 dobowych cyklach pracy bioreaktora łączny czas napowietrzania, a zatem i flotacji wynosi 19 godzin. Zakładając średnią wydajności flotacji na poziomie 35 m³/h można w tym czasie oczyścić na I stopniu oczyszczalni 665 m³/d ścieków, przy maksymalnej wydajności flotacji wartość ta wzrasta do 855 m³/d.

5.2 Biologiczny stopień oczyszczania ścieków

Ścieki po podczyszczeniu na stopniu mechaniczno-chemicznym poddawane są dalszemu końcowemu oczyszczaniu na stopniu biologicznym w technologii osadu czynnego. Zadaniem tego stopnia oczyszczania ścieków jest dalsza redukcja wskaźników zanieczyszczeń ścieku surowego – BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej oraz redukcja azotu ogólnego. Biologiczne oczyszczanie ścieków jak wspomniano wyżej jest realizowane w bioreaktorze SBR stanowiącym koncentryczny zbiornik, którego zewnętrzny zbiornik stanowi komorę denitryfikacji, a wewnętrzny komorę nityfikacji. Całkowita pojemność bioreaktora wynosi 1400 m³, z czego 30% przypada na objętość denitryfikacji, a 70% na objętość komory nityfikacji. Komora denitryfikacji jako strefa niedotleniona wyposażona jest w mieszadło, które zapewnia odpowiednie wymieszanie zawartości komory i utrzymanie osadu czynnego w stanie zawieszenia. Komora nityfikacji wyposażona jest w system drobnopęcherzykowego napowietrzania zapewniającego stworzenie odpowiednich warunków tlenowych dla prowadzenia procesu nityfikacji i wspomagania procesu mieszania w komorze. Pomędzy komorami denitryfikacji i nityfikacji znajdują się dwa otwory, w jednym z nich zabudowane jest mieszadło wymuszające recyrkulację wewnętrzną ze strefy tlenowej (nityfikacji) do strefy niedotlenionej (denitryfikacji). Ścieki surowe po flotacji (oczyszczeniu mechaniczno-chemicznym) przed oczyszczeniem w bioreaktorze kierowane są do zbiornika kontaktowego, do którego doprowadzany jest na drodze recyrkulacji (w sposób grawitacyjny) osad czynny z bioreaktora. Zbiornik kontaktowy wyposażony jest w pompę-strumienicę zapewniającą odpowiednie wymieszanie ścieków surowych z osadem czynnym oraz pompę ściekową podającą mieszaninę ścieków wraz z osadem do komory denitryfikacji.

Technologia osadu czynnego w tym układzie oczyszczania ścieków opiera się na tzw. osadzie czynnym niskoobciążonym - obciążenie osadu czynnego poniżej 0,05 kg BZT₅/kg sm.

W związku z charakterem ścieków surowych zawierających łatwoodegradowalne na drodze biologicznej substancje, stanowiące potencjalnie w warunkach niskoobciążonego osadu czynnego pożywkę dla bakterii nitkowatych, zbiornik kontaktowy usytuowany w ciągu technologicznym przed bioreaktorem pełni funkcję selektora. Selektor jest to obiekt technologiczny, w którym osad czynny poddawany jest przez odpowiednio długi czas wysokiemu obciążeniu, co zapobiega rozwojowi bakterii nitkowatych jako nieprzystosowanych fizjologicznie do zmiennych warunków niskiego i wysokiego obciążenia. W związku z powyższym układ taki zapobiega tzw. „puchnięciu osadu czynnego”

i pozwala na utrzymaniu osadu, którego odpowiednio niski indeks zapewnia efektywne klarowanie ścieków oczyszczonych. Indeksy osadu czynnego kształtują się na poziomie 70-150 g/l, przy wieku osadu wynoszącym powyżej 25 d.

Podczas okresu dekantacji w razie potrzeb może nastąpić odprowadzenie osadu nadmiernego. W okresie sedymentacji osad zagęszcza się około 2,5-4 krotnie i jak opisano wcześniej w maksymalnej ilości około 10-30 m³/d jest odprowadzany poprzez studnię zbiorczą do zbiornika wyrównawczego. Ilość osadu nadmiernego jest mierzona poprzez przepływomierz elektromagnetyczny.

5.3. Obiekty, instalacje i urządzenia części biologicznej

W skład części stopnia biologicznego oczyszczalni wchodzi:

- zbiornik kontaktowy – zbiornik wyposażony w pompę (strumienicę), której zadaniem jest mieszanie osadu czynnego recykulowanego z bioreaktora ze ściekiem surowym oraz w pompę ściekową o wydajności 50 m³/h; pojemność 35 m³;
- bioreaktor – koncentryczny zbiornik wykonany ze stali powlekanej; średnica zbiornika zewnętrznego – 21,5 m (komora denitryfikacji), średnica zbiornika wewnętrznego – 18,5 m (komora nityfikacji-napowietrzania), wysokość zbiornika – 4,5 m, maksymalna objętość czynna 1400 m³; wyposażenie zbiornika:
 - mieszadło w komorze denitryfikacji,
 - mieszadło pomiędzy komorami denitryfikacji i nityfikacji,
 - system napowietrzania drobnopęcherzykowego,
 - aparatura kontrolno-pomiarowa w komorze nityfikacji: miernik stężenia tlenu rozpuszczonego,
 - dekantery (2 szt.) – instalacja do odprowadzenia ścieków oczyszczonych po sedymentacji;
- stacja dmuchaw – kontenerowa stacja dmuchaw wyposażona w trzy dmuchawy o wydajności 305 m³/h zabezpieczające potrzeby tlenowe zbiornika wyrównawczego (1 szt.) i bioreaktora (2 szt.).

5.4. Pomiary ilości i jakości ścieków wprowadzanych do wód

Ilość ścieków oczyszczonych mierzona jest przez przepływomierz elektromagnetyczny, którego wskazania obejmują pomiar przepływu chwilowego (m³/h) oraz sumę – ilość odprowadzonych ścieków (m³).

Kontrola technologiczna pracy oczyszczalni polega na wykonywaniu w zakładowym laboratorium analiz fizykochemicznych ścieków surowych, ścieków po mechaniczno-chemicznym oczyszczeniu i oczyszczonych po stopniu biologicznym (ChZT, azot amonowy, azot azotanowy, fosforany rozpuszczone, pH, zasadowość) oraz badań osadu czynnego (zawiesina ogólna, opadalność, indeks osadu).

Ponadto, w zakresie i z częstotliwością regulowaną zapisami pozwolenia wodnoprawnego (tzn. raz na dwa miesiące), zleca się badania ścieków surowych i oczyszczonych w akredytowanym laboratorium zewnętrznym, zapewniającym wykonanie analiz zgodnie z metodyką referencyjną wskazywaną przez Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.