

1921 – 2021

MIR100
lat

Zygmunt Usydus, Joanna Szlinder-Richert

**GOSPODARKA
WODNO-ŚCIEKOWO-OSADOWA
W ZAKŁADACH PRZEMYSŁU RYBNEGO
DAWNIEJ I DZIŚ**



Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

Zygmunt Usydus, Joanna Szlinder-Richert

Gospodarka wodno-ściekowo-osadowa w zakładach przemysłu rybnego dawniej i dziś

Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

Gdynia 2021

Wydawca

Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Kołłątaja 1

81-332 Gdynia

email: sekretariat@mir.gdynia.pl

Tel.: +48 58 73-56-232

Fax: +48 58 73-56-110

Autorzy: dr. hab. inż. Zygmunt Usydus, dr hab. inż. Joanna Szlinder-Richert

Autor zdjęcia na okładce: Tomasz Kulikowski

Projekt okładki, opracowanie graficzne i skład:

E-BIT Edyta Wojciechowska-Jadczyk, edyta@e-bit.pl



Publikacja jest dostępna na licencji

Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0
Polska.

Pewne prawa zastrzeżone na rzecz autorów. Zezwala się na wykorzystanie publikacji
zgodnie z licencją – pod warunkiem zachowania niniejszej informacji licencyjnej oraz
wskazania autorów jako właścicieli praw do tekstu.

Treść licencji jest dostępna na stronie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/pl/>

ISBN: 978-83-61650-27-0

Streszczenie

Badania dotyczące gospodarki wodno-ściekowo-osadowej w zakładach przetwórstwa rybnego prowadzone były w CLPR (Centralne Laboratorium Przemysłu Rybnego) i MIR-PIB już od lat 70. ubiegłego wieku. Nieoczyszczone ścieki przemysłu rybnego ze względu na dużą zawartość białka i tłuszczu mogą stanowić poważne obciążenie dla środowiska, stąd wzięła się potrzeba stworzenia procedur postępowania z nimi. Ważnym zadaniem jest nie tylko unieszkodliwienie ścieków, ale także opracowanie rozwiązań polegających na odzyskaniu części substancji w nich obecnych i racjonalnym ich wykorzystaniu, co jest w zgodzie z ideą gospodarki cyrkularnej.

W poniższym opracowaniu przedstawiono zarówno wyniki badań własnych, jak i rozwiązania opisane w literaturze dotyczące możliwości zagospodarowania odpadów rybnych oraz osadów ściekowych, które powstają w zakładach w trakcie podczyszczania ścieków.

W oparciu o przeprowadzone badania i przegląd literaturowy przedstawiono:

- przebieg na przestrzeni lat zmian parametrów jakości ścieków odprowadzanych z zakładów przetwórstwa rybnego z uwzględnieniem produkcji różnych grup towarowych;
- wyniki badań dotyczących efektywności różnych rozwiązań stosowanych do podczyszczania ścieków przemysłu rybnego (wskazano najbardziej racjonalne metody);
- możliwości wykorzystania odpadów rybnych i osadów ściekowych oraz wskazano optymalne według autorów metody.

Z analizy przedstawionych danych wynika, że racjonalnym rozwiązaniem jest oddzielenie ze ścieków technologicznych wód o najwyższych wskaźnikach zanieczyszczeń (np. odcieków po parowaniu, które powinny być wykorzystane np. na cele spożywcze), a następnie poddanie ich podczyszczaniu mechaniczno-chemicznemu. Powstające osady ściekowe powinny być wykorzystane do produkcji nawozów mineralno-organicznych. Dostępne obecnie rozwiązania technologiczne pozwalają na zamontowanie w ciągu podczyszczalni ścieków właściwej instalacji, dzięki czemu proces wytwórczy mógłby stać się bezodpadowy.

I. Wprowadzenie

Przetwórstwo rybne, podobnie jak inne branże przemysłu spożywczego, należy do tych kierunków wytwarzania żywności, które mogą negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne. Oddziaływanie to odnosi się szczególnie do wód powierzchniowych (odprowadzane ścieki), a także do gleby (zagrożenie sanitarne związane głównie z niekontrolowanym składowaniem odpadów stałych powstających w zakładach rybnych).

Istotną barierą rozwoju przemysłu spożywczego, w tym także rybnego, może stać się potrzeba spełnienia wymagań związanych z ochroną środowiska. Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzenie tzw. *cleaner technology* (CT), a zwłaszcza podstawowego narzędzia CT, jakimi są procedury WAM (*waste minimization assessment*). Polegają one na zintegrowanym przeprojektowaniu i przeorganizowaniu zakładu tak, aby produkował on sposobem bez- lub niskoodpadowym (w myśl zasady: zbierać i zabezpieczać odpady tam, gdzie one powstają) (Evangelinos i in., 2013).

Unia Europejska już w 1996 roku proponowała zintegrowane działania polegające na zapobieganiu zanieczyszczeniom i na ich kontroli – *Integrated Pollution Prevention and Control* (IPPC), które zostały zaktualizowane w 2010 roku na mocy dyrektywy zalecającej zastosowanie najlepszych dostępnych technik – *Best Available Techniques* (BAT) w ochronie środowiska (Directive 2010/75/UE; Barros i in., 2007; Valiño i in., 2007; Bello i in., 2013).

Rybny przemysł przetwórczy w Polsce pod koniec września 2017 roku działał w oparciu o 263 zakłady, w tym 137 w regionie nadmorskim (52% zarejestrowanych zakładów i około 80% całkowitej produkcji w gospodarce rybnej), tak więc głównie w województwach nadmorskich (pomorskie, zachodniopomorskie) występuje największe oddziaływanie tego przemysłu na wody powierzchniowe (w tym głównie na wody Morza Bałtyckiego, będące zlewiskiem Wisły, Odry i rzek przymorza).

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wielkości charakteryzujące dopływ substancji organicznych (biogennych) i metali ciężkich w latach 2014 i 2015 do Morza Bałtyckiego (Rocznik statystyczny Gospodarki Morskiej, 2018).

Tabela 1. Dopływ substancji organicznych i biogennych rzekami do Morza Bałtyckiego (tys. ton/rok)

	BZT5	Azot ogólny	Azot organiczny	Fosfor ogólny
2014	108,0	112,8	44,5	10,8
2015	88,2	76,6	27,0	4,8

Tabela 2. Dopływ metali ciężkich do Morza Bałtyckiego (tony/rok)

	Ołów	Kadm	Rtęć	Cynk	Miedź	Nikiel
2014	9,9	0,9	0,5	118,4	80,8	70,8
2015	8,3	0,6	0,3	121,8	38,6	45,9

Na podstawie obliczeń własnych, uwzględniających średni ładunek zanieczyszczeń (tabela 9) oraz ilości odprowadzanych ścieków, możemy przyjąć, że ładunek BZT₅ w ściekach surowych przemysłu rybnego według danych z 2015 roku to ~3,7% tej wartości podanej w tabeli 1.

Nieoczyszczone ścieki przemysłu rybnego zawierają stałe części ryb, substancje tłuszczowe, białka rozpuszczalne, niebiałkowe związki amonowe, sole mineralne, kwas octowy itp., dlatego odprowadzane bezpośrednio do wód powierzchniowych bądź do kanalizacji miejskiej mogłyby powodować powstawanie niekorzystnych zmian w odbiorniku wodnym lub zaburzenia w eksploatacji miejskich urządzeń kanalizacyjnych.

Unieszkodliwienie ścieków prowadzone w zakładach przetwórstwa rybnego polega na wydzieleniu odpadów stałych oraz przeważnie przeprowadzeniu wstępnego oczyszczania ścieków przed ich odprowadzeniem z zakładu. W wyniku prowadzonego oczyszczania wstępnego ścieków powstają osady ściekowe, które muszą zostać odpowiednio zagospodarowane. Oprócz przesłanek środowiskowych przemawiają za tym także wymagania prawne związane z członkostwem naszego kraju w Unii Europejskiej, co skutkuje zakazem składowania odpadów ściekowych (od 1 stycznia 2016 r.).

Zgodnie z obowiązującą w Polsce Ustawą o odpadach z 27 lipca 2001 r. (Dz.U. z 2001 r. Nr 100, poz. 1085), przez odpady rozumie się „wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, a także nie będące ściekami substancje ciekłe powstałe w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu lub czasie, w którym powstały; za odpady uważa się także odpady ściekowe”. Tak pojemna definicja odpadów wymaga ich sklasyfikowania, szczególnie w przypadku, gdy powstające odpady mają być przeznaczone do dalszego zagospodarowania, np. w formie paszy dla zwierząt hodowlanych. Zgodnie z artykułem 5 w/w ustawy, odpady z przemysłu rybnego można podzielić na:

- podlegające wykorzystaniu,
- podlegające unieszkodliwieniu.

Odpady pochodzące z przetwórstwa rybnego, które mogą być zaliczone jako podlegające dalszemu wykorzystaniu, to:

- wysortowane ryby,
- odpady rybne z obróbki wstępnej,
- inne odpady rybne (np. spady z wędzenia),
- odpady z rotosita po oczyszczeniu wód poprodukcyjnych,
- osady powstające po oczyszczeniu wód poprodukcyjnych (np. osady pokoagulacyjne).

Odpady powstające w przemyśle rybnym mają bardzo zróżnicowaną charakterystykę ilościowo-jakościową, zależną od określonych uwarunkowań technologicznych i profilu produkcji danego zakładu. W świetle posiadanej obecnie wiedzy praktycznie wszystkie w/w odpady mają pewną przydatność użytkową i w związku z tym wywożenie ich na wysypisko należy uznać za marnotrawstwo niezgodne zarówno z zasadami racjonalnej gospodarki surowcami, jak i wymogami prawnymi wynikającymi z ustaleń Unii Europejskiej.

Producenci przetworów z ryb poradzili sobie w dużej mierze z odpadami rybnymi, przeznaczając je na produkcję mączek paszowych bądź kierując je do bezpośredniego skarmiania dla zwierząt futerkowych. Problem natomiast stanowią niektóre osady powstające w trakcie oczyszczania wód poprodukcyjnych, które ze względu na zawartość białek i tłuszczów powinny być wykorzystane.

W ustawie o odpadach rozróżniono pojęcia: „wykorzystania” i „unieszkodliwiania” odpadów. Wykorzystanie odpadów polega na ich użytkowaniu w celach:

- przemysłowych, w tym energetycznych lub budowlanych; odpady używane jako surowce wtórne w całości lub w części, bezpośrednio lub przez przetworzenie,
- nieprzemysłowych, a w szczególności do kształtowania powierzchni gruntów, dostosowania ich do określonych potrzeb, a także do nawożenia lub ulepszenia gleby.

Unieszkodliwianie odpadów polega natomiast na doprowadzeniu ich do stanu, który nie stwarza zagrożeń dla życia i zdrowia ludzi oraz dla środowiska, poprzez poddanie ich procesom przekształcenia biologicznego, fizycznego lub chemicznego. Zgodnie z ustawą, rodzajem nieszkodliwienia jest również składowanie odpadów.

Według naszej wiedzy, dotychczas żaden zakład branży rybnej w Polsce nie rozwiązał problemów gospodarki wodno-ściekowej w sposób kompleksowy, pozwalający oczyścić ścieki do wymaganych parametrów, a jednocześnie racjonalnie wykorzystać białka i tłuszcze zawarte w osadach ściekowych.

Niniejsze opracowanie ma na celu omówienie wybranych problemów gospodarki wodno-ściekowo-osadowej zakładów przemysłu rybnego oraz wskazanie możliwości kompleksowego sposobu oczyszczania ścieków i zagospodarowania odpadów.

2. Gospodarka wodna w zakładach przemysłu rybnego

Ilość i jakość ścieków, a także stopień koniecznego ich oczyszczenia zależą od:

- rodzaju produkcji prowadzonej w zakładzie,
- stopnia mechanizacji procesu przetwórczego,
- wielkości produkcji,
- jakości oraz stopnia przetworzenia surowca dostarczonego do produkcji,
- stosowanych w produkcji technologii przetwarzania surowca,
- przestrzegania racjonalnego gospodarowania wodą,
- odbiornika, do którego odprowadzane są podczyszczone ścieki.

Do końca lat 80. dominowały w Polsce duże zakłady przetwórstwa rybnego, które odprowadzały ścieki do kanalizacji miejskiej lub wód powierzchniowych bez odpowiedniego podczyszczenia. Szacuje się, że w latach 80. przedsiębiorstwa branży rybnej odprowadzały 10–13 mln m³ ścieków rocznie (Morgan-Lewińska, 1992). Duże zakłady przetwórstwa rybnego w latach 70. i 80. nie prowadziły oszczędnej gospodarki wodnej. Stosowano wodochłonne procesy technologiczne (np. rozmrażanie wodne w urządzeniach typu Defroster zużywających ~28 m³ wody na 1 t rozmrażanej ryby), brakowało jakichkolwiek urządzeń zabezpieczających przed niekontrolowanym użyciem wody, nie funkcjonowały zamknięte obiegi wodne, występowały błędy w zakresie gospodarowania wodą (np. splukiwanie tzw. odpadów operacyjnych do kanalizacji, nieszczelności, niekontrolowane mycia, zaniedbania obsługi itp.). W tym okresie woda nie stanowiła istotnego elementu kosztów produkcji, a jej zużycie np. na wyprodukowanie 1 t konserw w niektórych zakładach przekraczało 70 m³. Także marginalne znaczenie przypisywane było problemom

jakości ścieków odprowadzanych z zakładów. Obowiązywały wprawdzie przepisy określające, jakim warunkom powinny odpowiadać ścieki odprowadzane do wód otwartych bądź do kanalizacji miejskiej, nie były one jednak przestrzegane, a prace dotyczące oczyszczania ścieków kończyły się często na etapie opracowania koncepcji.

W okresie przechodzenia z gospodarki planowej do gospodarki wolnorynkowej powstało wiele prywatnych zakładów przejmujących działalność dużych państwowych zakładów przetwórczych. Właściciele nowych przetwórci skupili się przede wszystkim na odpowiednim zorganizowaniu produkcji, wprowadzaniu elementów oszczędzania wody (względy ekonomiczne – koszt 1 m³ wody przemysłowej + opłata za odprowadzone ścieki (bez kar) wynosi obecnie w Gdańsku 10,18 zł, co w stosunku do roku 1999 stanowi wzrost o 275%), zaniedbując jednak w niektórych przypadkach kwestie związane z oczyszczaniem ścieków i ochroną środowiska. Oszczędzanie wody spowodowało obniżenie ilości odprowadzanych ścieków. Mają one wprawdzie wyższe wskaźniki zanieczyszczeń, ale całkowity ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych z zakładów jest obecnie niższy. W stosunku do niektórych polskich zakładów można zauważyć, że zużycie wody na jednostkę wyrobu gotowego spadło nawet poniżej wielkości, które stwierdzono w niektórych pozostałych krajach Unii Europejskiej. Przykładowo w Danii zużycie wody na wyprodukowanie 1 t konserwy „Szprot w oleju” z surowca mrożonego wynosiło 56 m³ (Environmental information, 1994), przy produkcji tego samego asortymentu konserw w latach 70. w Polsce zużywano 64 m³ wody, a obecnie średnio ~10 m³.

W tabelach 3, 4 i 5 przedstawiono porównanie parametrów ścieków poprodukcyjnych powstających w zakładach produkujących konserwy rybne, ryby wędzone i marynaty w latach 80. i w roku 2016, a także ładunki zanieczyszczeń w kg/t wyrobu gotowego z uwzględnieniem zużycia wody w okresach badań (niepublikowane dane MIR-PIB). Porównania dotyczyły istotnych dla ścieków przemysłu żywnościowego wskaźników tlenowych BZT₅ (biochemiczne zapotrzebowanie tlenu niezbędne do utlenienia w warunkach aerobowych związków organicznych zawartych w ściekach w ciągu 5 dni) i ChZT (chemiczne zapotrzebowanie tlenu niezbędne do utlenienia zawartych w ściekach związków organicznych i nieorganicznych), a także ekstraktu eterowego, azotu ogólnego i zawiesiny ogólnej.

Tabela 3. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków poprodukcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących konserwy na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Parametr	Wskaźnik mg/dm ³		Ładunek kg/t wyrobu gotowego	
	lata 80.	2016 r.	lata 80. zużycie wody 40 m ³	2016 r. zużycie wody 9,2 m ³
BZT ₅	3940	7190	157,6	66,1
ChZT	4368	8560	174,7	78,8
Ekstrakt eterowy	1451	1650	58,0	15,2
Azot ogólny	308	410	12,3	3,7
Zawiesina ogólna	1847	2770	73,9	25,5

Tabela 4. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków poprodukcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących ryby wędzone na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Parametr	Wskaźnik mg/dm ³		Ładunek kg/t wyrobu gotowego	
	lata 80.	2016 r.	lata 80. zużycie wody 18 m ³	2016 r. zużycie wody 5,0 m ³
BZT ₅	2609	2961	47,0	14,8
ChZT	3212	4441	57,8	22,2
Ekstrakt eterowy	456	987	8,2	4,9
Azot ogólny	109	185	2,0	1,0
Zawiesina ogólna	640	1542	11,5	7,7

Tabela 5. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków produkcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących marynaty na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Parametr	Wskaźnik mg/dm ³		Ładunek kg/t wyrobu gotowego	
	lata 80.	2016 r.	lata 80. zużycie wody 17,5 m ³	2016 r. zużycie wody 5,0 m ³
BZT ₅	1050	1960	18,4	9,8
ChZT	1888	3070	33,0	15,4
Ekstrakt eterowy	186	500	3,3	2,5
Azot ogólny	109	300	1,9	1,5
Zawiesina ogólna	536	1950	9,4	9,8

Przedstawione porównania wskazują, że nastąpiło znaczne zmniejszenie ilości zużywanej wody, a co za tym idzie – także ilości odprowadzanych ścieków w przeliczeniu na tonę wyrobu gotowego. Konieczność oszczędzania wody, ze względu na jej znaczący koszt w całkowitych kosztach produkcji, wymusiła zastosowanie zmian w sposobie i organizacji produkcji. Jako przykłady można tu podać:

- znacząca w kosztach produkcji cena wody, co powoduje konieczność jej oszczędzania;
- zmiany systemu rozmrażania ryb;
- stosowanie systemów pozwalających na odcinanie wypływu wody w miejscu jej używania;
- stosowanie wodooszczędnych autoklawów do sterylizacji konserw;
- bazowanie w produkcji na surowcu już częściowo obrobionym.

Oczywiście spadek zużycia wody w zakładach przemysłu rybnego ma nie tylko aspekt ekonomiczny (zmniejszenie kosztów produkcji), ale również bardzo ważny czynnik środowiskowy, gdyż woda należy do zasobów, których oszczędzanie staje się obecnie priorytetowe.

Jak widać z danych w tabelach, zmniejszenie zużycia wody wpłynęło wprawdzie na wzrost wskaźników zanieczyszczeń odprowadzanych ścieków, jednakże ładunki tych zanieczyszczeń w przeliczeniu na tonę gotowego wyrobu są obecnie znacznie niższe niż w latach 80.

Obniżenie odprowadzanych ładunków zanieczyszczeń wynika zapewne z faktu, że w wielu zakładach nie prowadzi się obróbki wstępnej, a także jak wykazały badania prowadzone w MIR-PIB, surowiec z Morza Bałtyckiego kierowany do produkcji zawiera mniej tłuszczu.

3. Jakość ścieków odprowadzanych z zakładów przemysłu rybnego o różnym profilu produkcji

Zanieczyszczenia obecne w ściekach przemysłu rybnego są mieszaniną substancji przeważnie organicznych i chlorku sodu. Szczegółowa analiza każdego komponentu ścieków jest praktycznie niemożliwa i bezcelowa. O charakterze i jakości ścieków przemysłu rybnego decydują takie parametry, jak: pH, zawiesina, chlorki, substancje rozpuszczalne, ekstrakt eterowy, wskaźniki tlenowe (BZT₅ i ChZT) oraz zawartość fosforu i azotu amonowego.

Wymagana jakość ścieków odprowadzanych z zakładów określana jest w odpowiednich aktach prawnych i zależy od odbiornika, do którego ścieki są odprowadzane (kanalizacja miejska, wody powierzchniowe, ziemia). Aktami prawnymi regulującymi warunki, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi lub do urządzeń kanalizacyjnych stanowiących mienie komunalne, są: Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z 8 października 2020 r. i Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 28 września 2016 roku.

Zakłady rybne zajmujące się przetwórstwem ryb i odpadów rybnych, a jednocześnie odprowadzające określone ilości ścieków można podzielić na:

- 1) zakłady produkujące konserwy rybne;
- 2) zakłady produkujące produkty o krótkim i średnim okresie trwałości (ryby solone, ryby marynowane, ryby wędzone i garmaż z ryb);
- 3) przedsiębiorstwa połowowo-przetwórcze zajmujące się w części przetwórczej głównie obróbką wstępną i filetowaniem ryb;
- 4) wytwórnie mączki rybnej.

Ilości i jakości ścieków odprowadzanych z poszczególnych zakładów o znanym profilu produkcji nie można przewidzieć, gdyż zależą one od wielu czynników, które wymieniono we wprowadzeniu. Można natomiast dla każdego typu zakładu przetwórczego wybrać operacje technologiczne, które mają zasadniczy wpływ na jakość ścieków ogólnozakładowych.

Ad 1. Zakłady produkujące konserwy rybne

W zakładach produkujących konserwy rybne do operacji technologicznych, w których powstają znaczące ilości ścieków, należą:

- rozmrażanie,
- obróbka wstępna,
- płukanie i solankowanie,
- parowanie,
- płukanie po zamknięciu puszek,
- sterylizacja.

Nie każdy zakład w swym cyklu technologicznym stosuje wszystkie w/w operacje. Niektóre używają do produkcji półproduktów po wstępnym przetworzeniu surowca w innym zakładzie do postaci tuszek bądź filetów i nie korzystają z własnej obróbki wstępnej. Także nie wszystkie zakłady korzystają z wodnego rozmrażania ryb, bazując na surowcu świeżym bądź stosując inne metody rozmrażania.

Do operacji technologicznych generujących wody poprodukcyjne o najwyższych wskaźnikach zanieczyszczeń należy parowanie ryb. Poniżej przedstawiono wskaźniki zanieczyszczeń odcieków po parowaniu ryb w stosunku do średnich wskaźników zanieczyszczeń ścieków ogólnozakładowych jednego z zakładów produkujących konserwy (tabela 6).

Tabela 6. Wskaźniki zanieczyszczeń odcieków po parowaniu ryb w porównaniu z technologicznymi ściekami ogólnozakładowymi

Wskaźnik zanieczyszczeń	Odciek po parowaniu	Ścieki technologiczne ogólnozakładowe
BZT5 (mg/dm ³)	107 000	7190
ChZT (mg/dm ³)	171 000	8560
Ekstrakt eterowy (mg/dm ³)	47 700	1650
Azot ogólny (mg/dm ³)	6200	410
Zawiesina ogólna (mg/dm ³)	6900	2770

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że wydzielenie odcieków po parowaniu ryb i osobne ich wykorzystanie (w analizowanym zakładzie to $\sim 6,4 \text{ m}^3/\text{dobę}$) pozwoliłoby na zmniejszenie ładunków zanieczyszczeń w ściekach ogólnozakładowych o $\sim 30\%$ (oszacowano na podstawie redukcji ładunków wskaźników tlenowych).

Ad 2. Zakłady produkujące produkty o krótkim i średnim okresie trwałości

Wiele zakładów przemysłu rybnego produkuje jednocześnie ryby solone, marynaty, ryby wędzone i rybne wyroby garmażeryjne. W zakładach tych operacjami technologicznymi, w których powstają znaczące ilości ścieków, są:

- rozmrażanie,
- obróbka wstępna,
- solankowanie i płukanie surowca,
- marynowanie w kąpielach marynujących,
- mycie opakowań.

Zakłady zaliczane do tej grupy różnią się zarówno asortymentem produkowanych wyrobów, jak i stosowanymi w procesie technologicznym operacjami. Dlatego też obserwuje się znaczne różnice między wskaźnikami zanieczyszczeń odprowadzanych z zakładów zaliczonych do tej grupy. Najwyższymi wskaźnikami zanieczyszczeń (tlenowymi) tego typu zakładów charakteryzują się zużyte kąpiele po marynowaniu ryb. Mają one niskie pH, zawierają znaczne ilości chlorków i białek rozpuszczalnych. Poniżej przedstawiono wskaźniki zanieczyszczeń kąpeli po marynowaniu ryb w stosunku do wskaźników zanieczyszczeń ścieków ogólnozakładowych jednego z zakładów produkcyjnych tej grupy (tabela 7).

Tabela 7. Wskaźniki zanieczyszczeń kąpeli po marynowaniu ryb w porównaniu z technologicznymi ściekami ogólnozakładowymi

Wskaźnik zanieczyszczeń	Kąpiel po marynowaniu ryb	Ścieki ogólnozakładowe
BZT5 (mg/dm ³)	30 200	1960
ChZT (mg/dm ³)	45 300	3070
Ekstrakt eterowy (mg/dm ³)	4100	500
Azot ogólny (mg/dm ³)	3640	300
Zawiesina ogólna (mg/dm ³)	3200	1950

Analiza wykonana w jednym z zakładów produkujących marynaty wykazała, że wyeliminowanie kąpieli marynujących (20% ogółu ścieków) spowodowałoby około 70-procentową poprawę jakości ścieków ogólnozakładowych mierzoną obniżeniem poziomu wartości ChZT (niepublikowane dane CLPR).

Ad 3. Przedsiębiorstwa zajmujące się obróbką wstępną ryb

Przedsiębiorstwa połowowo-przetwórcze oprócz działalności połowowej w większości prowadzą działalność przetwórczą związaną z obróbką wstępną ryb do postaci tuszek, płatów lub filetów. Przetwórstwo wstępne ryb odbywa się na liniach obróbki ręcznej bądź maszynowej. Uśrednione ścieki z jednego tego typu zakładu charakteryzowały się podanymi poniżej wskaźnikami zanieczyszczeń:

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| – BZT ₅ | – 3660 mg/dm ³ , |
| – ChZT | – 4100 mg/dm ³ , |
| – Ekstrakt eterowy | – 1670 mg/dm ³ , |
| – Azot ogólny | – 590 mg/dm ³ . |

Ad 4. Wytwórnia mączki rybnej

Najbardziej uciążliwe dla środowiska, a jednocześnie zawierające największe ilości białek i tłuszczów są ścieki pochodzące z wytwórni mączki rybnej. Pod koniec lat 90. rozpoczęto likwidację większości przestarzałych samodzielnych wytwórni mączek rybnych. Badania prowadzone w jednym z istniejących tego typu zakładów wykazały bardzo wysokie wskaźniki zanieczyszczeń (Usydus i Bykowski, 1998b). W ciągu miesiąca zakład odprowadza 200 m³ wód poprasowych o podanej poniżej charakterystyce:

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| – ChZT | ~213 000 mg/dm ³ , |
| – BZT ₅ | ~122 900 mg/dm ³ , |
| – sucha masa | ~16,6%, |
| – tłuszcz | ~7,4%, |
| – białko (N × 6,25) | ~5,6%. |

Tlenowe wskaźniki zanieczyszczeń wód poprasowych przekraczają średnio o około 25 razy wskaźniki ścieków technologicznych odprowadzanych z zakładu produkującego konserwy rybne. Ilość białka i tłuszczu odprowadzana miesięcznie z wodami poprasowymi wynosi odpowiednio 11,2 t i 14,8 t.

Na podstawie wielkości produkcji za 2016 rok oraz badań własnych dotyczących ilości białek i tłuszczów odprowadzanych z wodami poprodukcyjnymi powstającymi przy produkcji

różnych grup towarowych oszacowano, że polski przemysł rybny wraz z surowymi ściekami poprodukcyjnymi (bez uwzględnienia produkcji mączki rybnej) odprowadzałby rocznie do sieci kanalizacyjnej – ~6,0 tys. ton białka ($N \times 6,25$) i ~3,2 tys. ton tłuszczu. Część tych białek i tłuszczu jest wydzielona w postaci osadów pościekowych powstałych w efekcie podczyszczania, a reszta jest odprowadzana wraz z podczyszczonymi ściekami.

W tabeli 8 przedstawiono zawartości białek i tłuszczów w ściekach powstających przy produkcji poszczególnych grup towarowych. W nawiasach podano roczną produkcję danej grupy towarowej.

Tabela 8. Ilości białek i tłuszczów zawartych w wodach poprodukcyjnych powstających w ciągu roku przy produkcji poszczególnych grup towarowych

Grupa towarowa	Zużycie wody w m ³ /t	Wskaźniki zanieczyszczeń mg/l w ściekach surowych		Ładunek w tonach	
		białko (N × 6,25)	tłuszcz	białko (N × 6,25)	tłuszcz
Konserwy (60 200 t)*	10	2560	1650	1541	993
Marynaty (100 400 t)*	5	1875	1500	941	751
Ryby wędzone (100 500 t)*	5	1000	300	500	150
Ryby solone (19 400 t)*	6	2500	300	291	35
Filety, płaty, tusze, mrożone (148 600 t)*	5	3700	1700	2749	1263

*Morska Gospodarka Rybna 2015–2016, 2017

Białka i tłuszcze zawarte w wodach poprodukcyjnych pochodzących z zakładów przetwórstwa rybnego w negatywny sposób wpływają na środowisko wodne, a jednocześnie w przypadku ich wykorzystania mogą stanowić o gospodarczym ich znaczeniu.

4. Gospodarka wodno-ściekowa w przemyśle rybnym na tle gospodarki krajowej

Według danych GUS (Ochrona Środowiska 2018), zużycie wody na potrzeby gospodarki narodowej wyniosło w 2017 roku 10 100 mln m³, z czego na cele produkcyjne zużyto 7035 mln m³, w tym na produkcję artykułów spożywczych i napojów 120,7 mln m³.

Poszczególne branże przemysłu spożywczego zużyły w 2017 r. podane poniżej ilości wody:

– przemysł mięsny	– 26,2 mln m ³	tj. 21,7%
– przemysł rybny	– 1,6 mln m ³	tj. 1,3%
– przemysł owocowo-warzywny	– 19,3 mln m ³	tj. 16,0%
– produkcja olejów i tłuszczów	– 1,7 mln m ³	tj. 1,4%
– przemysł mleczarski	– 29,8 mln m ³	tj. 24,7%
– przemysł zbożowy	– 4,0 mln m ³	tj. 3,3%
– przemysł cukrowniczy	– 6,7 mln m ³	tj. 5,6%
– produkcja napojów	– 28,9 mln m ³	tj. 23,9%
– inne	– 2,5 mln m ³	tj. 2,1%

Z przytoczonych danych wynika, że przemysł rybny charakteryzuje się najniższym zużyciem wody spośród innych branż przemysłu spożywczego. Należy jednak podkreślić, że np. wielkość produkcji przemysłu rybnego to tylko około 12% wielkości produkcji przemysłu mięsnego.

Generalnie w przemyśle spożywczym nie prowadzi się pomiarów ilości ścieków powstających w poszczególnych operacjach technologicznych. Nie dokonuje się także pomiarów ogólnej ilości ścieków technologicznych, sanitarnych i opadowych oraz wód chłodzących i innych.

4. Gospodarka wodno-ściekowa w przemyśle rybnym na tle gospodarki krajowej

Dane GUS (Ochrona Środowiska 2017) wskazują, że ilości odprowadzanych w 2017 roku ścieków stanowiły 76,9% ilości zużywanej wody i wyniosły 92,8 mln m³. Według tych danych, poszczególne branże przemysłu spożywczego odprowadziły w 2017 roku podane poniżej ilości ścieków:

– przemysł mięsny	– 23,0 mln m ³	tj. 24,8%
– przemysł rybny	– 1,4 mln m ³	tj. 1,5%
– przemysł owocowo-warzywny	– 14,6 mln m ³	tj. 15,7%
– produkcja olejów i tłuszczów	– 1,1 mln m ³	tj. 1,2%
– przemysł mleczarski	– 29,6 mln m ³	tj. 31,9%
– przemysł zbożowy	– 2,3 mln m ³	tj. 2,5%
– przemysł cukrowniczy	– 5,8 mln m ³	tj. 6,2%
– produkcja napojów	– 12,6 mln m ³	tj. 13,6%
– inne	– 2,4 mln m ³	tj. 2,6%

W tabeli 9 podano średnie wskaźniki zanieczyszczeń (Kubicki red., 1998) i obliczone ładunki zanieczyszczeń ścieków surowych (nieoczyszczonych) poszczególnych branż przemysłu spożywczego.

Tabela 9. Wskaźniki zanieczyszczeń (mg/dm³) i ładunki zanieczyszczeń (ton/rok) ścieków surowych poszczególnych branż przemysłu spożywczego

PRZEMYSŁ	BZT ₅		ChZT		Zawiesina ogólna		Ekstrakt eterowy	
	wskaznik	ładunek	wskaznik	ładunek	wskaznik	ładunek	wskaznik	ładunek
Mięsny	1800	41 400	2600	59 800	1400	32 200	1200	27 600
Rybny	2300	3220	3650	5110	2400	3360	1450	3200
Owocowo-warzywny	1100	16 060	2100	30 660	2500	36 550	320	4672
Tłuszczowy	2000	2200	2700	2970	2300	2530	4000	4400
Mleczarski	2200	65 120	3000	88 800	500	14 800	1300	38 480
Zbożowy	2600	5980	3900	8970	1950	4485	520	1196
Napojów**	1100	13 860	1870	23 562	500	6300	–	–
Inne***	1100	2640	1890	4536	670	1608	300	720
SUMA	–	150480	–	224408	–	101883	–	80 268

*Uwzględniono wskaźniki zanieczyszczeń z Kubicki red., 1998 i ilości odprowadzanych ścieków podanych powyżej.

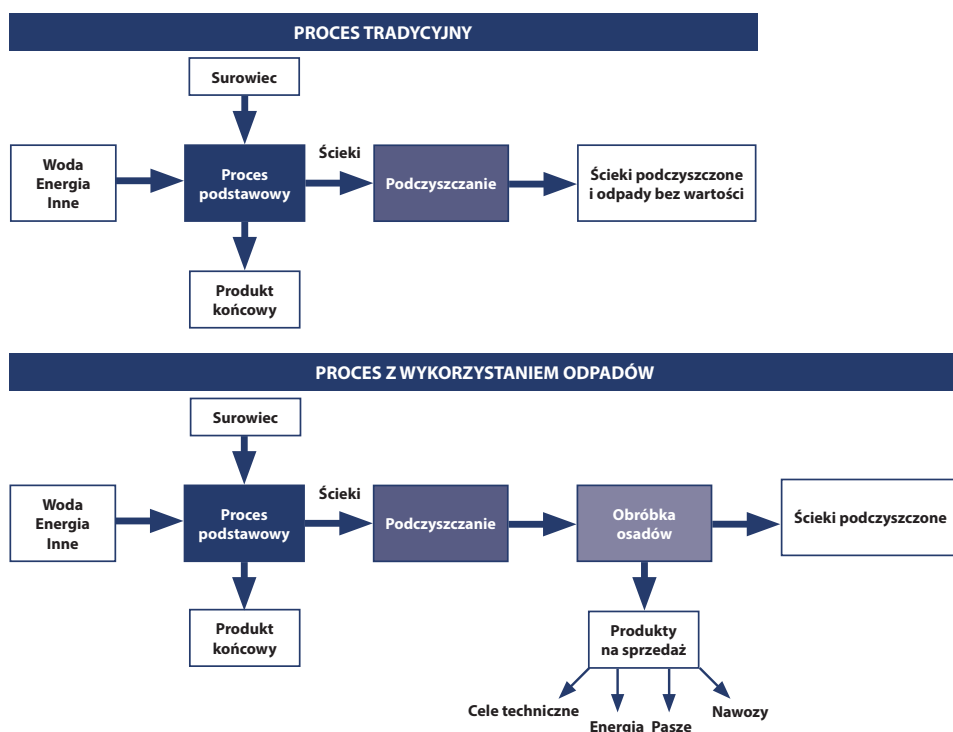
**Na podstawie przemysłu piwowarskiego.

***Na podstawie przemysłu drobiarskiego.

Przedstawione dane wskazują, że surowe ścieki przemysłu rybnego zawierają odpowiednio 2,14% ładunku BZT₅, 2,28% ładunku ChZT, 3,30% ładunku zawiesiny ogólnej, 4,0% ładunku ekstraktu eterowego w odniesieniu do ładunków zawartych w ściekach surowych powstających przy produkcji omawianych artykułów spożywczych i napojów. Są to wielkości wyższe niż procentowy udział ścieków przemysłu rybnego w ogólnej ilości ścieków przemysłu artykułów spożywczych. Szczególnie znaczący jest tu udział tłuszczu i zawiesiny ogólnej. Także zawartość białka (N × 6,25) w ściekach surowych przemysłu rybnego jest znacząca (~6000 t/rok), a brak danych z innych gałęzi przemysłu spożywczego nie pozwolił na procentowe określenie tego udziału.

5. Metody podczyszczania ścieków

Ochrona środowiska jest jednym z podstawowych wyzwań, jakie stoją przed przetwórcami ryb, i powinna być realizowana poprzez wdrażanie *cleaner technology* (CT), polegającej na takiej organizacji pracy zakładu, aby zbierać i racjonalnie zagospodarowywać odpady oraz odprowadzać z zakładu ścieki maksymalnie podczyszczone, co ograniczy wprowadzanie do środowiska uciążliwych substancji i da wartość dodaną w postaci nowych produktów (rys. 1).



Rys. 1. Różnica w schematach podczyszczania ścieków (tradycyjna w oparciu o CT)

Źródło: Opracowanie własne.

Stosowane technologie oczyszczania ścieków przemysłu rybnego powinny zapewnić maksymalne obniżenie wskaźników zanieczyszczeń ścieków przy jednoczesnym wykorzystaniu substancji w nich zawartych. Białka i tłuszcze obecne w ściekach przemysłu rybnego stanowią o poziomie tlenowych wskaźników zanieczyszczeń i niekorzystnym wpływie na środowisko wodne bądź pracę oczyszczalni biologicznych. Proces technologiczny oczyszczania należy tak prowadzić, aby maksymalnie wydzielić białka i tłuszcze w nich zawarte i to w taki sposób, aby można było je wykorzystać na cele techniczne (Arvanitoyannis i Kassaveti, 2008; Marañón i in., 2012), paszowe lub nawozowe (Nakasaki i in., 2004; Oviedo-Ocaña i in., 2017).

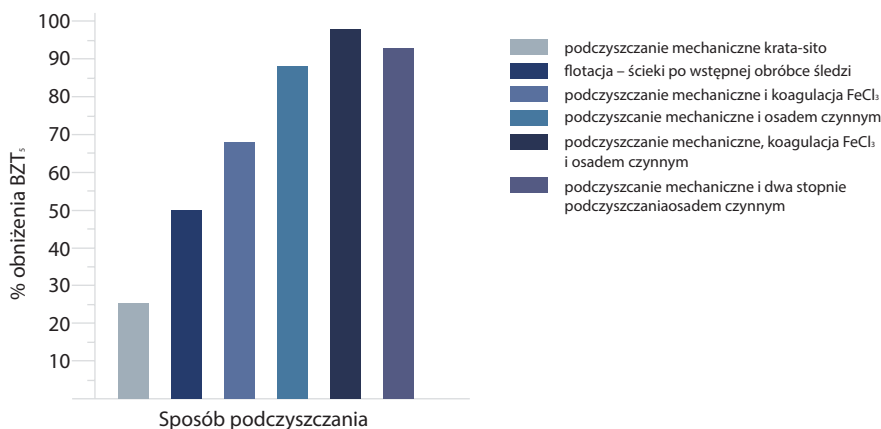
Możliwe kierunki wykorzystania substancji organicznej zawartej w wodach poprodukcyjnych zależą w dużym stopniu od zastosowanej technologii podczyszczania, ale także od organizacji i technologii zabezpieczania odpadów przed możliwościami występowania szkodliwych, niekorzystnych zmian chemicznych i mikrobiologicznych.

W latach 80. ubiegłego wieku w CLPR prowadzono prace laboratoryjne i na skalę ćwierćtechniczną mające na celu określenie skuteczności różnych metod podczyszczania ścieków przemysłu rybnego. Porównywano poniżej podane warianty podczyszczania, a efekty wynikające z obniżenia wskaźnika BZT_5 przedstawiono na rysunku 2:

- podczyszczanie mechaniczne z użyciem kraty prostej o prześwicie 2 cm i sita obrotowego o średnicy oczka 2 mm. Zadaniem tego układu było zatrzymanie odpadów dostających się do ścieków w procesie produkcyjnym. Układ ten pozwolił na 50-procentowe obniżenie zawiesiny ogólnej i 25-procentowe obniżenie BZT_5 ;
- podczyszczanie mechaniczne z użyciem flotatora, mające na celu odtłuszczenie ścieków. W jednym z zakładów połowowo-przetwórczych do oczyszczania ścieków ze wstępnej obróbki tłustych śledzi wykorzystano model cylindrycznego flotatora o pojemności 150 l (rys. 3). Do usuwania tzw. tłustej piany powstającej w czasie procesu zastosowano obrotowy zgarniak odprowadzający pianę w sposób ciągły do specjalnej rynny. Na podstawie 17 prób oczyszczania przy pomocy tego flotatora stwierdzono średnie obniżenie BZT_5 o 50%, a ekstraktu eterowego o 65%. Skutecznie przeprowadzone oczyszczanie mechaniczne ma duży wpływ na późniejsze etapy oczyszczania. Stwierdzono, że dobrze odtłuszczone ścieki łatwiej ulegają koagulacji, a powstały osad pokoagulacyjny sedymentuje na dno zbiornika. Także przy biologicznym oczyszczaniu lepsze rezultaty osiąga się, gdy ścieki są wstępnie odtłuszczone (Gańczarczyk, 1969);
- podczyszczanie mechaniczno-chemiczne. Przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych o charakterze technologicznym mających na celu: a) wybór odpowiedniego

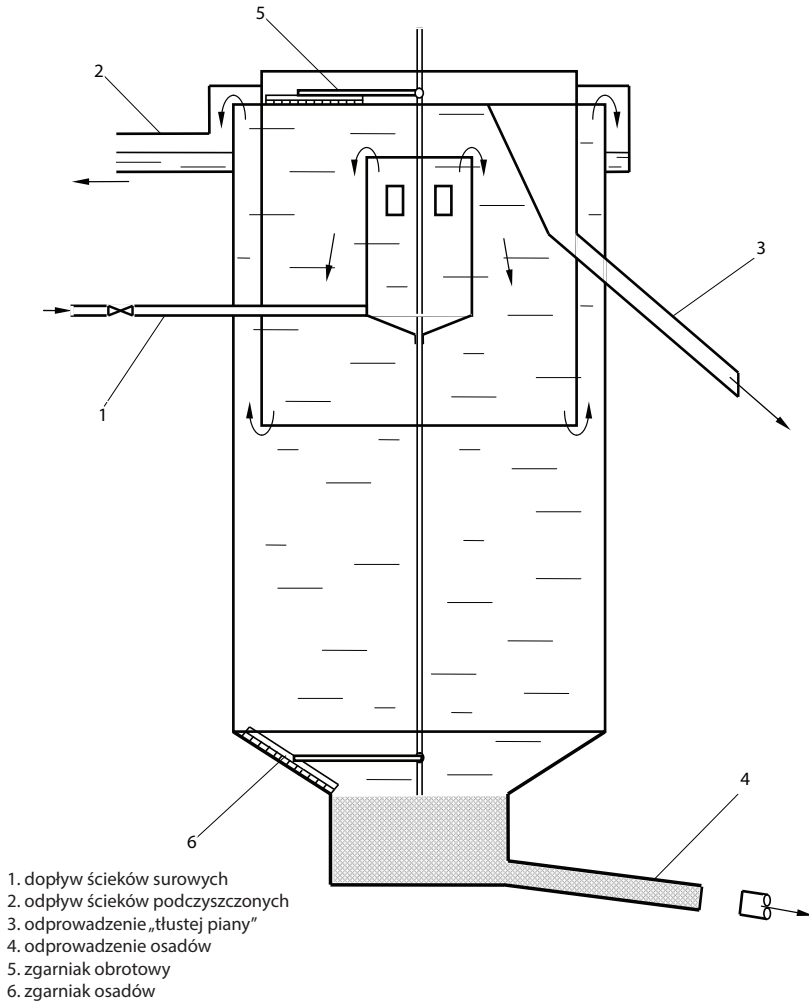
koagulanta, b) wybór dawki dodawanego koagulanta, c) określenie warunków koagulacji. Z przebadanych koagulantów najbardziej efektywnym okazał się chlorek żelaza (III). Stwierdzono, że duży wpływ na efektywność oczyszczania chlorkiem żelaza (III) ma odpowiednio dobrane pH. Przeprowadzone próby wykazały, że najlepsze efekty uzyskano przy pH 5,6–5,8. Na podstawie przeprowadzonych prób w układzie krata, sito, koagulacja chlorkiem żelaza (III), oddzielenie osadu pokoagulacyjnego stwierdzono obniżenie BZT_5 o około 70%, a ekstraktu eterowego o ponad 95%;

- oczyszczanie mechaniczno-biologiczne. Ścieki z zakładu produkującego konserwy rybne po podczyszczeniu mechanicznym na kracie i sicie obrotowym poddano w warunkach laboratoryjnych podczyszczeniu osadem czynnym. Stwierdzono ponad 80-procentowe obniżenie wskaźnika BZT_5 . Zawracając oczyszczone ścieki do drugiego etapu oczyszczania osadem czynnym, uzyskano 93-procentowy spadek wskaźnika BZT_5 ;
- oczyszczanie mechaniczno-chemiczno-biologiczne. Głównym celem prób oczyszczania ścieków osadem czynnym było sprawdzenie efektywności jego działania w przypadku ścieków po podczyszczeniu mechanicznym i chemicznej koagulacji chlorkiem żelaza (III). Stwierdzono bardzo dobre efekty takiego wariantu oczyszczania ścieków z przemysłu rybnego. Wskaźnik BZT_5 obniżył się o średnio 98%, a zawartość ekstraktu eterowego o ponad 99%.



Rys. 2. Efekty oczyszczania ścieków przy zastosowaniu różnych wariantów wyrażone jako % obniżenia wskaźnika BZT_5

Źródło: *Usydus i Bykowski, 1998.*



Rys. 3. Model cylindrycznego flotatora używanego do prób

Źródło: Projekt i wykonanie mgr inż. Marek Wocial

Wybór metody podczyszczania ścieków uzależniony jest m.in. od wielkości początkowych wskaźników ich zanieczyszczeń oraz koniecznego stopnia obniżenia tych wskaźników wymaganych przez ich odbiorcę.

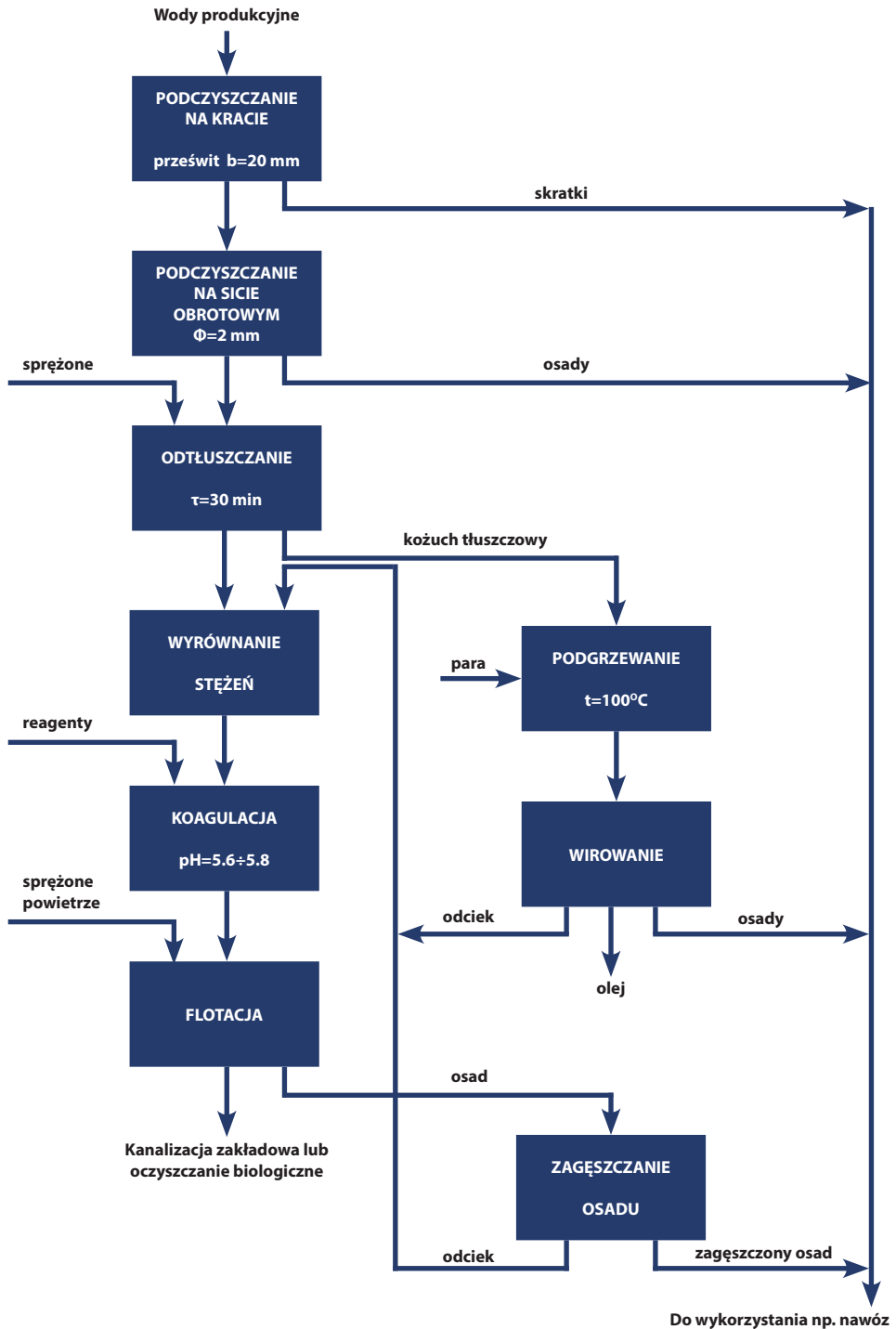
W jednym z zakładów połowowo-przetwórczych MIR wraz z duńską firmą MATCON opracowano i wdrożono proekologiczną technologię przetwórstwa śledzia bałtyckiego. Wykorzystano tu oczyszczanie mechaniczne połączone z racjonalizacją rozwiązań technologicznych. Prace modernizacyjne obejmowały m.in.:

- zmianę systemu zbierania i transportu odpadów rybnych (tzw. transport suchy),
- wstępne szybkie oddzielenie części stałych od ścieków poprodukcyjnych,
- zmiany struktury zużycia wody na cele produkcyjne,
- poprawę efektywności wykorzystania surowca,
- wprowadzenie zasady oszczędnego korzystania z wody,
- zastosowanie taśmowego transportera filtracyjnego do odprowadzania podczyszczonych ścieków.

W wyniku powyższych działań podstawowe wskaźniki zanieczyszczeń odprowadzanych ścieków obniżyły się o około 70%, zmalała także ilość powstających odpadów (Kołodziej i in., 1994).

Ścieki przemysłu rybnego charakteryzują się stosunkowo wysokimi wskaźnikami zanieczyszczeń. Aby można było je odprowadzać bezpośrednio do otwartych zbiorników wodnych, należałoby je intensywnie oczyszczać metodami mechaniczno-chemiczno-biologicznymi. Jednakże stosowanie w większości zakładów produkcyjnych oczyszczania biologicznego jest ze względów technicznych, a przede wszystkim ekonomicznych mało racjonalne. Lepszym rozwiązaniem będzie sytuacja, gdy zakłady produkcyjne przy zastosowaniu metod mechaniczno-chemicznych doprowadzą ścieki do takich parametrów, aby można było je przekazywać do powiatowej, miejskiej lub gminnej biologicznej oczyszczalni ścieków, wspomagając finansowo jej działania. Wymagania oczyszczalni biologicznych odnośnie do parametrów podczyszczonych ścieków są różne. Zgodnie z ogólnymi zasadami, powinny to być ścieki o parametrach: BZT₅ na poziomie 700 mg/dm³, ChZT na poziomie 1000 mg/dm³, ekstrakt eterowy na poziomie 50 mg/dm³.

Badania MIR-PIB prowadzone w zakładach produkujących konserwy w 2016 roku wykazały, że w ściekach surowych było średnio 410 mg/dm³ azotu ogólnego, 1650 mg/dm³ ekstraktu eterowego, 2250 mg/dm³ chlorków, 2800 mg/dm³ zawiesiny ogólnej, 80 mg/dm³ fosforu, a wskaźniki BZT₅ i ChZT wynosiły odpowiednio 7200 mg/dm³ i 8600 mg/dm³ (niepublikowane dane MIR-PIB). Stosowana obecnie w tych zakładach metoda podczyszczania, według projektu firmy Ekobudex (rys. 4) z Gdańska (Gudelis-Matys, 2002), bardzo przydatna w zakładach przemysłu rybnego, nie pozwala jednak na uzyskanie wszystkich wymaganych przez oczyszczalnie biologiczne parametrów. Mimo dobrych efektów podczyszczania (redukcja poszczególnych parametrów od 50 do 95%) ścieki po podczyszczeniu mają zbyt wysoką zawartość chlorków oraz zbyt wysoki wskaźnik ChZT i BZT₅, aby mogły być kierowane do biologicznej oczyszczalni. Dlatego należy poszukiwać dalszych rozwiązań wspomagających istniejące sposoby podczyszczania.



Rys. 4. Opracowanie własne wg. schematu oczyszczania firmy Ekobudex

Przeprowadzone w MIR-PIB badania w zakładach produkujących konserwy wykazały, że frakcją najbogatszą w substancje organiczne (białka i tłuszcze) są odcieki po parowaniu ryb. Dlatego jednym z rozwiązań mogłoby być wydzielenie odcieków po parowaniu od wód poprodukcyjnych trafiających do podczyszczalni i właściwe ich zagospodarowanie. W takim przypadku obecnie stosowane metody podczyszczania ścieków byłyby wystarczające dla oczyszczenia pozostałej ich frakcji do poziomu parametrów akceptowanych przez oczyszczalnie stosujące oczyszczanie biologiczne.

Z kolei proces solankowania stosowany przy produkcji wielu asortymentów jest źródłem zbyt wysokiego poziomu chlorków w podczyszczonych ściekach, które w znikomym stopniu są usuwane w trakcie oczyszczania mechaniczno-chemicznego. Z analizy literatury wynika, że w tym przypadku rozwiązaniem jest wydzielenie ze ścieków solanki, poddanie jej oczyszczaniu na membranach (osmoza), co pozwoli na jej zawrócenie do produkcji (Afonso i Bórquez, 2002; Massé i in., 2008; Pérez-Gálveza i in., 2011; Szaniawska i in., 2014).

Takie rozwiązanie skutkuje: oszczędnościami w zużyciu wody, obniżeniem poziomów chlorków w odprowadzanych ściekach oraz odzyskaniem białek i tłuszczu, które następnie powinny być zagospodarowane.

6. Gospodarka odpadami rybnymi i osadami ściekowymi w przemyśle rybnym

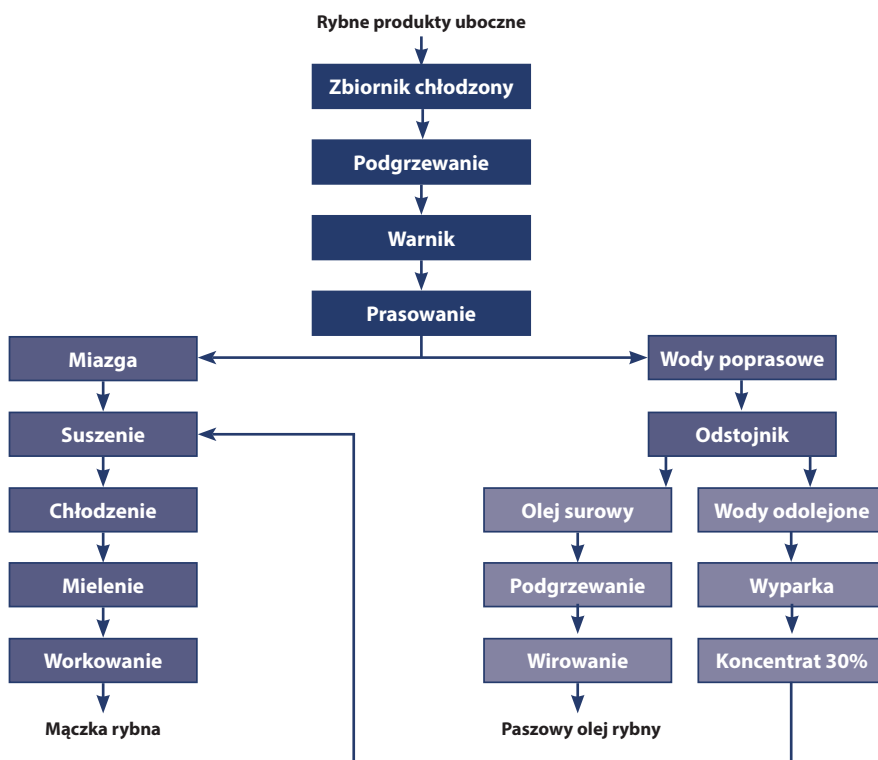
6.1. Wykorzystanie odpadów rybnych i ryb nieprzeznaczonych do konsumpcji

W Polsce odpady rybne wykorzystywane są przede wszystkim do produkcji mączki rybnej i olejów rybnych. W ubiegłym wieku były także używane do wytwarzania hydrolizatów rybnych, ale ze względu na stosunkowo krótki okres trwałości produkcji tej praktycznie zaniechano. Niektóre nieliczne zakłady kierują powstające odpady do biogazowni przy gminnych biologicznych oczyszczalniach ścieków. Wykorzystywane też były do bezpośredniego skarmiania zwierząt futerkowych.

6.1.1. Produkcja mączki rybnej i oleju rybnego

Mączka rybna wytwarzana jest przede wszystkim z produktów ubocznych powstających podczas wstępnej obróbki ryb. Są to głowy, wnętrzności, kręgosłupy, płetwy i skóra. Dochożą do tego ryby (szczególnie szproty) niezaklasyfikowane do normalnego przerobu na cele spożywcze. Produkcja mączki rybnej polega na rozdrobieniu surowca, obróbce cieplnej, której zadaniem jest zabicie bakterii chorobotwórczych i denaturacja białek ułatwiająca usunięcie wody i oddzielenie tłuszczu, oraz na wysuszeniu produktu. Typowy proces produkcyjny przebiega następująco: przyjęcie surowca, rozdrabnianie, gotowanie, prasowanie. W wyniku prasowania rozgotowanej pulpy powstaje tzw. miazga poprasowa i wody poprasowe. Miazga poprasowa po dalszym rozdrobieniu jest suszona, mielona, przesiewana i pakowana jako mączka rybna. Z wód poprasowych oddzielana jest faza olejowa kierowana do dalszej przeróbki, natomiast pozostałe wody odciekowe po zagęszczeniu przeznaczone są do suszenia w ciągu produkcyjnym mączki rybnej. Schemat produkcji przedstawiono na rysunku 5. Otrzymywane mączki rybne wykorzystywane są bezpośrednio do produkcji mieszanek paszowych bądź do wytwarzania ekstrudowanych pasz roślinno-rybnych.

Paszowy olej rybny uzyskiwany jest w procesie produkcji mączki rybnej w wyniku rozgotowania rybnych produktów ubocznych, a następnie prasowania uzyskanej miazgi. Powstają tzw. wody poprasowe (Goycoolea i in., 1997), z których oddziela się olej rybny o charakterystycznym rybnym zapachu, ciemnożółtym przechodzącym w brązowy kolorze, gęstości $0,9 \text{ g/cm}^3$ i płynnej konsystencji w temperaturze pokojowej (rys. 5).



Rys. 5. Schemat otrzymywania oleju rybnego i mączki rybnej w wytwórni mączki rybnej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przebiegu procesu produkcyjnego w Agro-Fish Gniewino.

Przy przerobieniu 1 t rybnych produktów ubocznych uzyskuje się 800 l wód poprasowych, a z 1 m³ wód poprasowych ~90 l oleju, natomiast z 1 t przerabianego surowca otrzymuje się średnio ~70 l oleju.

W MIR-PIB prowadzono badania parametrów jakościowych olejów uzyskiwanych z odpadów śledziowo-szprotowych i odpadów z obróbki makreli. Parametry chemiczne olejów mające istotny wpływ na ich jakość i wartość paszową porównano z wartościami dopuszczalnymi określonymi w przepisach polskich lub unijnych (Usyduś, 2005). Zbiorcze porównanie składu olejów, wskaźników charakteryzujących stopień hydrolizy

6. Gospodarka odpadami rybnymi i osadami ściekowymi w przemyśle rybnym

i utlenienia tłuszczów, zawartości metali mających katalizujący wpływ na oksydację tłuszczów oraz ilości substancji działających przeciwutleniająco (witamina E i fosfolipidy) podano w tabeli 10.

W tabeli 11 przedstawiono wybrane parametry określające stopień zanieczyszczenia badanych olejów rybnych wybranymi substancjami niepożądanymi. Otrzymane wyniki porównano z wymaganiami określonymi w Rozporządzeniu Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 22 lutego 2012 roku w sprawie substancji niepożądanych w paszach, Rozporządzeniu Komisji UE nr 1259/2011 z 2 grudnia 2011 (wymagania dla olejów ze zwierząt morskich przeznaczonych dla spożycia przez ludzi) i Rozporządzeniu Komisji WE 1881/2006 z 19 grudnia 2006 (wymagania dla ryb i przetworów rybnych).

Udziały procentowe kwasów tłuszczowych istotne z punktu widzenia wartości paszowej uzyskanych olejów wyrażone w stosunku do całkowitej ich ilości zaprezentowano w tabeli 12.

Tabela 10. Wybrane parametry charakteryzujące otrzymywane oleje rybne

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Surowiec		Wartość dopuszczalna*
		olej śledziowo-szprotowy	olej makrełowy	
Woda i substancje lotne	[%]	1,22 ± 0,26	1,47 ± 0,18	do 1,5
Białko surowe	[%]	0,08 ± 0,025	0,085 ± 0,013	do 2
Liczba kwasowa	[mgKOH/g]	10,7 ± 2,8	12,3 ± 2,5	do 50
Liczba nadtlenkowa	[meqO ₂ /kg]	2,7 ± 1,1	2,3 ± 0,5	do 20
Liczba anizydynowa	–	12,2 ^a ± 3,2	15,1 ^b ± 1,8	–
Miedź	[mg/kg]	0,06 ^a ± 0,035	0,02 ^b ± 0,005	–
Żelazo	[mg/kg]	5,78 ^a ± 2,6	2,88 ^b ± 0,65	–
Witamina A ₁	[mg/100g] [I.U./g]	5,2 ± 3,8 173,3 ± 126,7	8,0 ± 1,8 266,7 ± 60,0	–
Witamina D ₃	[mg/100g] [I.U./g]	0,09 ± 0,02 36,0 ± 8,0	0,08 ± 0,02 32,0 ± 8,0	–
Witamina E	[mg/100g]	27,9 ^a ± 9,6	12,9 ^b ± 1,6	–
Fosfolipidy	[g/kg]	2,83 ^a ± 0,77	4,24 ^b ± 0,87	–

^{a, b}Wartości w wierszach o różnych indeksach literowych różnią się istotnie $P < 0,05$.

*Wg normy branżowej BN-89/8186-01 oraz BN-89/8189 (dla tłuszczów paszowych).

Tabela 11. Wybrane parametry chemiczne charakteryzujące stopień zanieczyszczenia olejów rybnych [mg/kg]

Wyszczególnienie	Surowiec		Wartość dopuszczalna
	olej śledziowo-szprotowy	olej makrełowy	
Kadm [mg/kg]	0,004 ^a ± 0,002	0,001 ^b ± 0,00	2,0 [*]
Ołów [mg/kg]	0,015 ^a ± 0,008	0,027 ^b ± 0,005	10,0 [*]
Rtęć [mg/kg]	0,0023 ± 0,0005	0,002 ± 0,00	0,5 [*]
Arsen [mg/kg]	2,76 ^a ± 0,96	0,63 ^b ± 0,1	25,0 [*]
Σ DDT [mg/kg]	0,442 ± 0,242	0,368 ± 0,087	0,5 [*]
Σ PCB [mg/kg]	0,222 ± 0,047	0,252 ± 0,026	0,2 ^{**}
Benzo[a]piren [μg/kg]	2,1 ^a ± 0,9	3,3 ^b ± 1,2	2,0–5,0 ^{***}

^{a, b}P ≤ 0,05.

ΣPCB: suma sześciu kongenerów 28, 52, 101, 153, 138, 180.

^{*}Wg Rozporządzenia MRiRW z 22 lutego 2012 w sprawie substancji niepożądanych w paszach.

^{**}Wg Rozporządzenia Komisji (UE) nr 1259/2011 z 2 grudnia 2011 dla olejów ze zwierząt morskich przeznaczonych do spożycia przez ludzi.

^{***}Wg Rozporządzenia Komisji (WE) 1881/2006 z 19 grudnia 2006 dla ryb i przetworów rybnych.

Tabela 12. Udziały procentowe kwasów tłuszczowych uzyskiwanych olejów rybnych

Kwasy tłuszczowe	Surowiec	
	olej śledziowo-szprotowy	olej makrełowy
	udział procentowy	
Kwasy nasycone (SFAs)	26,29%	23,98%
Izomery trans	0,13%	0,11%
Kwasy jednonienasycone (MUFAs)	35,29%	33,77%
Kwasy wielonienasycone (PUFAs)	38,42%	42,25%
Kwasy n-3	30,59%	35,77%
Kwasy n-6	7,83 %	6,48 %
n-6/n-3	0,26	0,18
C 20:5 n3 (EPA)	9,23%	11,55%
C 22:6 n3 (DHA)	14,50%	19,74%

Uzyskane wyniki badań chemicznych i fizyko-chemicznych nie wskazywały jednoznacznie, który z badanych olejów jest lepszej jakości i może być bardziej korzystny w żywieniu zwierząt gospodarskich. Oleje śledziowo-szprotowe charakteryzowały się istotnie niższą ($P \leq 0,05$) zawartością ołowiu i benzo[a]pirenu, także istotnie niższa ($P \leq 0,05$) była liczba anizydynowa tych olejów. Oleje makrelowe zawierały natomiast istotnie mniej ($P \leq 0,05$) miedzi, żelaza i kadmu. Ponadto charakteryzowały się korzystniejszym składem kwasów tłuszczowych, zwłaszcza ze względu na zawartość kwasów EPA i DHA. Z kolei oleje śledziowo-szprotowe miały wyższą zawartość witaminy E. Stężenia niepożądanych pierwiastków w porównywanych olejach były na zbliżonych niskich poziomach. Jedynie średnia zawartość arsenu w oleju śledziowo-szprotowym (2,76 mg/kg) była średnio pięciokrotnie wyższa niż w oleju makrelowym, ale ponad dziesięciokrotnie niższa niż wartość dopuszczalna (tab. 11). Należy oczywiście podkreślić, że zawartość substancji niepożądanych w otrzymywanych olejach zależy od jakości surowca użytego do produkcji. Stężenia zanieczyszczeń w rybach różnią się zarówno w zależności od gatunku ryby, jak i od miejsca jej połowu, dlatego zakłady produkcyjne muszą kontrolować jakość przetwarzanego surowca. Z bieżących badań prowadzonych w MIR-PIB wynika, że surowce bałtyckie pozyskiwane w polskich obszarach morskich spełniają wymogi prawne dotyczące poziomów substancji niepożądanych. Warto jednak zwrócić uwagę na szczególności na poziomy dioksyn i dioksynopodobnych polichlorowanych bifenyli, których dopuszczalne poziomy reguluje Rozporządzenia Komisji (UE) nr 1259/2011 z 2 grudnia 2011.

Uzyskiwane oleje rybne mogą być wykorzystywane do produkcji koncentratów ryбно-mineralnych (Usydus i in., 2004). W MIR-PIB prowadzono badania nad opracowaniem parametrów produkcji koncentratu ryбно-mineralnego. W tym celu wykorzystano olej śledziowo-szprotowy uzyskany w okresie letnim w wytwórni mączki rybnej Agro-Fish w Gniewinie. Olej ten charakteryzował się niską liczbą kwasową i nadtlennową. Wartości tych liczb nie przekraczały dopuszczalnych limitów określonych w normie branżowej BN-89/8186. Jego gęstość wynosiła $0,9 \text{ g/cm}^3$, wartość pH ~ 5 , a wartość energii metabolicznej obliczonej według wzoru podanego przez Matykę (1997) sięgała 33 MJ/kg . Omawiany olej charakteryzował się bardzo korzystnym składem kwasów tłuszczowych. Stosunek kwasów n-6/n-3 wyniósł 0,26 i był typowy dla olejów rybnych (Kolanowski, 1999). Pomimo że olej uzyskiwany z odpadów makrelowych odznaczał się korzystniejszym składem kwasów tłuszczowych, to przy wyborze do badań oleju śledziowo-szprotowego kierowano się względami praktycznymi wynikającymi z dużej dostępności tego oleju na rynku i możliwościami szerszego wykorzystania wyników badań (Usydus, 2005).

Praktyczne stosowanie oleju rybnego w żywieniu zwierząt powinno uwzględniać możliwość wystąpienia rybiego posmaku w mięsie, tłuszczu, jajach czy nawet mleku, co dyskwalifikuje go jako produkt spożywczy. Prowadzono badania nad stosowaniem preparatów mineralno-tłuszczowych w żywieniu drobiu, świń, a nawet przeżuwaczy, takich jak

owce czy bydło (Dobrzański i Tronina, 1999; Nowak, 2003). Uciążliwością natury technicznej był sposób wprowadzania oleju do mieszanek paszowych w procesie ich produkcji. Składniki paszowe o konsystencji płynnej lub półpłynnej są kłopotliwymi komponentami do mieszania ze składnikami o konsystencji stałej i sypkiej. Ponadto oleje rybne czy roślinne mogą przyspieszać procesy oksydacyjne w paszy oraz rozwój drobnoustrojów, w tym nawet grzybów toksynotwórczych (Lewkowicz i in., 2002; Twarużek i Grajewski, 2002). Dlatego opracowano metodę bezpiecznego przetwarzania oleju rybnego na materiał paszowy (koncentrat rybno-mineralny, zawierający 25% oleju rybnego) o jednolitej, stałej konsystencji, łatwego do transportu, magazynowania i skarmiania.

Na podstawie przeprowadzonych badań, ocen i obserwacji stwierdzono, że połączenie oleju rybnego z wybranymi surowcami huminowymi i glinokrzemianowymi jest technologicznie i zootechnicznie trafnym rozwiązaniem. Koncentrat ten dozowany w odpowiednich dawkach poprawiał parametry produkcyjne tuczników i niosek, a także wskaźniki jakościowe i właściwości odżywcze jaj (Dobrzański i in., 2001; Dobrzański i in., 2002; Usydus, 2002; Korniewicz i in., 2003).

6.1.2. Produkcja hydrolizatów rybnych z ryb i odpadów rybnych

Odpady rybne były wykorzystywane także w produkcji hydrolizatów rybnych, które mogą być źródłem białka o wysokiej wartości biologicznej. Powstają w wyniku fermentacji spontanicznej lub po dodaniu odpowiedniej kultury startowej np. bakterii z gatunku *Lactobacillus plantarum*. W wyniku aktywności bakterii dochodzi do obniżenia pH przez syntetyzowany kwas mlekowy, poprawie ulegają cechy organoleptyczne oraz wartość odżywcza produktu. Dodatkowo zmniejsza się ilość amin biogennych, które mogą powstawać w rybach i odpadach rybnych z powodu wysokiej zawartości białka (Dapkevicius i in., 2000). Norwegia jest największym producentem hydrolizatów z ryb (140 tys. ton rocznie), do wytwarzania których wykorzystuje produkty uboczne hodowli i przetwórstwa łososia. Zaletą produkcji tego typu pasz są niskie koszty inwestycyjne oraz niewysoka cena produktu gotowego (Rustad, 2003), jednakże ze względu na objętości do transportu i niską trwałość ich produkcja zalecana jest w zakładach znajdujących się w pobliżu miejsca ich wykorzystania.

6.1.3. Produkcja hydrolizatów białek z przeznaczeniem do spożycia przez ludzi

Hydrolizaty mogą być także otrzymane na drodze rozkładu białka do peptydów w wyniku hydrolizy chemicznej kwasowej czy zasadowej lub enzymatycznej drogą autolizy lub po dodaniu handlowych preparatów enzymatycznych (Kristinsson i Rasco, 2000). Hydrolizaty białek rybnych są często wykorzystywane w kuchni azjatyckiej. Przykładowymi produktami mogą być sos rybny i surimi. Pierwszy wyrób produkowany jest w ilości

250 tys. ton rocznie w wyniku spontanicznej fermentacji związków organicznych zawartych w mięsie odpadów z ryb, które są mieszane z solą i przechowywane przez 6–12 miesięcy. Surimi jest to mielone, rozdrobnione mięso ryb, które przemycywa się kilkukrotnie wodą lub roztworami soli, a następnie uzupełnia o odpowiednie krioprotektanty oraz inne dodatki (Rustad, 2003).

6.1.4. Odzyskiwanie białka z rybnych surowców ubocznych – metoda pH-shift

W skali globalnej poławianych jest ponad 91 mln ton organizmów wodnych, a z tego 50–60% wykorzystuje się jako pokarm dla ludzi (Rustad, 2003). Natomiast po przetworzeniu surowca rybnego powstaje kolejne 50–75% odpadów w porównaniu z masą surowca (Urbaniec, 2004; Rustad i in., 2011). I tak np. u dorsza: głowa 23–26%, wnętrzności 15–20%, skóra 6%, kręgosłup 17% – w sumie 61–69%, a u łososia: głowa 20%, wnętrzności 14%, skóra 10%, kręgosłup 10% – w sumie 54%.

Obiecującą metodą wykorzystania odpadów rybnych, w tym małych ryb pelagicznych, jest opatentowany w 1999 roku proces zmiany pH tzw. metodą pH-shift. Proces odzyskiwania białek z surowców odpadowych przebiega w następujących etapach:

- homogenizacja surowców (odpadów) z wodą w proporcjach wagowych 1 : 6;
- rozpuszczenie białek mięśniowych w roztworze kwaśnym ($\text{pH} < 3$) lub zasadowym ($\text{pH} > 10,8$);
- odseparowanie białka za pomocą wirowania i dekantacji, w wyniku czego powstaje tzw. izolat białkowy.

Wydajność metody pH-shift dla odpadów dorsza czy pstrąga sięga 90%. Lepszą wydajność uzyskania białek w postaci izolatu uzyskuje się w środowisku alkalicznym (Moure i in., 2006; Jaczynski i Tahergorabi, 2015). Otrzymany izolat po przemyciu wodą bądź alkoholem i wysuszeniu zawiera ~90% białka (Szymczak i in., 2017).

Aby uniknąć zbyt dużej zawartości sodu w izolacie, NaOH można zastąpić KOH z $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Podobną procedurę (ale bez homogenizacji i ekstrakcji) można zastosować do wód po parowaniu ryb przy produkcji konserw.

Wysoka zawartość lizyny sprawia, że izolaty można wykorzystać do wzbogacania w ten aminokwas produktów zbożowych. Mogą mieć szerokie zastosowanie do produkcji panirek, substancji żelujących, zagęszczaczy, emulgatorów i stabilizatorów emulsji (Brijesh, 2018).

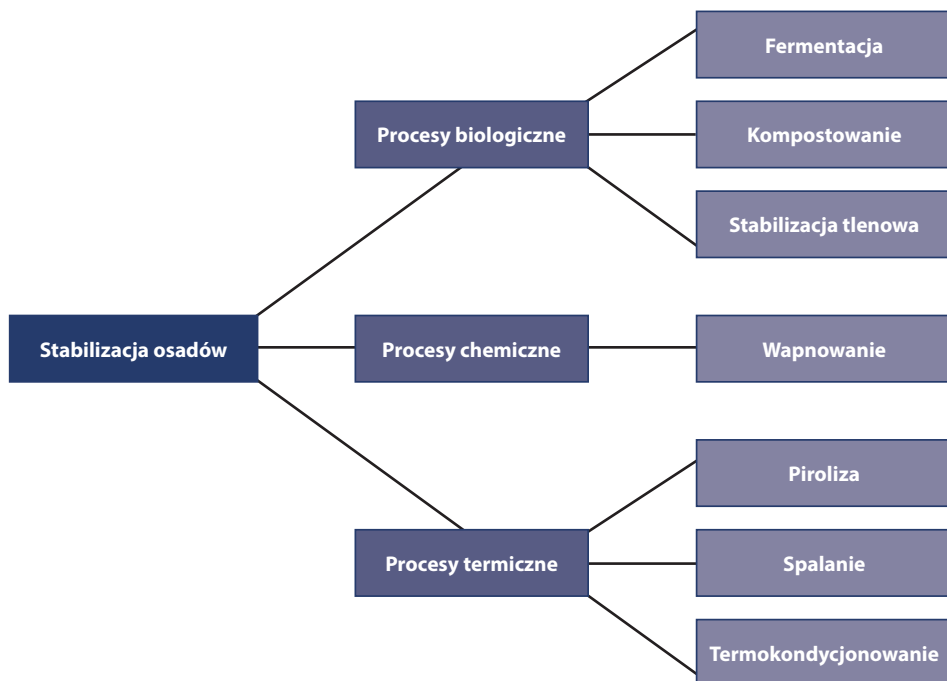
6.2. Osady ściekowe uzyskiwane w procesach oczyszczania ścieków

Problem osadów ściekowych stanowi duże wyzwanie dla gospodarek państw na całym świecie. Według danych GUS, w Polsce w 2015 roku powstało ogółem 951,5 tys. ton (w suchej masie) osadów ściekowych. W tym było 383,5 tys. ton osadów przemysłowych i 568 tys. ton odpadów komunalnych. Nagromadzenie takiej ilości osadów wymaga podejmowania radykalnych rozwiązań pozwalających na ich utylizację lub zagospodarowanie.

Powstające w oczyszczalniach ścieków osady wymagają przeróbki, czyli zastosowania metod, które zmieniają ich skład fizyczno-chemiczny. Do podstawowych stosowanych procesów należą:

- zagęszczanie,
- stabilizacja,
- odwadnianie lub zagęszczanie, suszenie i spalanie.

Stabilizacja (rys. 6) może być prowadzona na drodze procesów biologicznych, chemicznych oraz termicznych, co przyczynia się do zmiany składu chemiczno-biologicznego osadów.



Rys. 6. Metody stabilizacji osadów ściekowych

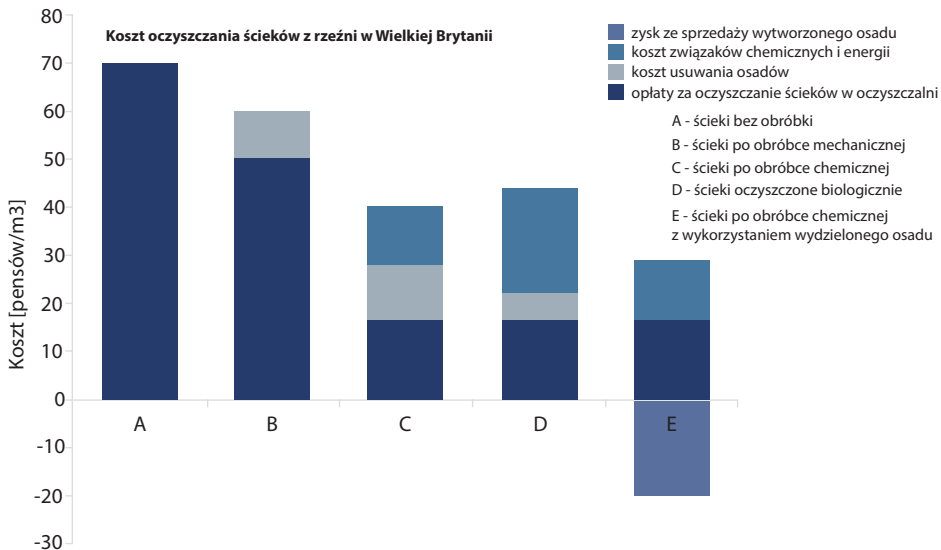
Źródło: Bień i in., 2011.

Zasadnicze cele przeróbki osadów to:

- zmniejszenie objętości osadów,
- stabilizacja osadów poprzez obniżenie w nich zawartości związków organicznych,
- higienizacja osadów,
- przygotowanie osadów do ostatecznego zagospodarowania lub unieszkodliwienia.

Dodatkowe etapy w procesie podczyszczania związane z obróbką osadów pozwolą uniknąć wprowadzania do środowiska uciążliwych substancji, a koszty procesu mogą się zwrócić dzięki otrzymanym produktom.

Już w połowie ubiegłego wieku badania prowadzone w Wielkiej Brytanii w odniesieniu do wód poprodukcyjnych pochodzących z rzeźni, o parametrach podobnych jak ścieki przemysłu rybnego, wskazały na korzyści wynikające z oczyszczania tych wód poprodukcyjnych w zakładzie produkcyjnym w stosunku do oczyszczania na oczyszczalni miejskiej. Na podstawie prezentowanego na rysunku 7 bilansu można obliczyć, że oczyszczając 1 m³ wód poprodukcyjnych w zakładzie, uzyskuje się korzyści wynoszące 0,6 funta angielskiego (0,7-0,35 + 0,25 = 0,6 funta) (Zimińska, 1986). Oczywiście w związku ze zmieniającymi się warunkami rynkowymi przedstawiony powyżej bilans może nie być aktualny. Jednakże przykład ten wskazuje, że oczyszczanie ścieków i obróbka osadów może przynosić korzyści zarówno środowiskowe, jak i materialne dla zakładu.



Rys. 7. Bilans wydatków i korzyści wynikający z oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów (rzeźnia w Anglii)

Źródło: Zimińska, 1986.

Producenci przetworów rybnych poradzili sobie w dużej mierze z odpadami rybnymi, przeznaczając je na produkcję mączek rybnych bądź kierując je do bezpośredniego skarmiania zwierząt futerkowych. Problem natomiast stanowią niektóre osady powstające w trakcie oczyszczania ścieków, które powinny być wykorzystane. Mimo wielu interesujących rozwiązań (omówionych poniżej) nie wdrożono jeszcze w Polsce kompleksowej technologii ich zagospodarowania.

Znane możliwości wykorzystania osadów po oczyszczaniu ścieków to m.in.:

- produkcja nawozów organiczno-mineralnych,
- produkcja biowęgla do wykorzystania energetycznego i nawozowego,
- produkcja hydrolizatów rybnych,
- produkcja biogazu.

Alternatywnie osady można kompostować, lecz trwa to całe tygodnie lub miesiące i wymaga ciągłej kontroli procesów bakteryjnego rozkładu, który w dużej mierze uzależniony jest od warunków atmosferycznych.

Istnieje wiele rozwiązań zagospodarowania surowców zawartych w osadach uzyskiwanych po podczyszczeniu wód poprodukcyjnych, które powinny być rozpatrywane przy modernizacji lub projektowaniu nowych zakładów przetwórstwa ryb.

6.2.1. Produkcja nawozów

6.2.1.1. Kompostowanie (wg technologii opracowanej w ramach projektu realizowanego w MIR-PIB, w latach 1999–2003)

Nawóz mineralno-organiczny (biokompost) uzyskiwany był z zagęszczonych osadów poflotacyjnych powstających w procesie koagulacji wód poprodukcyjnych. W wyniku przeprowadzonych badań i testów wyprodukowano biokompost, który następnie poddano ocenie. Aby stosunek wagowy węgla do azotu w wyprodukowanym biokompoście był właściwy (C : N = 30), masę do biokompostowania mieszano (stosując przemieszanie warstwowe) z rozdrobnioną trawą i torfem w stosunku 6 : 1 : 1. Do masy kompostowej (ze względu na trudną degradowalność tłuszczów) dodawano także szczepy bakteryjne wspomagające procesy rozkładu. Z dostępnych wówczas na polskim rynku szczepów najlepiej sprawdzał się produkt krajowy „Trigger” w ilości 2 kg na tonę masy do biokompostowania. W trakcie procesu biokompostowania regulowano pH za pomocą KOH. Proces biokompostowania kończono po 80 dniach, kiedy to następowało znaczne zmniejszenie masy, spadek zawartości tłuszczu i substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę

oraz zmiana konsystencji produktu na sypką (Usydus i in., 2003a). Otrzymany biokompost stosowany jako nawóz w prowadzonych eksperymentach zawierał:

– wody	– 14,00%,
– azotu całkowitego	– 2,18%,
– azotu amonowego	– 1,35%,
– P ₂ O ₅	– 4,66%,
– K ₂ O	– 3,40%,
– Ca	– 12,12%,
– Mg	– 0,41%,
– Na	– 0,21%.

Poza podstawowymi makroskładnikami biokompost zawierał także pożądane mikroelementy, takie jak: bor, miedź, cynk, mangan, molibden i żelazo. Ponadto otrzymany biokompost spełniał kryteria Ustawy z 26.07.2000 r. o nawozach i nawożeniu oraz Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska ustanowione w 1990 roku odnośnie do dopuszczalnych zawartości metali ciężkich z punktu widzenia ich przydatności do nawożenia. Otrzymywany, a następnie oceniany biokompost z rybnych osadów poflotacyjnych wykazał efektywne działanie nawozowe i okazał się w pełni przydatny do uzupełniającego (w 30–40%) pokrycia potrzeb nawozowych roślin uprawy polowej, głównie jako nośnik fosforu, a dawki nawozu powinny być dostosowane do potrzeb fosforowych roślin i gleby. Zaleca się, aby nie przekraczać dawki 1,5 t otrzymanego biokompostu na 1 ha. Plony ziarna pszenicy jarej uzyskane na obiektach z ocenianym biokompostem były w zależności od wielkości dawki od 9 do 13% wyższe w stosunku do plonu na obiekcie kontrolnym (Usydus i in., 2003b; Usydus, 2005).

6.2.1.2. Produkcja nawozów mineralno-organicznych wg technologii FuelCal

Technologia FuelCal służy do przetwarzania odpadów zasobnych w substancję organiczną na nawozy organiczno-mineralne. Głównymi surowcami organicznymi są: osady z oczyszczania ścieków komunalnych oraz osady ściekowe z zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego, odpady przetwórstwa roślinnego i zwierzęcego, odchody z ferm zwierzęcych, odpady gastronomiczne, przeterminowana (niespożytkowana) żywność w obrocie rynkowym. Technologicznym reagentem i nawozowym surowcem jest wapno palone (CaO), które w reakcji z wodą przemienia się w wodorotlenek wapnia Ca(OH)₂, podnosząc raptownie temperaturę i alkaliczność biomasy w hermetycznym reaktorze, i które ulega destrukcji oraz biologicznej sanitzacji. Technologia przetwarzania odpadów

biologicznych na użyteczny nawóz jest bezodpadowa. Zainstalowanie jej u źródła (miejsca) wytwarzania odpadów umożliwia ich użytkowe wykorzystanie, co sprawia, że dotychczasowy proces wytwórczy staje się bezodpadowy.

Otrzymywany nawóz neutralizuje naturalne zakwaszenie gleby oraz zakwaszenie spowodowane działalnością rolniczo-przemysłową. Dzieje się tak, ponieważ nawóz ten zawiera aktywny hydrat wapnia, który jest łatwo rozpuszczalny w wodzie, a co za tym idzie – rozpuszcza się o wiele szybciej niż kreda wapienna czy wapno węglanowe. Zawiera on ~4,7% azotu, który charakteryzuje się stopniowym uwalnianiem w czasie i długotrwałym działaniem. Przez swoje specyficzne właściwości nawóz ten poprawia strukturę i żyzność gleby, zapewniając również roślinom aminokwasy, minerały i inne pierwiastki śladowe (Kacprzak i in., 2018). Substancje organiczne wzbogacające glebę wpływają na zwiększenie jej guzłkowatej struktury, poprawiając stosunki powietrzno-wodne i akumulację wody w glebie, co ma duże znaczenie dla utrzymania wody w okresach braku opadów (suszy). Według badań IUNG w Puławach, nawóz powoduje wzrost biomasy roślin od 20 do 40%. Z kolei badania klientów stosujących nawozy mineralno-organiczne dowodzą, że podnosi on zawartość białka w ziarnach zbóż o ~30% w stosunku do upraw nienawożonych tym nawozem (Zakrzewski i Chabelski, 2016). Przykładowo w pszenicy jarej nawożonej tym nawozem średnia zawartość białka wynosi do 18% wagowych w porównaniu z 13% białka uzyskiwanymi w uprawach tradycyjnych.

6.2.2. Produkcja biowęgla

Biowęgiel jest ulepszoną wersją powszechnie znanego węgla drzewnego (Malińska i Dach, 2014). Można go otrzymać w procesie termicznego rozkładu biomasy różnego pochodzenia (rośliny, odpady organiczne – w tym osady z oczyszczalni ścieków przemysłu rybnego). Biowęgiel nie tylko ma ujednolicony skład chemiczny względem wyjściowego surowca, lecz przede wszystkim cechuje się mocno rozwiniętą wewnętrzną strukturą porów.

Parametry procesu otrzymywania biowęgla, takie jak: temperatura, dopływ tlenu oraz ciśnienie, decydują o właściwościach otrzymanych produktów – karbonizatu oraz substancji pobocznych. Jednym ze sposobów otrzymywania jednocześnie biowęgla, biooleju i biogazu jest piroliza. Proces ten nazywany jest destylacją rozkładową, polega na termicznym rozkładzie substancji w bardzo wysokiej temperaturze (500–900°C) bez dostępu powietrza i/lub przy podwyższonym ciśnieniu (Lewandowski i in., 2010; Bis, 2012). Otrzymane produkty odgrywają dużą rolę w produkcji energii cieplnej i elektrycznej, przy jednoczesnym ograniczeniu emisji zanieczyszczeń atmosferycznych.

Biowęgiel może być także wykorzystywany jako nawóz. Jego użycie wpływa na zwiększenie nawożenia gleby na dwa sposoby. Pierwszy polega na poprawie potencjału wymiany kationowej, w efekcie którego rośliny mogą łatwiej przyswajać nawozy. Drugi sposób wynika z ograniczonego wymywania nawozów zgromadzonych w glebie (w porach biowęgla) przez opady, co w połączeniu z pierwszym sposobem zwiększa stopień wykorzystania nawozów przez rośliny. Zwiększona, wskutek dodania porowatego biowęgla, zdolność gleby do zatrzymywania dawki nawozów w rejonie korzeni roślin w wielu przypadkach może ograniczyć wymywanie azotu do rzek i zbiorników wodnych, co jest poważnym problemem towarzyszącym intensywnym uprawom. Porowata struktura biowęgla stwarza znakomite warunki dla życia i rozmnażania się mikroorganizmów w ziemi, przez co biowęgiel dodany do zdegradowanej ziemi może ją rekultywować. Inne zalety biowęgla to:

- poprawa retencji wody w glebie,
- zwiększenie pH gleby (neutralizuje jej kwasowość),
- znacząca redukcja wydzielania CH_4 oraz N_2O z gleby (oba gazy są traktowane jako gazy cieplarniane o znacznie większym potencjale niż CO_2), pochodzących z naturalnych procesów gnilnych (Malińska, 2012).

6.2.3. Produkcja biogazu

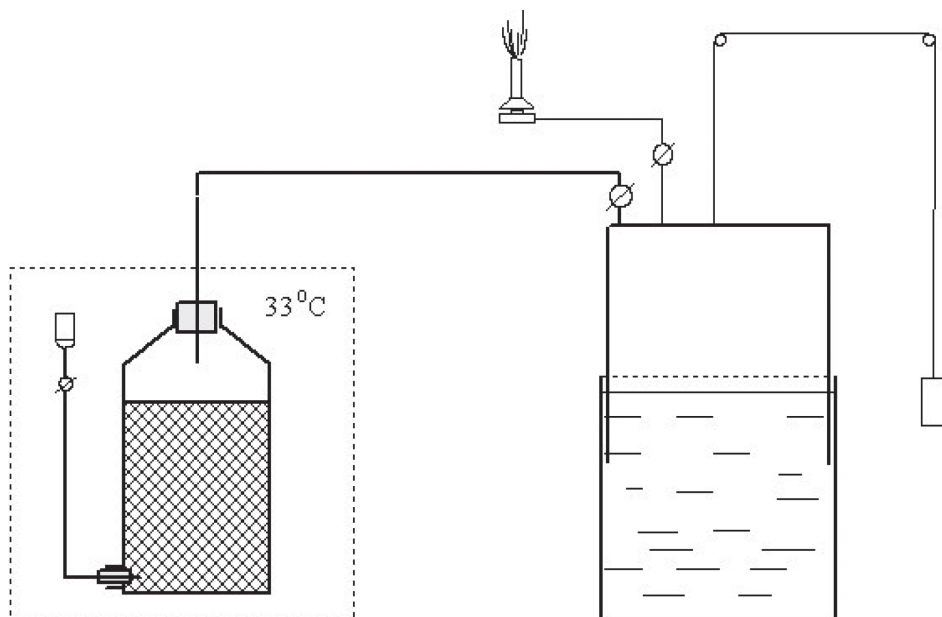
Odpady rybne, tak jak inne odpady przemysłu żywnościowego, można wykorzystać do produkcji biogazu. Powstaje on w wyniku fermentacji metanowej materii organicznej w warunkach beztlenowych. W procesie fermentacji biorą udział bakterie beztlenowe różnych gatunków, a produktem procesów mikrobiologicznych jest gaz składający się głównie z metanu i dwutlenku węgla. Pozostałość po fermentacji wykorzystywana jest jako nawóz organiczny.

Salam i in. (2009) zaproponowali sposób produkcji biogazu w warunkach laboratoryjnych, wykorzystując podroby i skrzela rybie oraz krowie odchody w różnych proporcjach. Zaobserwowano, że w przypadku użycia samych odpadów rybnych wydajność produkcji biogazu wynosiła $0,15 \text{ dm}^3/\text{kg}$ odpadu, a czas fermentacji 10 dni. Przy zastosowania mieszaniny odpadów rybnych i odchodów krowich w stosunku 1 : 1,2 otrzymano 2 dm^3 gazu/kg odpadów, a czas fermentacji skrócił się do 7 dni (Igliński i in., 2015).

Na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego wieku w Centralnym Laboratorium Przemysłu Rybnego i MIR-PIB prowadzono prace mające na celu wykorzystanie wód poprasowych z fabryki mączki rybnej oraz osadów ściekowych do produkcji biogazu poprzez fermentację metanową (Usydus, 1996; Usydus i Bykowski, 1998a). Proces fermentacji metanowej prowadzono w zaprojektowanym i wykonanym zestawie laboratoryjnym składającym

się z komory fermentacyjnej o pojemności 20 l zaopatrzonej w mieszadło mechaniczne. Komorę umieszczono w ciepłarni, gdzie utrzymywana była temperatura 33–34°C. Odbiorniki gazu stanowiły dwa dzwonowe zbiorniki mokre o pojemności 120 l każdy.

Schemat eksperymentu według projektu mgr inż. Marka Wociała (Usydus i Bykowski, 1998a) pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Zestaw laboratoryjny do prowadzenia fermentacji metanowej

Źródło: Projekt i wykonanie mgr inż. Marek Wociał.

Dobrano optymalne dawki podawania do fermentacji wód poprasowych i osadów ściekowych. Uzyskiwane wyniki przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13. Wydajność gazu pofermentacyjnego w procesie beztlenowego rozkładu wód poprasowych i osadów ściekowych

Materiał poddawany fermentacji	Średnia dobowo wydajność gazu z 1 m ³ komory [m ³]	Średnia wydajność gazu z 1 m ³ fermentowanego materiału [m ³]	Średnia wydajność gazu z 1 kg suchej masy fermentowanego materiału [dm ³]
Wody poprasowe	0,5	72	972
Osady ściekowe	3,0	142	788

Skład gazu pofermentacyjnego określony metodą chromatografii gazowej przez Laboratorium Zakładów Gazownictwa w Gdańsku był następujący:

Materiał fermentowany	Zawartość metanu	Zawartość CO ₂	Zawartość O ₂
Wody poprasowe	79,2%	19,6%	0,2%
Osady ściekowe	73,8%	25,0%	0,2%

Według informacji z Zakładów Gazownictwa, uzyskiwany gaz był porównywalny z gazem ziemnym mokrym o zawartości ~80% metanu.

Biorąc pod uwagę ilości powstających w okresie badań wód poprasowych z fabryki mączki rybnej (~1600 t/rok) i osadów ściekowych z osadników Imhoffa (~1650 t/rok), obliczono, że poddając te materiały fermentacji metanowej, można by otrzymywać 350 000 m³ wysokoenergetycznego gazu rocznie, co stanowi ekwiwalent ~280 t węgla opałowego. Zakładając, że zużycie energii na prowadzenie fermentacji odpowiada konieczności wykorzystania 90 t węgla, to oszczędności zakładu wynosiłyby 190 t węgla rocznie i pozbyto by się uciążliwych ścieków i osadów.

Szereg parametrów decyduje o skuteczności procesu fermentacji metanowej w kontekście pozyskiwania metanu. Zapewnienie mikroorganizmom optymalnych warunków środowiskowych jest istotne, aby proces ten przebiegał bez zakłóceń, jak również zapewniał możliwie maksymalny rozkład biomasy oraz intensyfikował udział metanu w biogazie (Czerwińska i Kalinowska, 2014).

6.2.4. Produkcja hydrolizatów rybnych z osadów pościekowych

Po oczyszczeniu ścieków solami żelaza według schematu na rysunku 4 otrzymano zagęszczony osad pokoagulacyjny o podanym poniżej składzie (Usydus i Bykowski, 1998a):

- | | |
|---------------------|-----------------|
| – sucha masa | – 24,9 ± 2,4%, |
| – tłuszcz | – 11,3 ± 4,9%, |
| – białko (N × 6,25) | – 5,3 ± 1,2%, |
| – żelazo | – 1,08 ± 0,24%, |
| – fosforany | – 1,71 ± 0,23%. |

Stosując technologię podobną do produkcji hydrolizatów z odpadów rybnych, na początku lat 90. przeprowadzono próby produkcji hydrolizatów z przeznaczeniem na pasze przy wykorzystaniu otrzymywanego osadu pokoagulacyjnego. W celu zmniejszenia zawartości żelaza i podniesienia zawartości białka osad pokoagulacyjny mieszano z odpadami z obróbki wstępnej ryb. Osadów w stosunku do odpadów dodawano w ilości: 10%, 15% i 20% i po dokładnym wymieszaniu korygowano pH do wartości 4,0 ÷ 4,2 za pomocą kwasu siarkowego rozcieńczonego wodą w stosunku 1 : 3. Wyprodukowano 10-kilogramowe partie hydrolizatów, w których określano skład oraz badano zmiany zachodzące w czasie przechowywania. Przebieg procesu hydrolizy zachodzącej w wyprodukowanych paszach kontrolowano poprzez oznaczanie stopnia hydrolizy (stosunek azotu niebiałkowego do azotu ogólnego w %), lotnych zasad amonowych i pH zmieniających się w czasie przechowywania. Przeprowadzone próby wykazały, że w wyprodukowanych hydrolizatach w czasie ich przechowywania zachodzą prawidłowe zmiany, związane ze spadkiem ogólnej ilości bakterii oraz wzrostem stopnia hydrolizy, który zmieniał się od 44 do 80% po 60 dniach przechowywania (Usydus, 1996). Podobny stopień hydrolizy białek (80%) uzyskali Raa i Gildberg (1982), ale już po 1 tygodniu prowadzenia hydrolizy ryb i odpadów rybnych.

Wyprodukowano 500-kilogramową próbę hydrolizatu, z 15-procentowym dodatkiem osadu pokoagulacyjnego, którą przeznaczono do wstępnych badań żywieniowych w Instytucie Zootechniki w Krakowie.

Skład hydrolizatu przeznaczonego do badań żywieniowych był następujący:

- | | |
|---------------------|----------|
| – sucha masa | – 22,7%, |
| – tłuszcz | – 9,3%, |
| – białko (N × 6,25) | – 9,1%, |
| – popiół | – 3,4%, |

- żelazo – 0,12%,
- fosforany – 1,82%.

Otrzymany hydrolizat zastosowano w żywieniu kur niosek oraz prosiąt żywionych mieszanką standardową, mających stały dostęp do hydrolizatu z udziałem osadu pokoagulacyjnego. Uzyskano zadowalające wyniki zarówno w przypadku kur niosek (wzrost wskaźnika nieśności i zmniejszenie zużycia mieszanki paszowej na kg uzyskanych jaj), jak i prosiąt (poprawa przyrostów masy, zwiększenie zawartości hemoglobiny i żelaza we krwi) (Korelewski, 1997; Urbańczyk i in., 1997). Także inne badania wykazały, że paszowe wykorzystanie hydrolizatów rybnych może być jednym z bardzo obiecujących zastosowań w żywieniu zwierząt hodowlanych (Mędrzycka i Tomczak-Wandzel, 2005; Tomczak-Wandzel i Mędrzycka, 2013).

6.3. Wykorzystanie wycieków termicznych po parowaniu ryb

Na początku lat 90. w MIR prowadzono próby możliwości wykorzystania wydzielonych wycieków po parowaniu ryb także do produkcji składników paszowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że w 1 m³ wycieku uzyskanego po parowaniu śledzi, szprotów i makreli zawarty jest:

- tłuszczu 44 kg,
- białka (N × 6,25) 37 kg,
- chlorków 14 kg,
- suchej masy 120 kg,
- azotu amonowego 464 mg.

Do utrwalenia otrzymanych wycieków termicznych wykorzystano metody stosowane przy wytwarzaniu hydrolizatów rybnych na drodze kwaśnej hydrolizy enzymatycznej w obecności środków konserwujących, zabezpieczających produkt przed procesami gnilnymi wywołanymi przez drobnoustroje. Stwierdzono, że dla wycieku termicznego po parowaniu ryb, utrwalonego kwasem siarkowym do pH poniżej 4, optymalna dawka pirosiarczynu sodu wynosi 0,25%, a w przypadku utrwalania wycieku zmieszanego z odpadami rybnymi w stosunku 1 : 1 – 0,5%. Tak utrwalone próby przez okres 1 miesiąca nie ulegały niekorzystnym zmianom chemicznym i mikrobiologicznym. Po 30-dniowym okresie przechowywania nie stwierdzono obecności bakterii chorobotwórczych i pleśni. Wycieki termiczne zmieszane z odpadami, utrwalone kwasem siarkowym i pirosiarczynom sodu mogą stanowić wartościowy składnik paszowy wykorzystywany w hodowlach zlokalizowanych w pobliżu zakładu produkującego konserwy rybne (niepublikowane dane MIR-PIB).

W ramach zagadnień związanych z aktualną gospodarką wodno-ściekową w latach 2016–2018 prowadzono badania jakości ścieków odprowadzanych z zakładów produkujących konserwy rybne. Wyniki uzyskane na podstawie tych badań wykazały znaczące różnice w składzie odcieków po parowaniu ryb w stosunku do badań z lat 90. ubiegłego wieku. Zmian tych należy upatrywać m.in. w znaczącym spadku zawartości tłuszczu w rybach bałtyckich (szprot, śledź). Jednakże nadal odcieki te mają znaczący wpływ na jakość ścieków ogólnozakładowych. Na podstawie badań z lat 2016–2018 wykazano, że z odciekami po parowaniu ryb w zakładach produkujących konserwy, w skali roku, do ścieków poprodukcyjnych dostaje się:

- białka ~303 t, co stanowi 23,2% ładunku w ściekach poprodukcyjnych;
- tłuszczu ~181 t, co stanowi 21,2% ładunku w ściekach poprodukcyjnych;
- tlenu ChZT ~2231 t, co stanowi 49,6% ładunku w ściekach poprodukcyjnych (niepublikowane dane MIR-PIB).

Wydzielenie tych odcieków na linii produkcyjnej zgodnie z wymaganiami sanitarnymi dla produktów żywnościowych mogłoby mieć duże znaczenie dla możliwości ich wykorzystania do:

- zastąpienia odciekami po parowaniu ryb wody dodawanej przy produkcji sosów używanych następnie do zalewania ryb w konserwach po parowaniu, zwiększając przez to wartość odżywczą uzyskiwanych produktów;
- produkcji na bazie tych odcieków zup rybnych, w tym także ryb w proszku.

Powyższe propozycje należałoby poprzeć stosownymi badaniami (chemicznymi, mikrobiologicznymi i organoleptycznymi).

Inny kierunek wykorzystania odcieków termicznych po parowaniu ryb to pozyskiwanie z nich tłuszczu, który stosunkowo łatwo wydzielić w odstojniku pionowym. Otrzymany olej charakteryzuje się niską liczbą kwasową (1,6 mg/g oleju), korzystną zawartością kwasów tłuszczowych oraz znaczącą zawartością witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (wit. A₁ – 41 I.U./g oleju, wit. D₃ – 53 I.U./g oleju, wit. E – 136 µg/g oleju). Należy poszukiwać jak najkorzystniejszego sposobu wykorzystania tego typu oleju, który po odpowiednim oczyszczeniu mógłby stanowić suplement diety dostarczający korzystne dla zdrowia kwasy tłuszczowe i witaminy rozpuszczalne w tłuszczach (niepublikowane dane MIR-PIB).

7. Podsumowanie

Na podstawie prowadzonych badań oraz przeglądów literatury zaproponowano najbardziej racjonalną technologię oczyszczania ścieków i zagospodarowania odpadów z zakładu przemysłu rybnego (rys. 4). Technologia ta oparta jest na mechaniczno-chemicznym sposobie oczyszczania. Wielu zakładom przemysłu rybnego (o średnim wskaźniku BZT_5 nieprzekraczającym 1700 mg/l) taki sposób podczyszczania wystarczy dla osiągnięcia wymaganych pozwoleniami wodno-prawnymi wskaźników zanieczyszczeń ścieków przy odprowadzaniu ich do kanalizacji miejskiej bądź gminnej.

W zakładach, w których stosowane technologie przewidują parowanie ryb, powstające odcieki powinny być oddzielone i zagospodarowane. Ścieki oczyszczone metodą mechaniczno-chemiczną, o ile po oczyszczeniu mają być odprowadzane do zbiornika wód otwartych lub do gruntu bądź też nie spełniają wymagań pozwolenia wodno-prawnego przy odprowadzaniu do kanalizacji miejskiej, powinny być dalej oczyszczane metodami biologicznymi, najkorzystniej przy pomocy osadu czynnego. Stosowanie w zakładach produkcyjnych oczyszczania biologicznego jest z punktu widzenia ekonomicznego mało racjonalne. Zakłady produkcyjne powinny metodami mechaniczno-chemicznymi doprowadzić podczyszczone ścieki do takich parametrów, aby można było je przekazywać do powiatowej, miejskiej lub gminnej biologicznej oczyszczalni ścieków, wspomagając finansowo działania tej oczyszczalni.

Dokonując przeglądu rozwiązań oczyszczania ścieków przemysłu rybnego prezentowanych przez firmy zachodnie, można stwierdzić, że kierunki badań w CLPR i MIR oraz uzyskane wyniki były zbliżone z tendencjami światowymi w tej dziedzinie.

Przedstawiono szereg rozwiązań możliwości zagospodarowania odpadów i osadów z podczyszczalni ścieków. Obecny sposób zagospodarowania odpadów rybnych na mączkę rybną i olej rybny oraz pasze ekstrudowane jest według autorów najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia technologicznego, ekonomicznego, a także wynikającego z zapotrzebowania nie tylko hodowców ryb, ale także innych zwierząt hodowlanych na tego rodzaju paszę. Pasze uzyskiwane z ryb i odpadów rybnych odgrywają znaczącą rolę jako składnik

mieszanek paszowych. Jeszcze większe zainteresowanie mączkami i olejami rybnymi nastąpiło w związku z wycofaniem mączek mięsnych i mięsno-kostnych z żywienia zwierząt gospodarskich.

Interesującym rozwiązaniem zagospodarowania odpadów rybnych jest produkcja hydrolyzatów rybnych wykorzystywanych na paszę (szczególnie w Norwegii do zagospodarowania odpadów łososiowych) oraz hydrolizatów i izolatów białek rybnych rozpowszechnionych głównie w krajach azjatyckich.

W przypadku osadów pościekowych – zdaniem autorów – najlepszym rozwiązaniem będzie produkcja nawozów organiczno-mineralnych z zastosowaniem odpowiedniej do ilości osadów instalacji FuelCal, będącej przedłużeniem linii technologicznej zakładowej podczyszczalni ścieków. Rozwiązanie takie eliminuje koszty transportu, jest mało uciążliwe dla środowiska, pozwala na uzyskanie produktów bezpiecznych higienicznie.

Przyszłych technologów zajmujących się gospodarką ściekową w zakładach przemysłu rybnego autorzy niniejszego opracowania zachęcają do rozpatrzenia możliwości zagospodarowywania odcieków po parowaniu ryb, co pozwoliłoby na polepszenie jakości odprowadzanych z zakładu ścieków i uzyskanie produktów o wyższej wartości odżywczej.

Bibliografia

Afonso M.D., Bórquez R. (2002). Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes-prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. *Desalination*, 142, 29–45.

Arvanitoyannis J.S., Kassaveti A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(4), 726–745.

Barros M., Bello P., Roca E., Casares J. (2007). Integrated pollution prevention and control for heavy ceramic industry in Galicia (NW Spain). *Journal of Cleaner Production*, 141, 680–692.

Bello B., Cristóbal L., Magán A., Torres R. (2013). Integrated environmental permit through Best Available Techniques: evaluation of the fish and seafood canning industry. *Journal of Cleaner Production*, 47, 253–264.

Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M. (2011). Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14(4), 375–384.

Bis Z. (2012). Biowęgiel – powrót do przeszłości, szansa dla przyszłości. *Czysta Energia*, 6.

Brijesh T. (2018). V Kongres Rybny Sopot 12 – 13 kwietnia 2018. Prezentacja.

Czerwińska E., Kalinowska K. (2014). Warunki prowadzenia procesu fermentacji meta-nowej w biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2, 12–14.

Dapkevicius M.L.N.E., Nout M.J.R., Rombouts F.M., Houben J.H., Wymenga W. (2000). Biogenic amine formation and degradation by potential fish silage starter microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, 57, 107–114.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).

Dobrzański Z., Tronina S. (1999). Proekologiczne preparaty huminowe dla zwierząt gospodarskich. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, 361, 65–71.

Dobrzański Z., Bykowski P., Usydus Z. (2001). Nowe pasze rybne w żywieniu drobiu. *Polskie Drobniarstwo*, 9, 9–11.

Dobrzański Z., Jamroz D., Bykowski P., Trziszka T. (2002). Wpływ oleju rybnego na efektywność odchowu kurcząt brojlerów i cechy jakościowe ich mięsa. *Acta. Sci. Pol.*, 1, 43–52.

Environmental Information System for the Seafood Industry (1994). Vol. 1, 2, oprac. Matcon A/s na zlecenie Danish Environmental Protection Agency.

Evangelinos K., Allan S., Jones K., Nikolaou I.E. (2013). Environmental Management Practices and Engineering Science: A Review and Typology for Future Research. *Integrated Environmental*, 10(2), 153–162.

Gańczarczyk J. (1969). *Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego*. Warszawa: Arkady.

Goycoolea F., Nieblas J., Noriega L., Higuera-Ciapara I. (1997). Temperature and concentration effects on the flow behaviour of stickwater. *Bioresour. Technol.*, 59(2–3), 217–225.

Gudelis-Matys K. (2002). Wastewater treatment in the fishing industry. *Magazyn Przemysłu Rybnego*, 4, 10–11.

Ochrona Środowiska 2017 (2017). Analizy statystyczne. Warszawa: GUS.

Ochrona Środowiska 2018 (2018). Analizy statystyczne. Warszawa: GUS.

Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M. (2015). Biogazownie rolnicze w Polsce – stan aktualny, potencjał, analiza SWOT. *Rynek Energii*, 3(118), 93–101.

Jaczynski J., Tahergorabi R. (2015). Isoelectric processing of seafood products: amino acid and fatty acid profiles. In: V. Preedy (ed.), *Processing and impact on active components in food* (417–425). London: CRC Press.

Kacprzak M., Chabelski T., Zakrzewski J. (2018). Przetwarzanie odpadów biodegradowalnych na organiczno-wapniowy nawóz oraz dystrybucja i plonotwórcza efektywność nawozu. *Inżynieria Ekologiczna*, 19(6), 182–190.

Kamiński Z. (red.) (1998). *Raport Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Stan Środowiska w Polsce*. Warszawa: Biblioteka Monitoringu Środowiska.

Kolanowski W. 1999. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe. Pod red. F. Świderskiego, WNT, Warszawa, 235–237.

Kołodziej K., Kołodziejski W., Usydus Z. (1994). Przetwórstwo śledzia bałtyckiego z zastosowaniem technologii proekologicznych oraz wprowadzenie systemu sterowania i zarządzania jakością, zgodnie z wymaganiami EWG. Projekt celowy, nr 5556992/C/614. Gdynia: MIR (maszynopis).

Korelewski J. (1997). Badania rozpoznawcze nad zastosowaniem pirosilorybu oraz pirosilorybu z dodatkiem precypitatu ze ścieku w żywieniu kur nieśnych oraz kurcząt brojlerów. Kraków: Instytut Zootechniki (maszynopis).

Korniewicz A., Dobrzański Z., Kołacz R., Korniewicz D., Usydus Z. (2003). Fish waste not wasted on growing pigs. *The International Journal on Feed, Nutrition and Technology*, 11(3), 20–23.

Kristinsson H.G., Rasco B.A. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81.

Lewandowski W.M., Rymś M., Meler P. (2010). Termiczno-chemiczna piroliza do biopaliw ciekłych i gazowych, jako metoda podnoszenia sprawności konwersji energii biomasy. *Nafta-Gaz*, LXVI(8), 675–680.

Lewkowicz P., Lewkowicz N., Głowacka E., Banasik M., Tchórzewski H. (2002). Rola alkiogliceroli, skwalenu i wielonienasyconych kwasów omega 3 w zwalczaniu infekcji bakteryjnych; modyfikacja naturalnych (wrodzonych) mechanizmów odporności. *Kwartalnik Tow. Terapii Monitorowanej*, 13(4), 163–169.

Malińska K. (2012). Biowęgiel odpowiedzią na aktualne problemy ochrony środowiska. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(4), 387–403.

Malińska K., Dach J. (2014). Możliwości wykorzystania biowęgla w procesie kompostowania. *Inżynieria Ekologiczna*, 36, 28–39.

Marañón E., Castrillón L., Quiroga G., Fernández-Nava Y., Gómez L., García M.M. (2012). Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production. *Waste Manag.*, 32, 1821–1825.

Massé A., Vandanjon L., Jaouen P., Dumay J., Kéchaou E., Bourseau P. (2008). Upgrading and pollution reduction of fish industry process-waters by membrane technology. In: J.-P. Bergé (ed.), *Added Value to Fishery Wastes* (81–100). Kerala: Transworld Research Network.

Matyka S. (1997). Natłuszczenie jako sposób poprawy wartości energetycznej pasz przemysłowych. W: Materiały konferencyjne pt. *Energetyczne dowartościowanie pasz przemysłowych* (23–29). Lublin: Cent. Lab. Przem. Pasz.

Mędrzycka K., Tomczak-Wandzel R. (2005). The utilization of sludge generated in coagulation of fish processing wastewater for liquid feed production. *Chemistry for the Protection of the Environment*, 4, *Environmental Science Research*, 59, 215–221.

Morgan-Lewińska E. (1992). Gospodarka wodno-ściekowa w przetwórstwie rybnym. *Ekopartner*, 4(6), 6–8.

Morska Gospodarka Rybna w latach 2015–2016 (2017). Gdynia: Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Ekonomiki Rybackiej.

Moure A., Sineiro J., Domínguez H., Parajó J.C. (2006). Functionality of oilseed protein products: a review. *Food Research International*, 39(9), 945–963.

Nakasaki K., Nagasaki K., Ariga O. (2004). Degradation of fats during thermophilic composting of organic waste. *Waste Manag. Res.*, 22(4), 276–282.

Nowak W. (2003). Tłuszcz paszowy w żywieniu krów mlecznych. *Zesz. Nauk. Prz. Hod.*, 69, 27–38.

Oviedo-Ocaña E.R, Torres-Lozada P, Marmolejo-Rebellon I.F, Torres-López W.A., Dominguez I., Komilis D., Sanchez A. (2017). A systematic approach to evaluate parameter consistency in the inlet stream of source separated biowaste composting facilities: A case study in Colombia. *Waste Manag.*, 32, 24–32.

Pérez-Gálveza R., Guadix E.M., Bergé J.-P., Guadix A. (2011). Operation and cleaning of ceramic membranes for the filtration of fish press liquor. *Journal of Membrane Science*, 384, 142–148.

Kubicki M. (red.) (1998). Ochrona środowiska w przemyśle spożywczym. Warszawa: Wydawnictwo FAPA.

Raa J., Gildberg A., (1982). Fish silage. *CRS Review in Food Science and Nutrition*, 16(4), 383.

Rocznik Statystyczny Gospodarki Morskiej (2018). Szczecin: GUS, Urząd Statystyczny w Szczecinie.

Rustad T. (2003). Utilisation of marine by-products. *EJEAFChe*, 2(4), 458–463.

Rustad T., Storø I., Slizyte R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(10), 2001–2014.

Salam B., Islam M., Rahman M.T. (2009). Biogas from anaerobic digestion of fish waste. In: Proc. Int. Conf. on Mechanical Engineering 2009, Dhaka, Bangladesh, December 26–28, 1–3.

Sapek A. (2009). Źródła substancji wprowadzanych rzekami z Polski do Morza Bałtyckiego. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 8(23), 151–161.

Szaniawska D., Ćwirko K., Gabriel-Półrończak U., Sobol M. (2014). Separacja białka i produktów hydrolizy białka z odpadowych solanek z zastosowaniem membran ceramicznych i wielostopniowego systemu membran. *Inż. Ap. Chem.*, 53(4), 295–297.

Szymczak M., Dominiczak A., Szymczak B. (2017). Odzyskiwanie białek z rybnych surowców ubocznych. *Przemysł Spożywczy*, 71(10), 34–39.

Tomczak-Wandzel R., Mędrzycka K. (2013). Preparation, composition and lipid changes of fish silage produced with post-coagulation sludge. *Environment Protection Engineering*, 13(4), 39–49.

Twarużek M., Grajewski J. (2002). Pleśnie i mikotoksyny w środowisku bytowania człowieka i zwierząt. *Przegląd Hodowlany*, 5, 21–24.

Urbaniec K. (2004). Gospodarka odpadami i ściekami w produkcji żywności. *Przemysł Spożywczy*, 58(11), 54–55.

Urbańczyk J., Hanczakowska E., Jarocka A., Siemińska M., Świątkiewicz M. (1997). Próba zastosowania pirosilorybu z dodatkiem precypitatu ze ścieku jako źródło żelaza dla prosiąt. Brzezie: Instytut Zootechniki (maszynopis).

Usyduś Z. (1996). Ścieki przemysłu rybnego – możliwości ich podczyszczenia i gospodarczego wykorzystania. Praca doktorska na Politechnice Gdańskiej.

Usyduś Z., Bykowski P. (1998a). The utilization of waste and raw materials contained in wastewater from the fish processing industry. *Bull. Sea Fish. Instit.*, 1(143), 17–29.

Usyduś Z., Bykowski P. (1998b). Chemical characteristics of wastewater in the fish processing industry. *Bull. Sea Fish. Instit.*, 1(143), 63–75.

Usyduś Z. (2002). Opracowanie kompleksowego systemu technologiczno-technicznego wykorzystania na cele rolnicze i techniczne surowców odpadowych powstających w przetwórstwie właściwym ryb. Projekt celowy nr 5 PO 6 G 01999 C/4076.

Usydus Z., Górecki H., Dobrzański Z., Świerczewska M. (2003a). Wykorzystanie płynnych odpadów z przemysłu rybnego do produkcji biokompostu. *Acta Agrophysica*, 1(4), 773–778.

Usydus Z., Górecki H., Dobrzański Z., Malarz W., Sztuder H. (2003b). The influence of biocompost from fish wastes on spring wheat yield. *Chemistry for Agriculture*, vol. 4, Czech-Pol Trade, 257–263.

Usydus Z., Bykowski P., Dobrzański Z., Kołacz R., Korniewicz A., Tronina S. (2004). „Koncentrat rybno-mineralny” – zgłoszenie patentowe z 13.04.2004, zarejestrowane w Urzędzie Patentowym pod numerem P 367053.

Usydus Z., (2005). Badania nad otrzymywaniem i jakością paszowego oleju rybnego oraz jego wykorzystaniem w formie koncentratu rybno-mineralnego w żywieniu zwierząt monogastycznych. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Ser. Rozprawy*, 513, 1–101.

Valiño S., Barros C., Bello P., Casares J. (2007). Analysis of the fish and seafood canning industry under the IPPC framework. In: *Proceedings of International Symposium on Eco Topia Science (715–721)*. ISETS07.

Zakrzewski J., Chabelski T. (2016). The fuelcal technology of processing biomass waste into multi-component organic-mineral fertilisers orcal. *Ecological Engineering*, 46, 166–174.

Zimińska H. (1986). Fishery effluents – characteristics, purification and utilization. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej*, 27, 127–152 (in Polish).

Wykaz rysunków

Rys. 1. Różnica w schematach podczyszczania ścieków (tradycyjna w oparciu o CT)

Rys. 2. Efekty oczyszczania ścieków przy zastosowaniu różnych wariantów wyrażone jako % obniżenia wskaźnika BZT_5

Rys. 3. Model cylindrycznego flotatora używanego do prób

Rys. 4. Schemat podczyszczania ścieków przemysłu rybnego (wg firmy Ekobudex)

Rys. 5. Schemat otrzymywania oleju rybnego i mączki rybnej w wytwórni mączki rybnej

Rys. 6. Metody stabilizacji osadów ściekowych

Rys. 7. Bilans wydatków i korzyści wynikający z oczyszczania ścieków i zagospodarowania osadów (rzeźnia w Anglii)

Rys. 8. Zestaw laboratoryjny do prowadzenia fermentacji metanowej

Wykaz tabel

Tabela 1. Dopływ substancji organicznych i biogennych rzekami do Morza Bałtyckiego (tys. ton/rok)

Tabela 2. Dopływ metali ciężkich do Morza Bałtyckiego (tony/rok)

Tabela 3. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków poprodukcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących konserwy na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Tabela 4. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków poprodukcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących ryby wędzone na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Tabela 5. Porównanie średnich wskaźników i ładunków zanieczyszczeń ścieków poprodukcyjnych powstających w jednym z zakładów produkujących marynaty na podstawie badań w latach 80. i w roku 2016 (badania CLPR i MIR-PIB)

Tabela 6. Wskaźniki zanieczyszczeń odcieków po parowaniu ryb w porównaniu z technologicznymi ściekami ogólnozakładowymi

Tabela 7. Wskaźniki zanieczyszczeń kąpieli po marynowaniu ryb w porównaniu z technologicznymi ściekami ogólnozakładowymi

Tabela 8. Ilości białek i tłuszczów zawartych w wodach poprodukcyjnych powstających w ciągu roku przy produkcji poszczególnych grup towarowych

Tabela 9. Wskaźniki zanieczyszczeń (mg/dm^3) i ładunki zanieczyszczeń (ton/rok) ścieków surowych poszczególnych branż przemysłu spożywczego

Tabela 10. Wybrane parametry charakteryzujące otrzymywane oleje rybne

Tabela 11. Wybrane parametry chemiczne charakteryzujące stopień zanieczyszczenia olejów rybnych [mg/kg].

Tabela 12. Udziały procentowe kwasów tłuszczowych uzyskiwanych olejów rybnych

Tabela 13. Wydajność gazu pofermentacyjnego w procesie beztlenowego rozkładu wód poprasowych i osadów ściekowych

Spis treści

Streszczenie	3
1. Wprowadzenie	4
2. Gospodarka wodna w zakładach przemysłu rybnego	8
3. Jakość ścieków odprowadzanych z zakładów przemysłu rybnego o różnym profilu produkcji	12
4. Gospodarka wodno-ściekowa w przemyśle rybnym na tle gospodarki krajowej	17
5. Metody podczyszczania ścieków	20
6. Gospodarka odpadami rybnymi i osadami ściekowymi w przemyśle rybnym	27
6.1. Wykorzystanie odpadów rybnych i ryb nieprzeznaczonych do konsumpcji	27
6.1.1. Produkcja mączki rybnej i oleju rybnego	27
6.1.2. Produkcja hydrolizatów rybnych z ryb i odpadów rybnych	32
6.1.3. Produkcja hydrolizatów białek z przeznaczeniem do spożycia przez ludzi	32
6.1.4. Odzyskiwanie białka z rybnych surowców ubocznych – metoda pH-shift	33
6.2. Osady ściekowe uzyskiwane w procesach oczyszczania ścieków	34
6.2.1. Produkcja nawozów	36
6.2.2. Produkcja biowęgla	38
6.2.3. Produkcja biogazu	39
6.2.4. Produkcja hydrolizatów rybnych z osadów pościekowych	42
6.3. Wykorzystanie wycieków termicznych po parowaniu ryb	43
7. Podsumowanie	45
Bibliografia	47
Wykaz rysunków	53
Wykaz tabel	54

