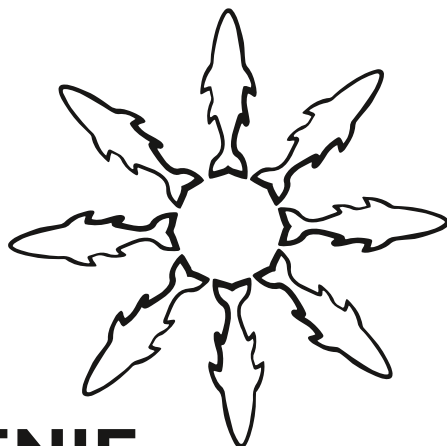




51. SZKOLENIE KONFERENCJA HODOWCÓW RYB ŁOSOSIOWATYCH

MATERIAŁY SZKOLENIOWE

Materiały pod redakcją:
dr hab. inż. Radosława Kowalskiego

ISBN: 978-83-973176-2-8



Fundusze Europejskie
dla Rybactwa

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Morskiego, Rybackiego i Akwakultury
w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Rybactwa na lata 2021-2027.

Wstęp	5
Obraz polskiej akwakultury w 2025 roku na podstawie badań statystycznych, przy zastosowaniu kwestionariusza RRW-22	8
Serwis Statystyczny – wielkość i struktura produkcji ryb łososiowatych w ujęciu ankiety SPRŁ	17
Rynek i spożycie ryb w 2025 roku	36
Rynek i nabywcy ryb w danych YouGov Shopper Intelligence	52
Co zrobić, by pstrąg nie dzielił losu czarnej porzeczki? Stan obecny i perspektywy rynku konsumenckiego	59
PFAS = Please Find Another Supplier... – żart branżowy czy nowa rzeczywistość? Problemy z PFAS w produktach rybnych i ich opakowaniach	76
Wybrane kwestie podatkowe w gospodarstwach rybackich	78
Wybrane kwestie związane z Krajowym Systemem e-Faktur	85
Ślad antybiotykowy w środowisku wodnym związanym z akwakulturą	92
Od zgodności do odporności: Bioasekuracja 2.0 w hodowli ryb łososiowatych. Jak wykorzystać wymogi Prawa o zdrowiu zwierząt do ograniczania strat klimatycznych i epizootycznych	104
Efektywność szczepionek autogenicznych (autoszczepionek) stosowanych w kąpieli oraz w karmie – wyniki badań	133
Choroby skrzeli ryb łososiowatych. Nowe obserwacje, doświadczenia i wyzwania	142
„Spleśniałe ryby” – przyczyny, mechanizmy i możliwości zwalczania saprolegniozy. 146	
Dlaczego dobra pasza psuje wodę? Rola jakości, pochodzenia i przyswajalności tłuszczów w nowoczesnej akwakulturze	155
Środowiskowe aspekty produkcji pstrąga tęczowego (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) w systemach śródlądowych – wyzwania i rekomendacje dla branży hodowców ryb ..	185
Określenie możliwości hodowli pstrąga tęczowego w polskiej strefie przybrzeżnej Bałtyku z wykorzystaniem pływających platform hodowlanych	196
Molekularny monitoring wody z wykorzystaniem eDNA – przyszłość diagnostyki chorób oraz zarządzania hodowlą ryb	202
Diagnostyka ultrasonograficzna (USG) w hodowli ryb – aktualne możliwości zastosowania i perspektywy rozwoju	223
Notatki	240

Wstęp

Radosław Kowalski

InLife Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie

Szanowni Państwo,

po ubiegłorocznym, jubileuszowym 50. Szkoleniu – Konferencji Hodowców Ryb Łososiowatych można było mieć nadzieję, że drugie półwiecze naszych spotkań rozpoczniemy w nieco spokojniejszych czasach. Rzeczywistość, jak to zwykle bywa, miała jednak własne plany. Wojna w Ukrainie, która jeszcze kilka lat temu wydawała się wydarzeniem niewyobrażalnym w XXI-wiecznej Europie, nadal trwa. Do niej dołączył kolejny poważny konflikt na Bliskim Wschodzie, którego konsekwencje odczuwamy już nie tylko w telewizyjnych relacjach, lecz także poprzez rynek ropy, paliw, transportu i energii. Cieśnina Ormuz po raz kolejny przypomniała światu, że czasem kilka kilometrów wody może mieć większy wpływ na gospodarkę niż tysiące stron strategii ekonomicznych.

Emocji nie brakuje również przy wdrażaniu Funduszy Europejskich dla Rybactwa. Program, na który branża długo czekała i z którym wiązała duże nadzieje, nadal uczy nas cierpliwości. Kolejne nabory, zmiany harmonogramów, interpretacje zasad i czas oczekiwania na rozstrzygnięcia pokazują, że pomiędzy zaprojektowaniem pomocy a jej dotarciem do gospodarstwa znajduje się czasem całkiem rozbudowany ekosystem administracyjny. Bywa on nie mniej skomplikowany niż ten, który próbujemy odtwarzać w naszych obiektach hodowlanych.

Tym bardziej cieszy uruchamiany właśnie w FER mechanizm interwencyjny, mający rekompensować sektorowi dodatkowe koszty wynikające z zakłóceń rynku związanych z sytuacją na Bliskim Wschodzie. Nie oznacza to jednak, że mechanizm ten jest wolny od rozwiązań trudnych do zrozumienia z punktu widzenia biologii produkcji. Pomoc dla akwakultury została związana przede wszystkim z kilogramami sprzedanych ryb. Przy programach pomocowych dla rolnictwa warto jednak pamiętać o biologii. Ryba uparcie nie chce rozpoczynać życia od kilograma. Zaczyna od ikry i nic nie wskazuje, żeby w najbliższym czasie miała zmienić tę technologię produkcji. Brak pomocy dla producentów ikry wydaje się więc trochę nie fair. Bo zanim pojawi się kilogram ryby, musi się jednak pojawić coś znacznie mniejszego – i zdecydowanie mniej wygodnego do wpisania do tabeli.

Program FER dostarcza zresztą również przykładów pokazujących, że polska administracja potrafi nie tylko nadążać za postępem technologicznym, ale czasami nawet go wyprzedzać. W jednym z działań przewidziano możliwość dofinansowania środków

transportu produktów rybnych, pod warunkiem że będą wyposażone w napęd alternatywny. Idea jest oczywiście szczytna. Problem w tym, że transport ryb, zwłaszcza żywych, nie polega na wstawieniu kilku skrzynek do samochodu dostawczego. To specjalistyczne pojazdy wyposażone w zbiorniki, systemy natleniania, cyrkulacji i kontroli parametrów wody, których elektryczne odpowiedniki trudno dziś uznać za standardowy produkt dostępny na rynku. Można więc powiedzieć, że w tym przypadku legislacja postanowiła dać technologii dobry przykład i wskazać jej, w którym kierunku powinna się rozwijać.

Branża jednak nie takie rzeczy już przeżyła. Przechodziliśmy przez transformację gospodarczą, katastrofalne lata suszy, powodzie, choroby ryb, wzrosty cen pasz i energii, pandemię, załamanie rynku gastronomicznego i kolejne zmiany prawa. Za każdym razem po okresie chaosu przychodził moment, kiedy trzeba było wrócić do podstawowe-go pytania: co możemy zrobić lepiej we własnym gospodarstwie?

I właśnie dlatego tegoroczne materiały szkoleniowe są tak różnorodne. Obok analiz rynku i zachowań konsumentów znajdziemy zagadnienia, które dotyczą najbardziej praktycznych problemów produkcji: jakości paszy i jej wpływu na wodę, profilaktyki chorób i szczepionek autogenicznych, saprolegniozy czy narastającego problemu antybiotykooporności w środowisku wodnym. Pojawiają się także kwestie podatkowe i Krajowy System e-Faktur, bo współczesny hodowca musi niestety coraz częściej znać się nie tylko na rybach, ale również na informatyce, księgowości, prawie, energetyce i administracji. Można czasem odnieść wrażenie, że sama ichtiologia jest już tą łatwiejszą częścią prowadzenia gospodarstwa.

Szczególnie interesująco wyglądają jednak technologie pokazujące, jak bardzo zmienia się dziś nasze podejście do obserwowania ryb. Nauka zaczyna dawać nam narzędzia, o których jeszcze niedawno w rybactwie prawie nie myśleliśmy. USG pozwala zaglądać do wnętrza ryby bez jej uśmiercania. eDNA pozwala z próbki wody szukać patogenów i gatunków ryb. Automatyzacja zmienia sposób zarządzania gospodarstwami. Granica pomiędzy klasyczną hodowlą, diagnostyką i biologią molekularną zaczyna się zacierać.

To jest chyba najważniejsza myśl, która łączy tegoroczne materiały. Świat wokół nas staje się bardziej skomplikowany, ale jednocześnie nasze narzędzia stają się coraz lepsze. Nie zatrzymamy wojen, nie ustalimy sami ceny ropy, nie napiszemy za ustawodawcę wszystkich rozsądnych przepisów i nie zawsze będziemy mieli wpływ na tempo działania instytucji. Mamy natomiast wpływ na to, jak karmimy ryby, jak chronimy je przed chorobami, jak wykorzystujemy wodę i energię, jak monitorujemy produkcję i jak szybko potrafimy wykorzystać nowe technologie.

A poza tym rybactwo ma jedną przewagę nad większością innych zawodów. Mamy wodę. Woda ma niezwykły, niemal magiczny dar uspokajania. Ta stojąca w stawie uczy cierpliwości, a ta płynąca przez gospodarstwo pstrągowe przypomina każdego dnia starą prawdę, że wszystko płynie. Wojny się kończą, kryzysy mijają, ceny rosną i spadają, programy pomocowe w końcu zostają rozliczone, a najbardziej nawet skomplikowane przepisy prędzej czy później zastępowane są następnymi.

Panta rhei. Wystarczy czasem stanąć przy odpływie ze stawu i chwilę poczekać. Rybacy potrafią czekać jak mało kto.

Życzę więc Państwu, aby tegoroczne spotkanie było nie tylko okazją do zdobycia nowej wiedzy, ale również do rozmów, wymiany doświadczeń i nabrania dystansu do problemów, które dziś wydają się największe. Bo skoro przez tyle lat potrafiliśmy wspólnie przejść przez wszystko, co przynosiła nam rzeczywistość, zapewne poradzimy sobie również z tym, co przyniesie kolejny rok.

Obraz polskiej akwakultury w 2025 roku na podstawie badań statystycznych, przy zastosowaniu kwestionariusza RRW-22

Tomasz Kulikowski, Norbert Nieżorawski, Adam Mytlewski

Zakład Ekonomiki Rybackiej

Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

81-332 Gdynia, Kołłątaja 1, amytlewski@mir.gdynia.pl

1. Wstęp

Europejska akwakultura ryb charakteryzuje się zróżnicowaną skalą produkcji, ale jednocześnie silną koncentracją geograficzną i gatunkową. Według najnowszej wersji raportu produkcyjnego FEAP (FEAP 2026), w 2024 r. w krajach europejskich objętych zestawieniem wyprodukowano 2,90 mln ton ryb, z czego 518,6 tys. ton w państwach Unii Europejskiej, a 2,38 mln ton w pozostałych krajach europejskich. Zdecydowanym liderem pozostaje Norwegia, z produkcją przekraczającą 1,65 mln ton, podczas gdy w UE największymi producentami są Grecja, Hiszpania i Włochy. Polska, z produkcją na poziomie 44,6 tys. ton, zajmowała w 2024 r. czwarte miejsce wśród państw UE. Struktura europejskiej akwakultury jest przy tym zdominowana przez kilka podstawowych ryb – łososia, pstrąga, labraksa, doradę i karpia, które według FEAP odpowiadają łącznie za około 92% produkcji ryb w Europie.

W tej strukturze pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*) pozostaje jednym z najważniejszych gatunków europejskiej akwakultury. FEAP rozdziela jego produkcję na dwa główne segmenty: pstrąga porcyjnego (portion rainbow trout) oraz pstrąga dużego (large rainbow trout). W 2024 r. produkcja pierwszej kategorii wyniosła 259,0 tys. ton, a drugiej 167,2 tys. ton, czyli łącznie około 426 tys. ton. W segmencie pstrąga porcyjnego dominowała Turcja (150 tys. ton), przed Włochami i Danią, natomiast produkcja dużego pstrąga była skoncentrowana przede wszystkim w Norwegii (95,2 tys. ton), Francji i Finlandii. Polska należy do najważniejszych producentów pstrąga w UE: według FEAP w 2024 r. wyprodukowała 12,4 tys. ton pstrąga porcyjnego i 8,0 tys. ton dużego, łącznie około 20,4 tys. ton. Oznacza to czwarte miejsce w UE w obu segmentach produkcji.

Dane krajowe RRW-22 potwierdzają skalę produkcji, wskazując na 20,7 tys. ton pstrąga tęczowego w 2024 r., wobec około 21,1 tys. ton rok wcześniej; łączna produkcja czterech raportowanych gatunków pstrągów wyniosła około 22,2 tys. ton. W dłuższej perspektywie dane krajowe uwidaczniają wyhamowanie wcześniejszego trendu

wzrostowego: produkcja wszystkich ryb łososiowatych zmniejszyła się z rekordowych 24,39 tys. ton w 2020 r. do 22,29 tys. ton w 2024 r., a udział pstrąga tęczowego w całkowitej krajowej produkcji akwakultury, po wzroście z 36,8% w 2018 r. do 48,7% w 2022 r., obniżył się do około 45% w 2023 r. i 42% w 2024 r. (Trella, 2025). Mimo tego pstrąg pozostaje jednym z dwóch (obok karpia) filarów polskiej akwakultury, a jego znaczenie jest szczególnie duże w segmencie produkcji intensywnej krajowej akwakultury.

2. Metodologia

Prezentowane wyniki pochodzą z badań statystycznych sektora akwakultury za 2025 rok, realizowanych w 2026 r. w Zakładzie Ekonomiki Rybackiej Morskiego Instytutu Rybackiego - Państwowego Instytutu Badawczego w ramach Programu badań statystycznych statystyki publicznej (PBSSP 2025). Analizę przeprowadzono przy zastosowaniu kwestionariusza statystycznego RRW-22 (Zestawienie dotyczące powierzchni stawów rybnych oraz ilości wyprodukowanych ryb) bazującego na metodologii cenzus.

Rok 2026 r. był pierwszym rokiem, w którym zbiór kwestionariuszy RRW-22 prowadzony był przez Morski Instytut Rybacki - PIB. W wymiarze ilościowym uzyskano istotny wzrost ściągalności (o ponad 23% w stosunku do roku poprzedniego) osiągając liczbę 1356 respondentów (rok wcześniej - 1098). Z tego też powodu prezentowane wyniki objęto znacznie mniejszym doszacowaniem (w zależności od gatunku, od 1 do 4% surowych uzyskanych wyników) niż rok wcześniej (gdy stosowano doszacowanie do 7%). Zmniejszenie doszacowania przy zwiększonej ściągalności danych, zapewnia pełną porównywalność prezentowanych wyników na tle lat wcześniejszych.

Przedstawiane w niniejszych materiałach konferencyjnych dane należy traktować jako wstępne. Oficjalne dane końcowe zostaną przekazane do Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w listopadzie 2026 r.

3. Wyniki

3.1. Ogólny obraz polskiej akwakultury

Struktura gatunkowa polskiej akwakultury jest silnie zróżnicowana, a jednocześnie przedstawionej liczbie gospodarstw zdecydowanie dominuje niskointensywna akwakultura stawowa - przede wszystkim produkcja karpia oraz gatunków towarzyszących.

W grupie ryb charakterystycznych dla akwakultury stawowej zdecydowanie najpowszechniejszy jest karp, którego produkcję wykazało w 2025 roku aż 1021 gospodarstw. Bardzo szeroko rozpowszechniona jest również produkcja amura białego, który obecny był w 566 gospodarstwach. Do często utrzymywanych gatunków dodatkowych należą także szczupak (459 gospodarstw) oraz lin (343). Stosunkowo liczna jest gru-

pa gospodarstw produkujących karasie: karasia pospolitego wykazano w 194 gospodarstwach, karasia srebrzystego w 23, a karasia złocistego w jednym. Ważną grupę stanowią również tołpygi – tołpyga pstra była produkowana w 187 gospodarstwach, natomiast tołpyga biała w 80. Sum europejski występował w produkcji 168 gospodarstw, a sandacz w 108 gospodarstwach. Zdecydowanie rzadziej wykazywano m.in. okonia (28 gospodarstw), płoć (23), jazia (14), leszcza (10), a także wzdręgę (3), bolenia (2), miętusa (2) i klenia (2). Dane te pokazują, że stawy karpiove pełnią nie tylko funkcję produkcji podstawowego gatunku, lecz są również miejscem chowu stosunkowo szerokiego zestawu ryb dodatkowych, w tym gatunków drapieżnych.

Drugą wyraźną grupę tworzą gatunki związane przede wszystkim z akwakulturą intensywną, prowadzoną w obiektach przepływowych i rzadziej w systemach recyrkulacyjnych (RAS). Najważniejszym z nich jest pstrąg tęczowy, produkowany w 154 gospodarstwach. Pozostałe ryby łososiowate występują zdecydowanie rzadziej: palia (golec zwyczajny, pstrąg alpejski) była wykazywana przez 13 gospodarstw, pstrąg źródłany przez 10, a pstrąg potokowy przez 4; dodatkowo jedno gospodarstwo wykazało inne ryby łososiowate. Istotną grupą charakterystyczną dla bardziej intensywnych technologii produkcji są również jesiotry. Produkcję jesiota syberyjskiego prowadziły 74 gospodarstwa, jesiota rosyjskiego – 24, a pozostałych jesiotrów – 3. Sum afrykański, którego chów w Polsce związany jest przede wszystkim z ogrzewanymi systemami zamkniętymi, został wykazany przez 10 gospodarstw. Do gatunków produkowanych w niewielkiej liczbie wyspecjalizowanych obiektów należą także węgorz (4 gospodarstwa) i sieja (2).

Całkowita produkcja sprzedana polskiej akwakultury, wyrażona w masie sprzedanej produkcji ryb przeznaczonych do konsumpcji (tzw. handlówka), ikry przeznaczonej do konsumpcji oraz sprzedanej masie narybku różnych stadiów (materiał obsadowy, materiał zarybieniowy) wyniosła w 2025 r. około 51 tys. ton. Wartość sprzedaży polskiej akwakultury, obejmująca wartość produkcji sprzedanej ryb przeznaczonych do konsumpcji, ikry przeznaczonej do konsumpcji oraz narybku wyniosła 1,05 mld złotych. Wartość ta nie obejmuje wartości sprzedanej ikry zaoczkowanej oraz mniejszych stadiów rozwojowych narybku (np. wylęg).

Przedstawione powyżej dane dobrze ilustrują podstawową cechę struktury polskiej akwakultury: bardzo dużą liczbę gospodarstw stawowych, skupionych wokół produkcji karpia i gatunków dodatkowych, oraz znacznie mniejszą, ale bardziej wyspecjalizowaną grupę gospodarstw intensywnych, wśród których kluczowe znaczenie ma produkcja pstrąga tęczowego, a w dalszej kolejności jesiotrów i suma afrykańskiego.

Tabela 1. Produkcja sprzedana polskiej akwakultury w 2025 r.

Nazwa gatunku	Produkcja sprzedana (ton)	Udział produkcji sprzedanej w produkcji ogółem danego roku	Cena średnioważona (zł/kg)
Pstrąg tęczowy	21 502	97%	17,76
Karp	18 649	92%	15,80
Jesiotry	1 236	89%	27,79
Palia (pstrąg alpejski)	890	109%*	20,45
Amur biały	618	81%	16,93
Sum afrykański	481	94%	16,42
Tołpyga pstra	481	88%	8,15
Pstrąg źródłany	287	78%	28,95
Szczupak	280	83%	32,58
Lin	190	75%	24,69
Karasie	147	80%	12,32
Sum europejski	132	76%	32,52

* ponad 100% udział produkcji sprzedanej w produkcji danego roku oznacza zmniejszenie stanu biomasy

3.2. Produkcja ryb i ikry przeznaczonych do konsumpcji

W 2025 r. produkcja ryb w polskiej akwakulturze przeznaczona na konsumpcję wyniosła około 48,0 tys. ton. Zdecydowanie największe znaczenie miały dwa gatunki: pstrąg tęczowy – 22,11 tys. ton oraz karp – 20,27 tys. ton. Łącznie odpowiadały one za ponad 88% całkowitego wolumenu produkcji ryb akwakultury. Pozostała część produkcji była znacznie bardziej zróżnicowana gatunkowo i obejmowała zarówno typowe gatunki dodatkowe gospodarki stawowej, jak i ryby produkowane w wyspecjalizowanych systemach intensywnych.

Pod względem technologicznym polska akwakultura dzieli się na dwa główne segmenty. Produkcja podstawowych gatunków związanych z akwakulturą stawową wyniosła około 22,65 tys. ton, czyli ponad 47% całkowitego wolumenu. Z kolei produkcja pstrąga tęczowego, jesiotrów i suma afrykańskiego, reprezentujących zasadniczą część akwakultury intensywnej, osiągnęła około 24,04 tys. ton, czyli nieco ponad 50% produkcji. Pozostałe gatunki, których nie można jednoznacznie przyporządkować do jednej z tych grup, stanowiły około 1,29 tys. ton.

Po uwzględnieniu zarówno ryb, jak i ikry przeznaczonych do konsumpcji, całkowita wartość polskiej produkcji akwakultury, z przeznaczeniem na konsumpcję, w 2025 r. wyniosła około 876,1 mln zł. Same ryby odpowiadały za około 778,5 mln zł, natomiast wartość ikry konsumpcyjnej wyniosła około 97,6 mln zł, czyli ponad 10% całkowitej wartości produkcji żywnościowej sektora.

3.2.1 Produkcja ryb konsumpcyjnych w akwakulturze niskointensywnej

Podstawą polskiej akwakultury stawowej pozostaje karp, którego produkcja w 2025 r. wyniosła około 20,27 tys. ton. Odpowiadał on za niemal 90% wolumenu podstawowych gatunków stawowych i ponad 42% całej produkcji ryb akwakultury w Polsce. Produkcja karpia jest stosunkowo szeroko rozproszona przestrzennie, choć można wskazać kilka województw o szczególnie dużym znaczeniu. Największym producentem było województwo lubelskie – około 3,44 tys. ton, czyli niemal 17% krajowej produkcji karpia. Kolejne miejsca zajmowały śląskie – około 2,25 tys. ton, wielkopolskie – 2,02 tys. ton, mazowieckie – 1,82 tys. ton oraz opolskie – 1,75 tys. ton. Geografia chowu karpia odzwierciedla zatem rozmieszczenie dużych, historycznie ukształtowanych kompleksów stawowych, szczególnie w Polsce południowej, południowo-wschodniej oraz środkowo-zachodniej.

Drugim pod względem wolumenu gatunkiem stawowym był amur biały, którego produkcja wyniosła około 758 ton. Największe znaczenie miały województwa śląskie i lubelskie, produkujące odpowiednio około 137 i 131 ton, a następnie mazowieckie – około 90 ton. Łączna produkcja tołpyg osiągnęła około 616 ton, z czego zdecydowaną większość stanowiła tołpyga pstra – około 541 ton, natomiast produkcja tołpygi białej wyniosła około 75 ton. W przypadku tołpygi pstrej wyróżniały się województwa lubelskie – około 128 ton, śląskie – 97 ton i małopolskie – 80 ton.

Wśród pozostałych gatunków stawowych produkcja szczupaka wyniosła około 335 ton, lina – 251 ton, karasi – 181 ton, suma europejskiego – 173 tony, a sandacza – około 66 ton. Ich produkcja jest zazwyczaj związana z gospodarstwami karpowymi i stanowi uzupełnienie podstawowej produkcji. Widoczne są jednak pewne specjalizacje regionalne. Wielkopolska odpowiadała za ponad 31% produkcji suma europejskiego oraz blisko połowę krajowej produkcji sandacza. Produkcja szczupaka była natomiast znacznie bardziej równomiernie rozłożona – największe ilości pochodziły z województw lubelskiego, wielkopolskiego i śląskiego, w każdym z nich po około 41–42 tony.

W ujęciu całej grupy podstawowych gatunków stawowych największym regionem produkcyjnym pozostawało województwo lubelskie – około 3,82 tys. ton, odpowiadające za 16,9% produkcji tej grupy. Kolejne miejsca zajmowały śląskie – około 2,63 tys. ton, wielkopolskie – 2,27 tys. ton oraz mazowieckie – 2,05 tys. ton. Istotne znaczenie miały również województwa podkarpackie i opolskie. Akwakultura stawowa ma zatem stosunkowo rozproszony geograficznie charakter, pomimo istnienia kilku wyraźnych regionów koncentracji produkcji.

3.2.2. Produkcja ryb konsumpcyjnych w akwakulturze intensywnej

Najważniejszym gatunkiem intensywnej akwakultury jest pstrąg tęczowy, którego produkcja w 2025 r. wyniosła około 22,11 tys. ton. Tym samym pstrąg był największym pojedynczym segmentem polskiej akwakultury pod względem wolumenu produkcji, wyprzedzając karpia. Jednocześnie jego produkcja charakteryzuje się wyjątkowo silną koncentracją przestrzenną. W województwie pomorskim wyprodukowano około 11,82 tys. ton, czyli 53,5% krajowego wolumenu, natomiast w zachodniopomorskim – około 7,11 tys. ton, czyli dalsze 32,2%. Łącznie oba województwa odpowiadały za około 86% produkcji pstrąga tęczowego w Polsce. Mniejsze, ale nadal istotne ośrodki znajdowały się w województwach warmińsko-mazurskim – około 846 ton, małopolskim – 803 tony oraz śląskim – 727 ton.

Drugą pod względem wielkości grupą intensywnej akwakultury były jesiotry, których produkcja osiągnęła około 1,41 tys. ton. Największym producentem była zdecydowanie Wielkopolska – około 563 tony, czyli blisko 40% krajowej produkcji, przed województwami pomorskim – 233 tony, warmińsko-mazurskim – 167 ton i zachodniopomorskim – 135 ton. Produkcja jesiotrów ma więc, podobnie jak pstrąga, wyraźnie silniejszą pozycję w północnej i zachodniej części kraju, choć jest przestrzennie mniej skoncentrowana.

Produkcja suma afrykańskiego wyniosła około 510 ton. Największym producentem była Wielkopolska – około 195 ton, a następnie Małopolska – około 165 ton. Oba województwa odpowiadały łącznie za ponad 70% krajowego wolumenu. Znaczące ilości produkowano również w województwach warmińsko-mazurskim – około 75 ton i pomorskim – około 50 ton. Rozmieszczenie produkcji suma afrykańskiego jest więc przede wszystkim rezultatem lokalizacji stosunkowo niewielkiej liczby wyspecjalizowanych obiektów wykorzystujących intensywne technologie chowu.

W skali całego segmentu intensywnego szczególnie silna jest pozycja północnej Polski. Na województwo pomorskie przypadało około 12,11 tys. ton, czyli ponad połowa produkcji analizowanych gatunków intensywnych, natomiast na zachodniopomorskie – około 7,26 tys. ton, czyli dalsze 30%. Łącznie oba regiony odpowiadały za około 81% produkcji pstrąga tęczowego, jesiotrów i suma afrykańskiego.

3.2.2.1 Struktura gospodarstw pstrągowych i produkcji pstrągów

W 2025 r. jakkolwiek produkcję pstrąga tęczowego zaraportowały 172 podmioty. 32 podmioty prowadziły produkcję pstrąga potokowego, 20 podmiotów prowadziło produkcję palii, a 18 podmiotów zadeklarowało produkcję pstrąga źródłanego.

Dla 131 podmiotów produkcja ryb łososiowatych była działalnością dominującą (ponad 50% udział w produkcji ryb ogółem). Podmioty dla których produkcja pstrągów była

działalnością dominującą zlokalizowane były głównie w województwach: pomorskim (46), zachodniopomorskim (36) i małopolskim (17).

Ogółem w 2025 r. wyprodukowano 23,3 tys. ton pstrągów przeznaczonych do konsumpcji oraz 4352 kg ikry ryb łososiowatych przeznaczonej do konsumpcji. W strukturze wyprodukowanych pstrągów dominował pstrąg tęczowy (22,1 tys. ton), produkowano również palię (0,8 tys. ton), pstrąga źródlanego (0,4 tys. ton) i pstrąga potokowego (4 tony).

Produkcja sprzedana pstrągów, przeznaczonych na konsumpcję wyniosła 22,7 tys. ton. Udział produkcji sprzedanej w produkcji ogółem wyniósł 97%.

W strukturze geograficznej produkcji pstrągów zdecydowanie największe znaczenie miały województwa: pomorskie (11,9 tys. ton), zachodniopomorskie (7,8 tys. ton), śląskie (0,8 tys. ton), warmińsko-mazurskie (0,7 tys. ton) i małopolskie (0,7 tys. ton).

Średnioważone ceny pstrąga ukształtowały się na poziomie 17,76 zł/kg, co należy jednoznacznie ocenić jako niską cenę co świadczyć może o silnej presji cenowej, mogącej pogarszać rentowność w zależności od kosztów produkcji. Na tak niską cenę sprzedaży wpłynęła cena sprzedaży hurtowej pstrągów tęczowych w woj. pomorskim i zachodniopomorskim (17,03 zł/kg). W pozostałych województwach, w których większy odsetek sprzedaży przypada na sprzedaż w krótkich łańcuchach dostaw, w tym sprzedaż bezpośrednią, średnioważona cena pstrągów wynosiła 22,58 zł/kg.

W ciągu 2025 r. łączna biomasa pstrągów pozostawała praktycznie stabilna, zwiększając się jedynie z około 8,31 tys. ton na początku roku do 8,33 tys. ton na jego koniec, tj. o około 0,3%. Jednocześnie nastąpiła jednak zmiana struktury biomasy w kierunku ryb większych. Biomasa najmniejszych pstrągów, o masie do 10 g, zmniejszyła się z około 469 do 272 ton, czyli aż o 42%, natomiast w grupie 10–100 g spadła z około 1,47 tys. do 1,35 tys. ton (o 7,9%). Równocześnie biomasa ryb o masie powyżej 100 g wzrosła z około 6,37 tys. do 6,71 tys. ton, czyli o 5,3%. W efekcie udział największej kategorii wagowej w całkowitej biomasy zwiększył się z około 76,7% do 80,5%. Dane wskazują zatem nie na wzrost ogólnej biomasy utrzymywanej w gospodarstwach, lecz przede wszystkim na przesunięcie jej struktury w stronę starszych i większych ryb, przy jednoczesnym wyraźnym ograniczeniu biomasy najmłodszych stadiów produkcyjnych, co sugeruje ograniczanie obsad i spadkową tendencję w produkcji w 2026 r.

3.2.3. Produkcja ikry przeznaczonej do konsumpcji

Odrębną częścią produkcji polskiej akwakultury jest ikra przeznaczona do konsumpcji. W przypadku ryb związanych z akwakulturą stawową jej produkcja wyniosła około 7,46 tony, z czego około 6,99 tony stanowiła ikra karpia, a około 0,48 tony – ikra sandacza.

Zdecydowanie największy wolumen i największą wartość miała ikra jesiotrowa. Jej produkcja wyniosła około 58,18 tony i była skoncentrowana w województwie wielkopolskim. Przy cenie około 1 663 zł/kg wartość tej produkcji osiągnęła około 96,8 mln zł. Jest to niezwykle istotna pozycja w strukturze ekonomicznej polskiej akwakultury – wartość ikry jesiotrowej była niemal trzykrotnie większa niż wartość sprzedanych ryb jesiotrowatych.

W przypadku pstrągów i pozostałych ryb łososiowatych, w tym palii, produkcja ikry przeznaczonej do konsumpcji wyniosła łącznie około 4,44 tony. Około 3,49 tony przypadało na pstrąga tęczowego, przede wszystkim na województwa pomorskie i zachodniopomorskie, natomiast około 0,95 tony stanowiła ikra pozostałych łososiowatych wykazana w województwie zachodniopomorskim. Łączna wartość tej produkcji wyniosła około 0,77 mln zł.

4. Dyskusja wyników i wnioski

Wyniki za 2025 r. wskazują przede wszystkim na zmianę struktury gatunkowej polskiej akwakultury przy względnej stabilizacji jej ogólnej skali. Produkcja ryb przeznaczonych do konsumpcji wyniosła około 48,0 tys. ton, wobec 49,35 tys. ton w 2024 r., co oznacza spadek o około 2,7%. Jednocześnie nastąpiło ponowne przesunięcie relacji pomiędzy dwoma podstawowymi gatunkami. Produkcja karpia zmniejszyła się z 21,49 do 20,27 tys. ton (o około 5,7%), natomiast produkcja pstrąga tęczowego wzrosła z 20,67 do 22,11 tys. ton (o około 7%). Tym samym pstrąg tęczowy ponownie stał się największym pod względem wolumenu gatunkiem polskiej akwakultury. Jeszcze wyraźniej zmiana widoczna jest w sprzedaży: w 2024 r. sprzedaż karpia (19,53 tys. ton) przewyższała sprzedaż pstrąga tęczowego (18,64 tys. ton), podczas gdy w 2025 r. sprzedano odpowiednio około 18,65 i 21,50 tys. ton tych ryb.

Wzrost produkcji pstrąga nie powinien być jednak utożsamiany z poprawą sytuacji ekonomicznej tego segmentu. Średnioważona cena pstrąga tęczowego obniżyła się z 19,19 zł/kg w 2024 r. do 17,76 zł/kg w 2025 r., tj. o około 7,5%. Szczególnie niskie ceny występowały w dominujących produkcyjnie województwach pomorskim i zachodniopomorskim (około 17,03 zł/kg), podczas gdy poza nimi średnia wynosiła 22,58 zł/kg, co może wskazywać na znaczenie struktury kanałów sprzedaży – przede wszystkim większego udziału sprzedaży hurtowej w głównych regionach produkcyjnych. Dodatkowym sygnałem ostrzegawczym jest struktura biomasy na koniec 2025 r. Przy praktycznie niezmiennionej łącznej biomasy pstrągów wyraźnie zmniejszyła się biomasa najmniejszych ryb: o 42% w kategorii do 10 g i o 7,9% w kategorii 10–100 g, podczas gdy wzrosła

biomasa ryb powyżej 100 g. Może to oznaczać ograniczenie nowych obsad i wskazywać na możliwość osłabienia produkcji w 2026 r.

Istotną zmianę w strukturze ekonomicznej sektora stanowi dalszy rozwój produkcji ikry konsumpcyjnej, przede wszystkim kawioru. Zeszlatoroczne dane nt. wolumenu produkcji (Trella , 2025) wskazywały, że w 2024 r. produkcja ikry wyniosła około 49,5 tony, a jej wartość sprzedaży przekraczała 68 mln zł. W 2025 r. łączna produkcja analizowanych rodzajów ikry osiągnęła już około 70 ton, z czego 58,2 tony stanowiła ikra jesiotrowa, której wartość wyniosła około 96,8 mln zł. W efekcie, mimo że wartość sprzedanych ryb konsumpcyjnych – około 778,5 mln zł – pozostała praktycznie na poziomie 2024 r., kiedy Trella (2025) szacował ją na 782 mln zł, łączna wartość ryb i ikry konsumpcyjnej osiągnęła w 2025 r. około 876,1 mln zł. Oznacza to, że wzrost wartości sektora nie wynikał ze wzrostu cen lub wolumenu podstawowych ryb konsumpcyjnych, lecz w coraz większym stopniu z rozwoju produkcji kawioru.

Podsumowując, wyniki za 2025 r. wskazują na stabilizację całkowitego wolumenu polskiej akwakultury przy pewnych zmianach strukturalnych wewnątrz sektora. Najważniejszymi tendencjami są: ponowne zwiększenie znaczenia pstrąga tęczowego kosztem karpia w strukturze ilościowej, jednoczesna silna presja cenowa w produkcji pstrągowej, utrzymujący się spadek produkcji karpia oraz bardzo dynamiczny rozwój wysokowartościowego segmentu ikry jesiotrowej. Szczególnie istotny z punktu widzenia kolejnego sezonu jest spadek biomasy najmłodszych stadiów pstrągów, który może zapowiadać osłabienie produkcji w 2026 r. Z kolei rosnące znaczenie kawioru pokazuje, że jednym z kierunków zwiększania wartości krajowej akwakultury może być specjalizacja i rozwój produktów o wysokiej wartości dodanej, pozycjonowanie produktu a nie wyłączenie zwiększanie wolumenu produkcji podstawowych gatunków.

5. Literatura

- FEAP. (2025). Federation of European Aquaculture Producers. Annual report 2025 (Version 5.0). FEAP. <https://feap.info/feap-annual-reports/>
- FEAP. (2026). Federation of European Aquaculture Producers. European aquaculture production report 2018–2024 (Version 2.0). FEAP. <https://feap.info/data-home/data/>
- Trella, M. (2025). Obraz polskiej akwakultury w 2024 roku na podstawie badań statystycznych przy zastosowaniu kwestionariusza RRW-22. W R. Kowalski (red.), Materiały szkoleniowe: 50. Szkolenie – Konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych (s. 24–34). <https://sprl.pl/konferencje/konferencja-2025/>

Serwis Statystyczny – wielkość i struktura produkcji ryb łososiowatych w ujęciu ankiety SPRŁ¹

Krzysztof Hryszko

Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej
Państwowy Instytut Badawczy
00-002 Warszawa, Świętokrzyska 20, hryszko@ierigz.waw.pl

Oddajemy w Państwa ręce kolejne opracowanie stanowiące prezentację wyników końcowych analizy danych otrzymanych w ramach badania ankietowego producentów ryb łososiowatych za 2025 rok. W tym roku, podobnie jak w poprzednim, spytaliśmy także o wskazanie, jakie według Państwa są najistotniejsze problemy rynkowe związane ze sprzedażą pstrąga z własnej hodowli oraz ocenę postrzegania pstrągów przez konsumentów. Syntetyczne przedstawienie wyników znajduje się w ostatniej części opracowania.

Po raz kolejny odnotowaliśmy spadek zwrotu ankiet do poziomu 35 wobec 40 użytych rok wcześniej. Ankiety skierowaliśmy do mniejszej liczby producentów (85) zajmujących się chowem i hodowlą ryb łososiowatych (89 rok wcześniej). Dziękujemy za kompletne wypełnienie ankiet wraz z danymi szczegółowymi. Łączny wolumen produkcji w badanych podmiotach wyniósł 7,78 tys. t, a sprzedaż 7,65 tys. ton. Niestety po raz pierwszy od kilkunastu lat nie udało się uzyskać danych odnośnie sprzedaży pasz realizowanych przez głównych dystrybutorów w Polsce. Uniemożliwia to estymację danych produkcyjnych zawartych w ankietach na cały sektor, a jedynym źródłem informacji o wielkości produkcji ryb łososiowatych w kraju są wyniki uzyskane w ramach Programu Badań Statystycznych Statystyki Publicznej (kwestionariusz RRW-22). W ramach tego badania produkcję pstrąga tęczowego wykazało aż 154 gospodarstwa, a łączna produkcja ryb łososiowatych wyniosła 23,31 tys. t (udział produkcji ankietowanych podmiotów stanowił zatem 33,4% wyhodowanych ryb ogółem). W tym miejscu chcielibyśmy podziękować tym z Państwa, którzy zdecydowali się kontynuować podjętą inicjatywę Serwisu Statystycznego. Natomiast niezdecydowanych po raz kolejny zachęcamy do wypełnienia ankiety w przyszłym roku, ponieważ przy wyrażeniu niższej ściągalności wpływa to nie tylko na jakość prezentowanych wyników, ale także na właściwe szacunki dotyczące całej branży.

1 Opracowanie i zbiór ankiet: Anna Swacha-Polańska, Marta Walkusz – Stowarzyszenie Producentów Ryb Łososiowatych, 84-300 Lębork, Al. Wolności 30/105, biuro@sprl.pl.

Tabela 1. Ściągalność ankiet Serwisu Statystycznego

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ankiety wysłane	108	109	118	107	107	107	107	107	89	85
Liczba odpowiedzi	55	45	68	62	53	54	55	45	40	35
Ściągalność ankiet	51%	41%	58%	58%	50%	50%	51%	42%	45%	41%

1. Warunki klimatyczne i hydrologiczne produkcji ryb w 2025 roku

Warunki hydrometeorologiczne w 2025 r. miały istotny wpływ na możliwości prowadzenia chowu ryb w Polsce. Rok ten charakteryzował się stosunkowo wysoką temperaturą powietrza oraz niedoborem opadów. Według danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej średnia roczna temperatura powietrza w Polsce wyniosła 9,5°C, czyli o 0,8°C więcej od średniej z okresu 1991–2020. Jednocześnie roczna suma opadów wyniosła 546 mm, co stanowiło 89,3% normy wieloletniej. Rok 2025 został więc sklasyfikowany jako suchy. Szczególnie wyraźny deficyt opadów występował od lutego do lipca, natomiast poprawa sytuacji opadowej nastąpiła jesienią, czyli pod koniec sezonu produkcyjnego.

Z punktu widzenia chowu karpia warunki termiczne w 2025 r. można uznać za zasadniczo korzystne. Karp jest gatunkiem ciepłolubnym, a jego intensywny wzrost i żerowanie zachodzą przy stosunkowo wysokiej temperaturze wody. Przyjmuje się, że optymalny zakres temperatury dla karpia wynosi ok. 18–28°C, natomiast w przypadku inkubacji ikry wymagania są znacznie węższe i wynoszą ok. 18–22°C. Ciepły przebieg roku sprzyjał zatem wydłużeniu okresu aktywnego żerowania oraz produkcji naturalnego pokarmu w stawach karpowych.

Jednocześnie wysokie temperatury w połączeniu z niedoborem opadów stanowiły istotne zagrożenie dla gospodarki wodnej stawów. Zmniejszenie dopływu wody do stawów, zwiększone parowanie wody oraz obniżanie poziomu wody w stawach mogły prowadzić do pogorszenia warunków tlenowych. Jest to szczególnie ważne w stawach karpowych, ponieważ przy wysokiej temperaturze rozpuszczalność tlenu w wodzie spada, podczas gdy zapotrzebowanie ryb na tlen rośnie. W badaniach warunków tlenowych stawów karpowych za dolną granicę optimum dla karpia przyjmuje się ok. 5 mg O₂/l, a spadek stężenia do 2-3 mg O₂/l może powodować niepokój ryb i objawy niedotlenienia. Dlatego w okresach gorących i bezdeszczowych szczególnego znaczenia nabierało kontrolowanie poziomu wody, temperatury i zawartości tlenu oraz stosowanie napowietrzania w razie potrzeby.

Jeszcze większe znaczenie warunki hydrometeorologiczne miały dla chowu pstrąga tęczowego. Gatunek ten wymaga wody o niższej termice niż karp, o wysokiej zawartości tlenu i odpowiedniej jakości. Dla wód przeznaczonych do hodowli pstrąga wskazuje się temperaturę optymalną na poziomie około 14–18°C, zawartość tlenu po-

wyżej 10 mg/l i ponad 80% nasycenia oraz pH w zakresie 6,5-8,2. Wysoka temperatura powietrza w 2025 r. niekorzystnie wpływała na temperaturę wody dopływającej do gospodarstw pstrągowych, szczególnie w okresach letnich i powodowała perturbacje hodowlane w obiektach przepływowych. Systemy recyrkulacyjne chowu ryb (RAS) funkcjonują w stabilnych, kontrolowanych warunkach termicznych, tlenowych i jakości wody.

Problemem dla hodowli pstrąga był również niski przepływ wód. W 2025 r. występowała silna susza hydrologiczna. W sezonie letnim przepływy poniżej średniego niskiego przepływu z wielolecia (SNQ) obserwowano jednocześnie na ponad 300 stacjach hydrologicznych, a 6 lipca aż na 314 stacjach. We wrześniu 45% stacji hydrologicznych notowało stany niskie. Szczególnie trudna sytuacja wystąpiła na Wiśle – 2 września w Warszawie odnotowano stan wody zaledwie 4 cm, będący najniższym w historii pomiarów.

Dla gospodarstw pstrągowych oznaczało to potencjalne ograniczenie ilości dostępnej wody oraz większe trudności w utrzymaniu jej odpowiedniej temperatury i natlenienia. W przypadku pstrąga nawet niewielki wzrost temperatury wody, połączony ze spadkiem zawartości tlenu, może powodować stres, ograniczenie żerowania i pogorszenie kondycji ryb.

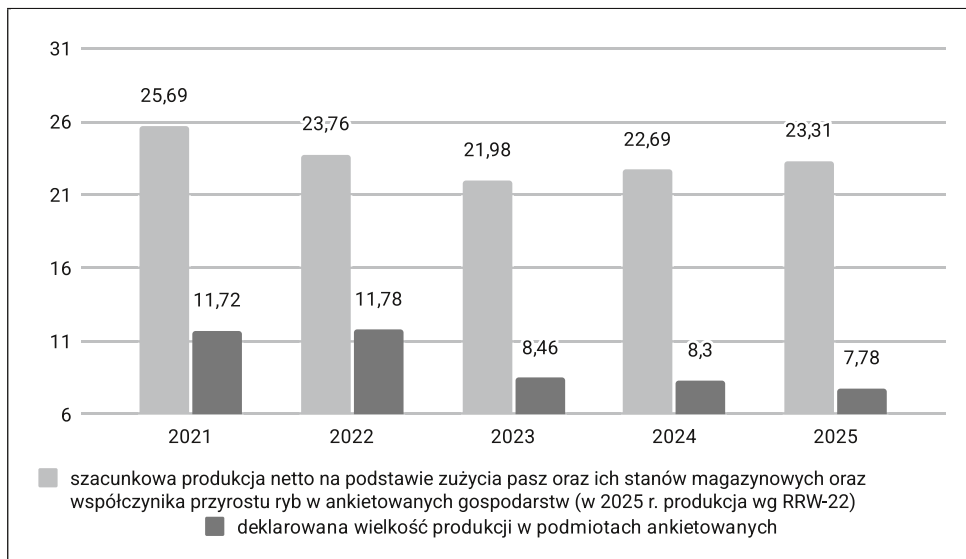
Należy również zwrócić uwagę na nierównomierny rozkład opadów. Chociaż roczna suma opadów była niższa od normy, występowały okresy intensywnych, lokalnych opadów i burz. Takie zjawiska mogą powodować gwałtowne zmiany poziomu i jakości wody, zwiększenie ilości zawiesiny oraz dopływ zanieczyszczeń do stawów i cieków. Jesienią nastąpiła poprawa sytuacji opadowej – październik był bardzo wilgotny, a listopad wilgotny – jednak nie zlikwidowało to w pełni skutków wcześniejszego deficytu wody.

2. Wielkość produkcji i sprzedaży ryb łososiowatych w 2025 r.

Według danych zebranych w wyniku przeprowadzonej ankiety średnia wartość współczynnika przyrostowego w produkcji ryb łososiowatych netto w 2025 r. wyniosła 1,17 (wobec: 1,15 w 2024 r., 1,13 w 2023 r., 1,11 w 2022 r., 1,12 w 2021 r., 1,09 w 2020 r., 1,08 w 2019 r., 1,10 w 2018 r., 1,13 w 2017 r. i 1,15 w 2016 r.). Na dzień 1 stycznia 2025 roku suma stanów magazynowych pasz wynosiła wśród badanych podmiotów 585 ton, a w końcu roku stan zapasów zwiększył się do 678 ton. W ciągu roku wielkość biomasy ryb łososiowatych obniżyła się w ankietowanych gospodarstwach z 3,73 do 3,57 tys. ton.

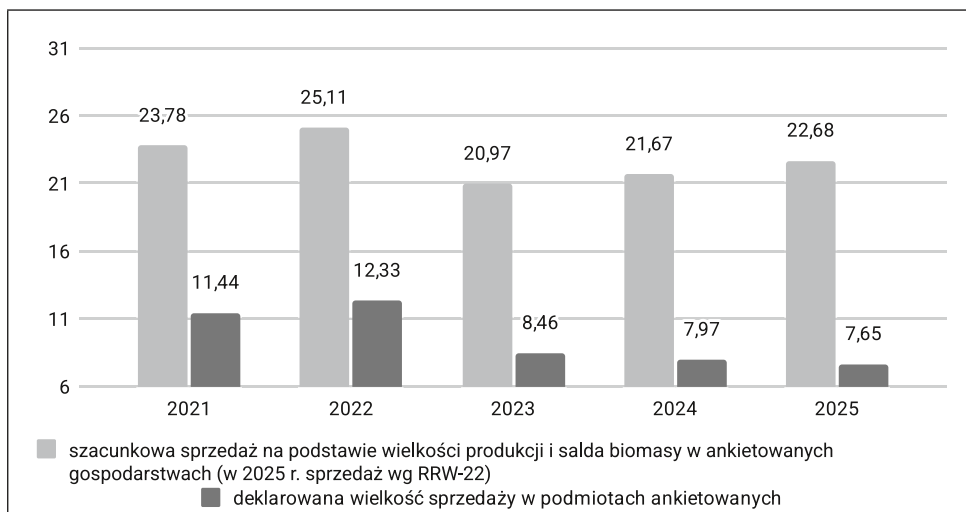
Deklarowana wielkość produkcji ryb łososiowatych w ankietowanych gospodarstwach wyniosła w 2025 r. 7,78 tys. t i była o 6,2% mniejsza niż rok wcześniej, natomiast łączna krajowa produkcja (wg badania RRW-22) zwiększyła się o 4,6% do 23,31 tys. ton. Czynniki wpływającymi na zwiększenie produkcji były: wzrost popytu krajowego (o 12,1%) i eksportowego (o 8,0%). W przeciwnym kierunku oddziaływały niskie ceny zbytu (wg RRW-22 spadek wyniósł 7,5%), czemu towarzyszył niewielki wzrost cen de-

talicznych (wg GUS o 3,1%) oraz 7,3% spadek cen uzyskiwanych w eksporcie pstrągów wędzonych. Średnie ceny transakcyjne notowane w imporcie nie zmieniły się w 2025 r., ale w przypadku świeżych pstrągów tęczowych obniżyły się jednak o 6,1%.



Rysunek 1. Produkcja ryb łososiowatych w latach 2021-2025 (tys. t)

Wielkość sprzedaży ryb łososiowatych w 2025 r. zrealizowana przez ankietowane podmioty wyniosła 7,65 tys. t, co stanowiło 98,3% produkcji wytworzonej. W skali całego kraju masa sprzedanych ryb łososiowatych zwiększyła się o 13,4% i wyniosła 22,68 tys. t (97,3% wolumenu wyprodukowanych ryb).



Rysunek 2. Sprzedaż ryb łososiowatych w latach 2021-2025 (tys. ton)

3. Symulacja produkcji w 2026 roku

Współczynnik krotności produkcji względem biomasy początkowej wyniósł w 2025 r. 2,08 (wobec: 2,43 w 2024 r., 2,47 w 2023 r., 2,34 w 2022 r., 2,84 w 2021 r., 2,56 w 2020 r., 2,43 w 2019 r., 2,53 w 2018 r., 2,27 w 2017 r. i 1,92 w 2016 r.) – był wykorzystywany do szacowania potencjalnej wielkości produkcji w relacji do biomasy startowej. Szacowanie potencjału produkcji w kolejnym roku oparto na wieloletniej średniej współczynnika krotności (średnia 10-letnia), która wyniosła 2,39. Biomasa na koniec 2025 r. spadła o 4,3%. Do symulacji na 2026 r. przyjęto założenie, że przy niekorzystnych warunkach rynkowych (głównie rosnącym imporcie) biomasa pozostająca w gospodarstwach na koniec roku może zwiększyć się o ok. 5%.

- produkcja w 2025 roku – 23,31 tys. t
- współczynnik krotności produkcji względem biomasy – 2,39
- estymowana wielkość biomasy na 1 stycznia 2026 roku – 10,68 tys. t
- zakładany 5% wzrost wielkości biomasy w 2026 roku
- szacowana wielkość biomasy na 31 grudnia 2026 roku – 11,21 tys. t
- szacowana wielkość produkcji w 2026 roku – 22,04 tys. t

Oszacowana na 22,04 tys. t wielkość produkcji w 2026 r. zakłada przyjęcie średniego, wieloletniego wskaźnika krotności produkcji względem biomasy, który obrazuje relację między wielkością biomasy początkowej a uzyskiwaną produkcją. Taki pomysł na estymację możliwej w kolejnym roku produkcji opiera się na założeniu, że produkcja roczna jest wypadkową biomasy na początku i końcu analizowanego okresu, jakości sezonu (pogoda, temperatury, występowanie chorób) oraz decyzji hodowców. W 2025 r. zmniejszenie biomasy wystąpiło w warunkach zwiększonej presji importowej. Import w przeliczeniu na masę żywą ryb wzrósł z 16,4 do 19,4 tys. ton i był tylko nieznacznie mniejszy od rekordowego poziomu odnotowanego w 2023 roku (19,6 tys. t). Wyższe niż w 2024 r. były średnie ceny transakcyjne – mrożonych pstrągów sprowadzanych z Turcji (o 21,9% do 17,80 PLN/kg) i z Danii (o 3,7% do 22,35 PLN/kg) oraz świeżych pstrągów w imporcie z Danii (o 1,7% do 19,33 PLN/kg). Bardzo niskie ceny notowane były natomiast w imporcie świeżych pstrągów z Włoch, które w 2025 r. obniżyły się jeszcze o 2,4% do zaledwie 14,63 PLN/kg. Utrzymujący się od wielu lat duży import i niskie ceny bardzo niekorzystnie wpływają na krajowych hodowców pstrągów i ograniczają możliwości rozwoju produkcji. Jeszcze trudniejsza sytuacja obserwowana była w pierwszych pięciu miesiącach 2026 r., kiedy to import zwiększył się o kolejne 21% do 10,5 tys. t przy ok. 5% wzroście cen transakcyjnych (nadal najniższe ceny notowano w przywozie z Włoch – 16,03 PLN/kg). Zgodnie z Rozporządzeniem Wykonawczym Komisji (UE) 2025/2118 z dnia 21 października 2025 r. ostateczne cło wyrównawcze na

przywóz niektórych pstrągów tęczowych pochodzących z Turcji w następstwie wyroku Sądu Unii Europejskiej w sprawie T-122/23 zostało ustalone w przedziale 2,8-4,4% (niższe stawki dotyczą wybranych producentów, a standardowa stawka to 4,4%). Ceny mrożonych pstrągów tureckich oscylują w 2026 r. na poziomie ok. 20 PLN/kg. Dodatkowo na wielkość produkcji w 2026 r. wpływają niesprzyjające warunki pogodowe (głównie okresowe bardzo wysokie temperatury).

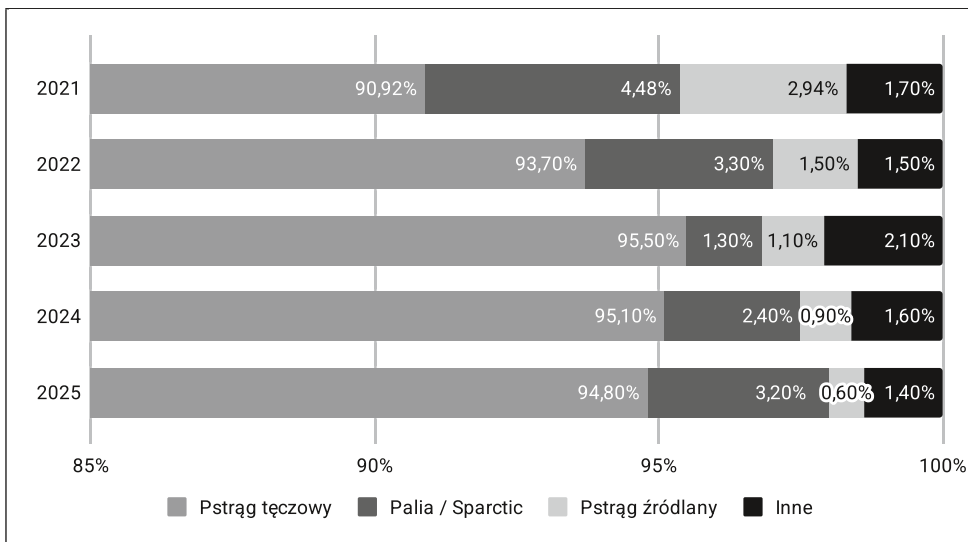
4. Struktura sprzedaży ryb łososiowatych

Dzięki zmianom w zakresie ankiet wprowadzonych od 2018 r., możemy przedstawić Państwu także strukturę produkcji i sprzedaży dla poszczególnych gatunków oraz frakcji pstrąga tęczowego. Zmiany te podyktowane były przede wszystkim potrzebami wynikającymi z wymogów sprawozdawczych SPRŁ jako uznanej organizacji producentów, jednak możliwość ich prezentacji poprawiła także jakość danych pod kątem ich analizy przez członków Stowarzyszenia. Znaczący spadek liczby wypełnionych ankiet w latach 2023-2025 powoduje jednak, że próba szacowania produkcji dla danych gatunków ogółem w Polsce może być obarczona dużym błędem.

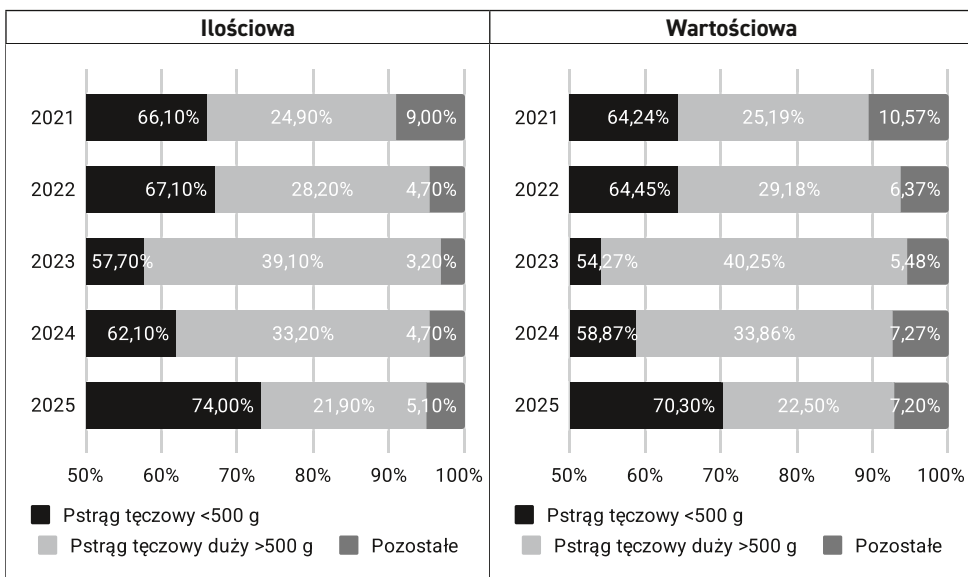
Wielkość produkcji pstrągów tęczowych wg danych RRW-22 wyniosła w 2025 r. ok. 22,11 tys. t i była o 7,0% większa niż rok wcześniej, natomiast w odniesieniu do ankietowanych gospodarstw masa wyhodowanych ryb zmniejszyła się o 6,4% i wyniosła 7,38 tys. ton. Udział pstrągów tęczowych w produkcji ryb łososiowatych w obu badaniach wynosi ok. 95% i kształtuje się w ostatnich latach na stabilnym poziomie. Poza pstrągami tęczowymi wyprodukowano w Polsce w 2025 r. ok. 1,20 tys. t innych gatunków ryb łososiowatych, wobec 1,60 tys. t rok wcześniej. Ograniczono przede wszystkim produkcję palii. Trendu tego nie zaobserwowano w ankietowanych gospodarstwach, gdzie wielkość produkcji nie uległa większym zmianom i wyniosła 407 ton.

Tabela 2. Produkcja ryb łososiowatych w ankietowanych gospodarstwach w podziale na gatunki (t)

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025	Zmiana 2025/2024
Pstrąg tęczowy	10 677	11 067	8 078	7 880	7 376	-6,4%
Pstrąg źródlany	345	177	96	75	50	-33,3%
Palia / Sparctic	530	389	113	200	248	+24,0%
Troć / pstrąg potokowy	14	25	20	16	15	-6,3%
Łosoś	4	4	1	9	4	-55,6%
Inne	149	118	154	117	90	-23,1%
RAZEM	11 719	11 780	8 463	8 298	7 783	-6,2%



Rysunek 3. Struktura produkcji ryb łososiowatych



Rysunek 4. Struktura sprzedaży ryb łososiowatych

Dynamika spadku sprzedaży ryb łososiowatych była niższa niż produkcji i wyniosła 4,1% (7,65 tys. t). Odnotowano także spadek cen zbytu poszczególnych gatunków i asortymentów ryb, w konsekwencji czego wartość sprzedaży ryb łososiowatych w ankietowanych gospodarstwach wyniosła w 2025 r. ok. 138 mln PLN, co stanowiło ok. 33,7% krajowej wartości sprzedaży tych ryb ogółem (w relacji do danych RRW-22, gdzie wartość ta została oszacowana na ok. 410 mln PLN). Wartość sprzedanych pstrągów tęczowych

wyniosła ok. 128 mln PLN (382 mln PLN ogółem w Polsce). Analiza danych ankietowych wskazuje na znaczący, dalszy, wzrost udziału w strukturze sprzedaży pstrągów tęczowych do 500 g masy względem sztuk dużych.

Tabela 3. Sprzedaż ryb łososiowatych ankietowanych gospodarstw w podziale na gatunki (tony)*

Wyszczególnienie		2021	2022	2023	2024	2025	Zmiana 2025/2024
Pstrąg tęczowy (do 500 g)	sprzedaż (tony)	7 511	8 202	5 044	4 926	5 662	14,9%
	wartość (tys. zł)	100 722	126 185	86 951	86 683	96 959	11,9%
	średnia cena	13,41	15,38	17,24	17,60	17,13	-2,7%
Pstrąg tęczowy (> 500 g)	sprzedaż (tony)	2 888	3 548	3 156	2 671	1 672	-37,4%
	wartość (tys. zł)	40 571	58 865	59 615	50 524	31 053	-38,5%
	średnia cena	14,05	16,59	18,89	18,92	18,57	-1,8%
Pstrąg źródłany	sprzedaż (tony)	163	98	46	44	8	-81,8%
	wartość (tys. zł)	2 492	1 846	1 183	949	228	-76,0%
	średnia cena	15,30	18,77	25,56	21,37	29,42	37,7%
Palia / Sparctic	sprzedaż (tony)	673	410	142	214	209	-2,3%
	wartość (tys. zł)	10 095	7 715	3 406	4 467	4 334	-3,0%
	średnia cena	15,00	18,82	23,97	20,88	20,74	-0,7%
Troć / pstrąg potokowy	sprzedaż (tony)	8	14	17	16	14	-12,5%
	wartość (tys. zł)	253	750	1 324	2 378	1 274	-46,4%
	średnia cena	31,32	54,85	77,66	149,42	87,68	-41,3%
Łosoś	sprzedaż (tony)	-	4	4	1	4	300,0%
	wartość (tys. zł)	-	1 082	981	201	1 705	748,3%
	średnia cena	-	245,82	241,73	213,83	394,65	84,6%
Inne	sprzedaż (tony)	197	59	46	100	78	-22,0%
	wartość (tys. zł)	3 759	1 462	1 217	2 860	2 337	-18,3%
	średnia cena	19,07	24,78	26,31	28,64	30,4	6,1%
RAZEM	sprzedaż (tony)	11 440	12 335	8 456	7 972	7 647	-4,1%
	wartość (tys. zł)	157 892	197 904	154 678	148 063	137 891	-6,9%
	średnia cena	13,80	16,04	18,29	18,57	18,03	-2,9%

* bez narybku i ikry

5. Dane strukturalne

W Serwisie Statystycznym znalazły się także pytania dotyczące struktury obiektów i ich parametrów. Poza celami informacyjnymi, intencją tychże pytań było badanie efektywności produkcji w stosunku do zasobów oraz zmian, jakie dokonywały się w czasie (wraz z kolejnymi latami badania).

Wykorzystanie recyrkulacji wód zadeklarowało w 2025 r. 17 podmiotów, a w ich obiektach zawracane było łącznie około 16 m³/s wobec 21 podmiotów i 16 m³/s w 2024 r., 25 podmiotów i 19 m³/s w 2023 r. i odpowiednio 26 podmiotów i 19 m³/s

w 2022 r., 24 podmioty i 22 m³/s w 2021 r., 21 podmiotów i 17 m³/s w 2020 r., 26 podmiotów i 9 m³/s w 2019 r., 23 podmioty i 12 m³/s w 2018 r., 14 podmiotów i 9 m³/s w 2017 r. oraz 19 podmiotów i 7 m³/s w 2016 roku.

Ankietowani dysponowali w 2025 r. 12,1 m³/s wody dyspozycyjnej – wobec: 24,8 m³/s w 2024 r., 16,6 m³/s w 2023 r., 33,1 m³/s w 2022 r., 33,9 m³/s w 2021 r., 23,2 m³/s w 2020 r., 35,7 m³/s w 2019 r., 36,6 m³/s w 2018 r., 30,0 m³/s w 2017 r. i 32,3 m³/s w 2016 roku.

Co dla całej populacji daje średnią produkcję 0,64 tony z 1 l/s (0,34 t z 1 l/s w 2024 r., 0,51 t z 1 l/s w 2023 r., 0,36 t z 1 l/s w 2022 r., 0,37 t z 1 l/s w 2021 r., 0,46 t z 1 l/s w 2020 r., 0,33 t z 1 l/s w 2019 r., 0,31 t z 1 l/s w 2018 r., 0,44 t z 1 l/s w 2017 r. i 0,55 t z 1 l/s w 2016 roku)

Stany niżowe wód w 2025 r. zadeklarowało 50% badanych - średnio 83% wody dyspozycyjnej (w roku 2024 – 55% i 83% wody dyspozycyjnej i odpowiednio 53 i 76% w 2023 r., 45 i 72% w 2022 r., 44 i 72% w 2021 r., 51 i 74% w 2020 r., 57 i 76% w 2019 r., 38 i 61% w 2018 r. i 33 i 90% w 2017 roku. W 2016 r. stany niżowe zadeklarowało 53% ankietowanych – średnio 77% wody dyspozycyjnej.

Ilość obiektów – 35 ankietowanych podmiotów prowadziło działalność w 60 obiektach (w 2024 r. 40 podmiotów / 66 obiektów, w 2023 r. 42 podmioty / 71 obiektów, w 2022 r. 55 podmiotów / 94 obiekty, w 2021 r. 54 podmiotów / 93 obiekty; w 2020 r. 53 podmiotów / 96 obiektów, w 2019 r. 62 podmiotów / 131 obiektów, w 2018 r. 68 podmiotów / 125 obiektów, w 2017 r. 45 podmiotów / 75 obiekty i w 2016 r. 55 podmiotów prowadziło działalność na 78 obiektach.

Tabela 4. Liczebność podmiotów/obiektów wg typu produkcji

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
obiekty tuczowo-narybkowe:										
l. podmiotów	40	34	50	40	31	33	32	29	24	20
l. obiektów	56	47	70	59	48	48	45	37	28	21
wylęgarnie z podchowalniaми:										
l. podmiotów	18	11	21	19	15	13	13	9	8	8
l. obiektów	22	14	28	23	17	16	17	13	8	12
obiekty kompleksowe:										
l. podmiotów	20	12	24	28	27	23	25	19	23	19
l. obiektów	23	14	27	49	31	27	32	21	30	27

W 2025 r. badane podmioty gospodarowały na powierzchni ok. 29,8 ha oraz dysponowały urządzeniami (stawami, basenami i innymi urządzeniami) do chowu ryb o łącznej kubaturze 170,2 tys. m³. Zmiany powierzchni i objętości zachodzące na przestrzeni lat przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 5. Powierzchnia gospodarstw i kubatura urządzeń

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
powierzchnia (ha)									
26,7	19,7	43,84	43,06	52,56	44,23	39,12	37,55	23,84	29,75
kubatura (tys. m³)									
231,7	197,3	306,4	277,2	180,6	256,0	238,2	189,5	221,1	170,2

Szacowana wydajność produkcji w gospodarstwach ogółem ukształtowała się w 2025 r. na poziomie 262 ton z ha i 46 kg z 1 m³

Tabela 6. Wydajność produkcji w gospodarstwach

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ton z 1 ha									
143	224	259	271	205	287	305	225	353	262
kg z 1 m³									
25	33	37	42	56	50	50	45	38	46

W 2025 r. podmioty deklarujące działalność w zakresie produkcji narybku na węłęgarniach (24 podmiotów) wyprodukowały go 32,6 mln szt. Średnia masa jednostkowa narybku opuszczającego podchowalnie wyniosła 8,06 g, co daje łączną produkcję w wysokości 263 ton.

Tabela 7. Produkcja węłęgarni - narybek

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
l. podmiotów	33	24	36	35	30	27	32	27	25	24
produkcja mln szt.	30,7	25,2	42,5	44,6	37,8	37,2	41,2	33,1	31,5	32,6
masa jednostkowa	4,95	5,08	6,12	4,90	5,90	5,63	4,98	6,85	6,35	8,06
produkcja tony	152,0	128,2	260,0	218,6	222,9	209,6	205,2	226,8	200,5	262,6

Własne stada tartowe spośród ankietowanych gospodarstw posiadało 8 podmiotów deklarując produkcję 188 tys. szt. ryb o łącznej wadze 301 ton.

Tabela 8. Produkcja tartaków

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
l. podmiotów	11	11	13	16	11	12	14	10	8	8
produkcja tys. szt.	260	286	164	181	188	133	210	163	171	188
produkcja tony	246	237	197	203	289	297	315	314	317	301

W 2025 r. 13 z ankietowanych podmiotów zadeklarowało zakup 21,5 mln szt. ikry zaoczkowanej, a 9 podmiotów pozyskanie 290 mln szt. ikry. Duża różnica między ilością zakupioną, a pozyskaną ikry wskazuje, na znaczący udział eksportu w produkcji.

Tabela 9. Ikra zakupiona/pozyskana

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ikra zakupiona										
l. podmiotów	27	19	36	29	27	21	20	18	17	13
mln szt.	29,9	22,4	62,7	33,8	39,5	31,6	37,4	30,1	28,9	21,5
ikra pozyskana										
l. podmiotów	14	11	15	13	12	12	11	10	9	9
mln szt.	249	247	90	350	263	230	287	292	289	290

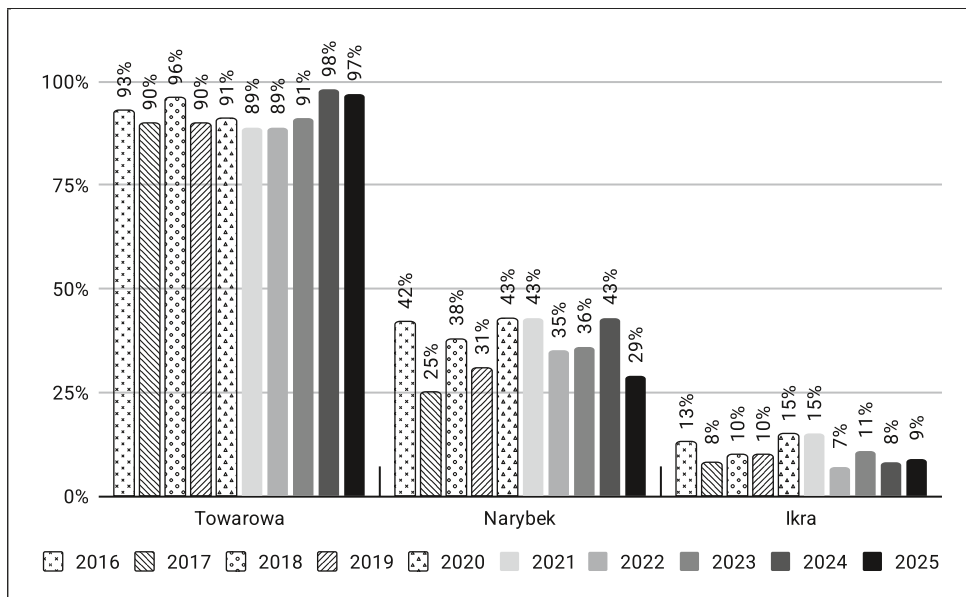
6. Dane rynkowe

Wyniki uzyskane w trakcie badania ankietowego Serwisu Statystycznego pozwalają także na analizę struktury sprzedaży i jej rozkładu.

Zdecydowana większość respondentów (97,1%, o 0,4 pkt proc. mniej niż rok wcześniej) zadeklarowało sprzedaż ryby towarowej. Spośród tych podmiotów dla 24 (71%) gospodarstw przychody z tej kategorii asortymentu stanowią 100% przychodów, a dla 8 (24%) ponad 75% przychodów. Oznacza to, że nadal głównym celem działania gospodarstw jest produkcja ryby handlowej – co jest bardzo stabilnym zjawiskiem od lat. W porównaniu z rokiem poprzednim zdecydowanie zwiększył się odsetek, które sprzedają wyłącznie rybę towarową. Tylko 2 gospodarstwa wskazały udział ryb towarowych w strukturze sprzedaży na poziomie poniżej 75%.

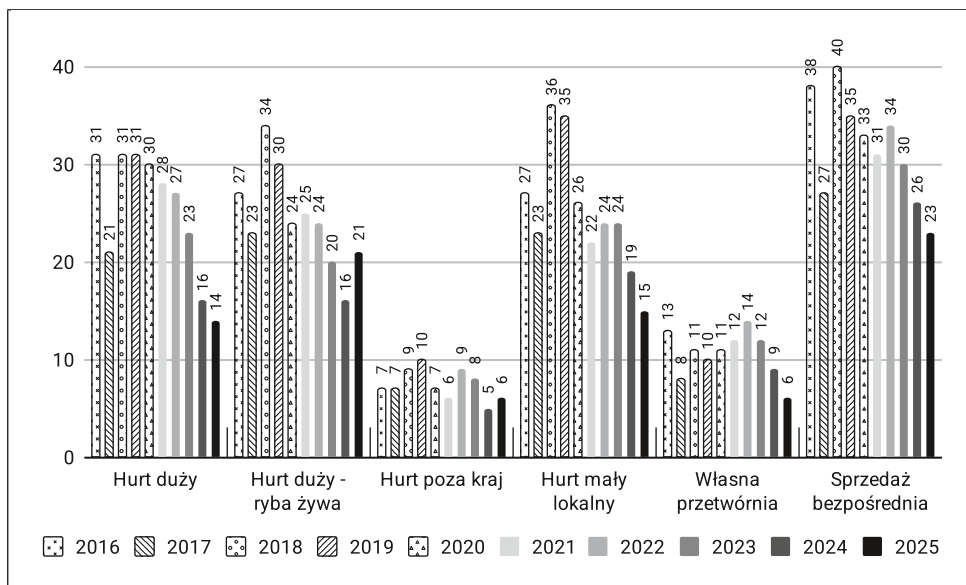
Sprzedaż narybku w 2025 r. prowadziło 28,6% ankietowanych wobec 42,5% podmiotów w poprzednim roku. Z 10 podmiotów deklarujących produkcję narybku tylko 1 deklaruje przychody z tej sprzedaży jako 100% swoich wpływów, a 3 w przedziale 15-25%. W pozostałych przypadkach udział ten nie przekracza 5%. Należy zatem stwierdzić, że narybek jest dodatkowym źródłem przychodów gospodarstw towarowych, w przypadku wystąpienia jego nadmiaru.

Na niskim poziomie pozostaje liczba podmiotów deklarujących sprzedaż ikry zaoczekowanej – 8,6% (3 podmiotów). Dla jednego podmiotu stanowi ona główne źródło przychodów (97%). Pozostałe ankietowane podmioty umiejscowiły tę kategorię produktu na poziomie 1% sprzedaży ogółem.



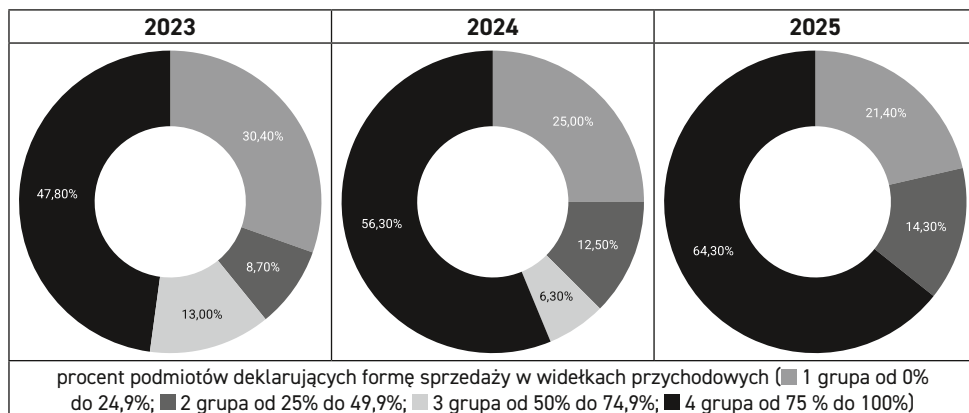
Rysunek 5. Udział hodowców deklarujących sprzedaż poszczególnych kategorii towarowych w ogólnej liczbie respondentów w latach 2016-2025

Elementem, który w obrębie populacji został także zbadany, jest struktura sprzedaży wg rodzaju wykorzystywanego kanału. Rozkład sprzedaży charakteryzował się w ostatnich pięciu latach względnie stałym poziomem.



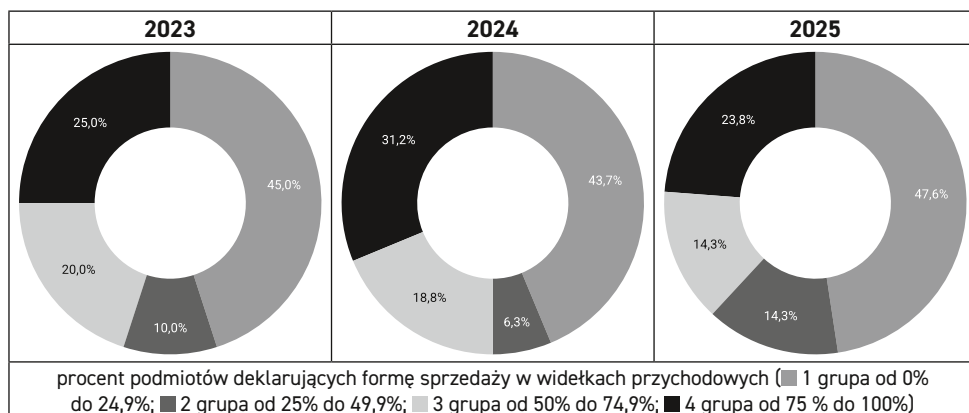
Rysunek 6. Rozkład sprzedaży - ilość podmiotów deklarujących poszczególne formy sprzedaży w latach 2016-2025

Hurt duży (ryba świeża, przetwórnica) – chodzi o duże dostawy lub odbiory ryb świeżych, załadowanych lub w kaszy lodowej (poza transportem na żywo), przeznaczonych do przetwórstwa lub sprzedaży sieciowej, włącznie ze sprzedażą dla podmiotów zagranicznych mających zakłady na terenie kraju. Tę formę sprzedaży stosowało w 2025 r. 40% ankietowanych hodowców, a dla 64% z nich kanał ten stanowił od 75 do 100% produkcji sprzedanej.



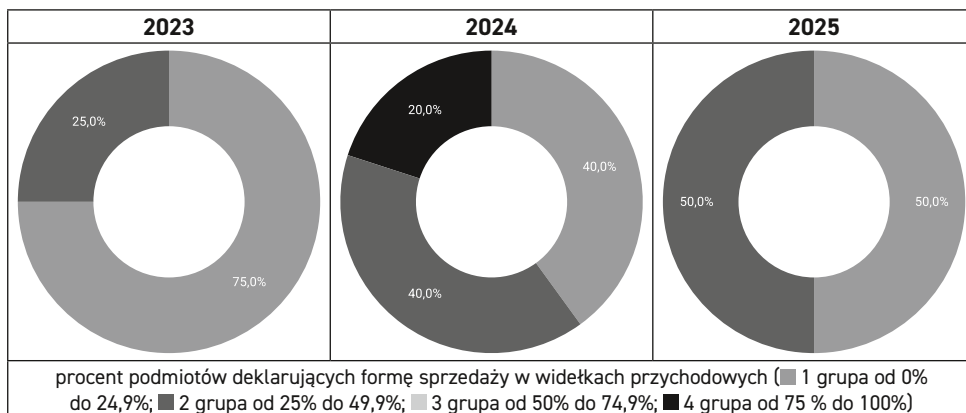
Rysunek 7. Udział hurtu dużego w sprzedaży

Hurt duży na żywo – ryba żywa (specjalistyczny transport na żywo) – dotyczy dużych dostaw lub odbioru ryby żywej (specjalistyczny transport na żywo) dla/przez podmioty krajowe. Tę formę sprzedaży prowadziło w 2025 r. 60% ankietowanych. Podmioty, które zadeklarowały wykorzystywanie tej metody w większości nie traktują jej priorytetowo, jest ona bowiem podstawową formą zbytu tylko dla około 24% hodowców. Najwięcej gospodarstw deklaruje udział tej formy sprzedaży na poziomie do 25% przychodów – ta forma traktowana jest więc jako dodatkowa wobec głównych kanałów zbytu.



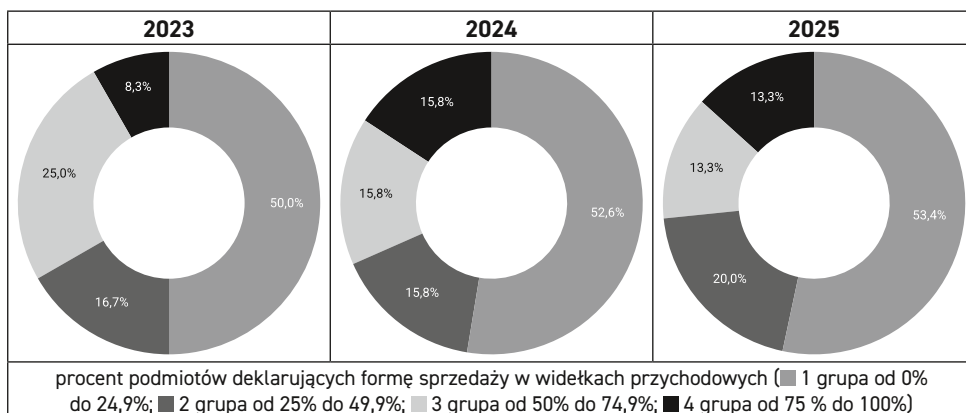
Rysunek 8. Udział hurtu dużego na żywo (ryba żywa) w sprzedaży

Hurt poza kraj (wszystkie formy, Unia Europejska i poza) – wszystkie formy sprzedaży hurtowej poza granice Polski (podmioty zagraniczne – UE i inne). Porównując rok do roku sprzedaż na eksport bezpośredni wzrosła – zadeklarowało ją obecnie 17,1% ankietowanych wobec 12,5% przed rokiem. Zmienił się jednak rozkład udziału tego kanału w sprzedaży ankietowanych podmiotów – jeżeli taka forma już występuje to jej znaczenie zmalało.



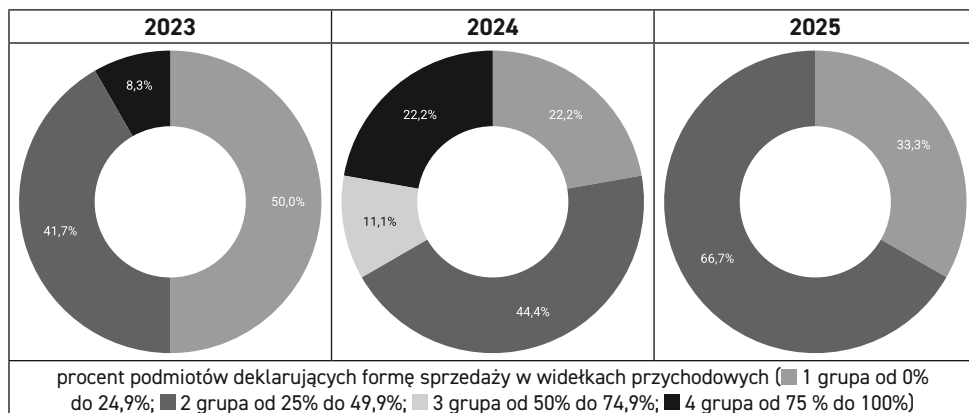
Rysunek 9. Udział hurtu poza kraj w sprzedaży

Hurt mały lokalny – sprzedaż na rynku lokalnym do sklepów, hurtowni, gastronomii itp., nieujęta w pozostałych pozycjach sprzedaży hurtowej. Forma ta nadal pozostaje jedną z popularniejszych metod dostarczania towaru na rynek – w 2025 r. zadeklarowało ją 42,9% ankietowanych, ale udział deklarujących taką formę zbytu w ostatnich latach wyraźnie maleje. Dla zdecydowanej większości producentów kanał ten pozostaje jednak tylko wsparciem sprzedaży – ponad 50% badanych podmiotów uzyskuje w ten sposób maksymalnie do 25% przychodów.



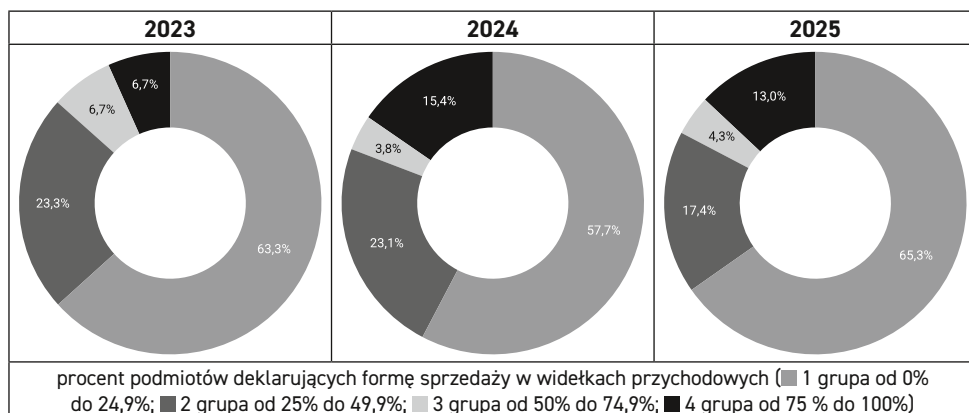
Rysunek 10. Udział hurtu małego (lokalnego) w sprzedaży

Własna przetwórnia – sprzedaż produktów przetworzonych we własnych zakładach przetwórczych (lub MLO). Podobnie jak eksport jest to jedna z najmniej wykorzystywanych form sprzedaży – w 2025 r. zadeklarowało ją 17,1% ankietowanych. W porównaniu z rokiem poprzednim taka forma sprzedaży straciła na znaczeniu. Zwiększyła się liczba firm, w których sprzedaż ta stanowiła do 50%, a jednocześnie w żadnym z podmiotów udział ten nie był wyższy.



Rysunek 11. Udział produktów pochodzących z własnej przetwórni (lokalnego) w sprzedaży

Sprzedaż bezpośrednia (detal, sprzedaż na grobli, łowisko) – sprzedaż ryb nieprzetworzonych lub wypatroszonych w ramach sprzedaży bezpośredniej we wszystkich formach detalicznych. Jest to najpopularniejsza forma sprzedaży, którą wskazuje 66,0% ankietowanych. Jednakże nie ma dużego udziału w sprzedaży indywidualnych hodowców – nadal tylko 17,3% z nich osiągało ponad 50% swoich przychodów przy wykorzystaniu tej formy sprzedaży (18,2% rok wcześniej), a dla aż 65,2% ta forma stanowiła źródło mniej niż 25% przychodów (57,7% rok wcześniej).



Rysunek 13. Udział zbytu bezpośredniego w sprzedaży

7. Zatrudnienie

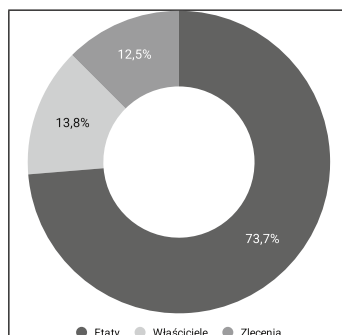
Ostatnim elementem, jaki podlega badaniu była struktura zatrudnienia. Z powodu poziomu ściągalności ankiet nie ma możliwości dokładnego oszacowania zatrudnienia przy produkcji. Wyniki wskazują na zahamowanie spadku zatrudnienia ogółem obserwowanego w kilku ostatnich latach (mimo mniejszej ściągalności ankiet) oraz zwiększenie zatrudnienia w oparciu o umowy cywilnoprawne, przy zmniejszeniu nakładów pracy własnej właścicieli i członków ich rodzin. Łączne zatrudnienie wśród badanych podmiotów kształtowało się w następujący sposób:

Tabela 10. Rodzaje zatrudnienia i umów w ankietowanych podmiotach

Wyszczególnienie	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Umowy o pracę (etaty)	444	370	496	468	442	437	442	326	343	341
Pracujący wspólnicy, właściciele i domownicy (osoby)	116	99	120	113	136	94	88	83	71	64
Umowy cywilnoprawne (sztuki)	83	56	58	50	52	54	63	42	56	58

Szacunkowe zatrudnienie dla całej branży wyliczone na podstawie relacji wielkości produkcji wynikającej z danych ankietowych do produkcji krajowej (RRW-22) wyniosło w 2025 r.:

- Umowy o pracę – 1021 etatów (wzrost o 101 etatów w porównaniu z rokiem poprzednim).
- Pracujący wspólnicy, właściciele i domownicy – 192 (wzrost o 2 osoby).
- Umowy cywilnoprawne – 174 (wzrost o 24 umowy).



Rysunek 14. Rozkład zatrudnienia 2025 r.

8. Wyniki ankiety

W 2026 r., podobnie jak rok wcześniej, zadano członkom Stowarzyszenia pytania w zakresie problemów związanych ze sprzedażą ryb oraz ocenę postrzegania pstrągów przez konsumentów w roku produkcyjnym 2025. Kontynuacja ankiety w niezmienionej formie daje Stowarzyszeniu możliwość oceny zmian szans i zagrożeń w dłuższej perspektywie.

Spośród 10 zagadnień, jakie przedstawiliśmy Państwu do oceny w odniesieniu do głównych problemów rynkowych związanych ze zbytem pstrągów wyprodukowanych we własnych hodowlach, mogli Państwo wybrać trzy najistotniejsze z Waszego punktu widzenia. W porównaniu z rokiem poprzednim umocniło się negatywne oddziaływanie w trzech obszarach. Największym zagrożeniem pozostaje rosnąca konkurencja ze strony

importowanego pstrąga, na co wskazało 82% badanych (63% wskazań rok wcześniej), co wpływa na niższe ceny i ogranicza rozwój i konkurencyjność krajowej produkcji. Pogorszyła się także ocena przez sektor jego pozycji negocjacyjnej względem przetwórstwa i sieci handlowych (wzrost wskazań z 45 do 73%) oraz zbyt duża koncentracja rynku przetwórczego (wzrost z 45 do 64%). Procesy te są bardzo trudne i prawdopodobnie niekorzystne dla hodowców i oznaczają w konsekwencji uzyskiwanie relatywnie niższych cen zbytu w relacji do oczekiwanych. Jednocześnie tylko trzech ankietowanych (9%) wskazało, że słaba pozycja negocjacyjna może wynikać z samodzielnego prowadzenia sprzedaży, tj. indywidualnych negocjacji cen i wolumenu sprzedaży.

Przejrzystość dobrych praktyk w produkcji ryb łososiowatych oraz prowadzone na przestrzeni lat inwestycje w gospodarstwach rybackich powodują, że hodowcy nie mają problemów z uzyskiwaniem potrzebnych przy sprzedaży produktów niezbędnych certyfikatów.

Tabela 11. Jakie, według Państwa, są najistotniejsze problemy rynkowe związane ze sprzedażą pstrąga z własnej hodowli?*

Wyszczególnienie	2025	2026
Znacząca koncentracja rynku przetwórczego – przetwórnice dominują rynek i narzucają niekorzystne warunki cenowe	45%	64%
Silna pozycja sieci handlowych – supermarkety ustalają ceny skupu, ograniczając rentowność hodowli	45%	73%
Ograniczona chłonność rynku krajowego – w przypadku wzrostu krajowej produkcji pstrąga istnieje ryzyko spadku cen i destabilizacji rynku	25%	24%
Rosnąca konkurencja ze strony importowanego pstrąga – niższe ceny i większa dostępność ryby z importu ograniczają konkurencyjność krajowej produkcji	63%	82%
Wymogi certyfikacyjne narzucane przez odbiorców – konieczność posiadania kosztownych certyfikatów, bez których sprzedaż staje się utrudniona	13%	6%
Niższy niż przed pandemią popyt na pstrąga na rynku konsumenckim (detalicznym) – ograniczona gotowość konsumentów do zakupu	18%	6%
Niższy niż przed pandemią popyt na pstrąga na rynku HoReCa (gastronomia, restauracje, catering) – spadek zamówień ze strony sektora gastronomicznego	13%	12%
Samodzielne prowadzenie sprzedaży – jako producent indywidualny samodzielnie negocjuje ceny i wolumeny sprzedaży, co często skutkuje niekorzystną pozycją negocjacyjną wobec odbiorców	8%	9%
Inny istotny problem	3%	3%
Nie dostrzegam istotnych problemów rynkowych	13%	3%

* spośród wymienionych 10 pytań ankietowani mogli wybrać maksymalnie 3 odpowiedzi

W porównaniu z rokiem poprzednim producenci nie zmienili zdania w kwestii chłonności rynku. Nadal ok. 1/4 producentów wyraża obawy, że w przypadku wzrostu krajowej produkcji ryb istnieje zagrożenie zbyt dużej podaży, co może doprowadzić do destabilizacji rynku, a przede wszystkim spadku cen zbytu i ograniczenia rentowności hodowli. Jednocześnie producenci uważają, że popyt na pstrągi, po znaczącym ograniczeniu

w okresie pandemicznym, powrócił do wielkości poprzedzającej tę sytuację. Tylko 2 spośród 33 ankietowanych uważa, że na rynku detalicznym nadal obserwuje się mniejszą gotowość konsumentów do zakupu, natomiast w przypadku rynku HoReCa 4 producentów wskazało na nadal mniejszy wolumen zamówień ze strony sektora gastronomicznego.

Druga część pytań odnosiła się do świadomości producentów o jakości, wizerunku i pozycji rynkowej oferowanych produktów. Zdecydowanie najwyższy odsetek ankietowanych podzielał opinie o tym, że pstrągi są postrzegane przez konsumentów jako produkt zdrowy i wartościowy (72% odpowiedzi na poziomie 4-5 w 5-stopniowej skali oceny) oraz że mają pozytywny i mocno zakorzeniony wizerunek na rynku (54%). Niestety w porównaniu z rokiem poprzednim wartości te znacząco, tj. o ok. 20 pkt proc., obniżyły się. Jednocześnie skokowo wzrósł udział producentów uważających, że przewagi te nie są dostatecznie wykorzystywane zarówno w obszarze intensywności, jak i jakości działań promocyjnych na rynku produktów z ryb łososiowatych (pogląd taki wyraża obecnie aż 82% ankietowanych wobec 52% rok wcześniej).

Tabela 12. Na ile zgadzają się Państwo z poniższymi stwierdzeniami dotyczącymi wizerunku pstrąga wśród konsumentów?

Wyszczególnienie	rok	zdecydowanie się nie zgadzam → zdecydowanie się zgadzam				
		1	2	3	4	5
Pstrąg ma pozytywny i silny wizerunek na rynku	2025	0%	3%	24%	54%	19%
	2026	6%	12%	27%	33%	21%
Pstrąg jest postrzegany jako produkt zdrowy i wartościowy	2025	0%	0%	8%	50%	42%
	2026	3%	6%	18%	39%	33%
Brakuje skutecznej promocji pstrąga wśród konsumentów	2025	0%	14%	35%	14%	38%
	2026	0%	3%	15%	21%	61%
Doniesienia medialne psują wizerunek pstrąga	2025	8%	35%	27%	11%	19%
	2026	15%	3%	30%	27%	24%
Trendy wegańskie ograniczają zainteresowanie pstrągiem	2025	29%	37%	29%	6%	0%
	2026	13%	25%	31%	22%	9%
Jakość pstrąga dostępnego w supermarketach pogarsza jego odbiór wśród konsumentów	2025	11%	5%	16%	27%	41%
	2026	6%	6%	6%	21%	61%

* odpowiedzi mogą się nie sumować do 100% lub przekraczać tę wartość ze względu na zaokrąglenia składowych

Hodowcy nadal nie postrzegają jako zagrożenia zyskujących na znaczeniu wegańskich trendów w żywieniu, które mogą w pewnym stopniu wpływać na popyt, ale problem ten jest obecnie zdecydowanie częściej akcentowany (wzrost z 6 do 31%). Również wpływ działań instytucji i osób obejmujących tzw. czarny PR, czyli pojawiających się m.in. informacji o złych warunkach hodowli ryb i zniechęcających konsumentów do zakupu określonych produktów uległ w okresie roku, według ankietowanych, dużemu nasileniu (wzrost

z 30 do 51%). Pogłębiło się przekonanie ankietowanych o niekorzystnym wpływie na wizerunek pstrągów i popyt słabej jakości ryb dostępnych w handlu wielkopowierzchniowym. Z tym stwierdzeniem zgodziło się aż 82% respondentów (68% rok wcześniej), a tylko 12% było przeciwnego zdania (16%). 6% ankietowanych wyraziło neutralny stosunek do tego zagadnienia wobec 16% przed rokiem. Problem ten pozostaje jednak w dużej mierze poza wpływem samych producentów, zwłaszcza jeżeli w obrocie dostępna jest znaczna część ryb importowanych, w przypadku których łańcuch dostawy jest wydłużony.

9. Podsumowanie

Rynek pstrągów w Polsce ma wszelkie atrybuty do bycia istotną częścią rynku ryb z perspektywą do dalszego wzrostu. Średni popyt krajowy na pstrągi w latach 2023-2025 wyniósł 0,64 kg/mieszkańca masy żywej ryb i był o 1/3 większy niż w latach 2017-2019. Mimo wzrostu w perspektywie długoterminowej spożycie podlega znacznym wahaniom rocznym, co nie sprzyja stabilności ekonomicznej prowadzonych hodowli. Eksport produktów z pstrągów wzrósł w tym czasie (2017-2025) do rekordowego poziomu 18,3 tys. t (masy żywej), tj. o blisko 40%, a wartość sprzedanych ryb o 86% do 560 mln PLN, co daje czwarty wynik w ujęciu gatunkowym całego polskiego eksportu. Znacząca część rosnącego zapotrzebowania na surowiec została zaspokojona przez zwiększoną produkcję (o 38%), ale po początkowym okresie silnych wzrostów produkcja od 2021 r. ustabilizowała się na poziomie 22-23 tys. ton. Jednocześnie coraz większą rolę zaczął odgrywać import osiągaający w ostatnich latach ok. 20 tys. ton. Niskie ceny importowanych ryb (głównie z Włoch), które w 2025 r. okresowo spadły poniżej 12 PLN/kg stanowią skuteczny argument dla przetwórci i innych odbiorców do oferowania krajowym producentom cen poniżej poziomu opłacalności. To skutkuje coraz większą niechęcią, nie tylko do rozwoju hodowli w Polsce, ale może przyczyniać się nawet do jej ograniczania. Doskonale odzwierciedlają to wyniki ankiet w zakresie postrzegania problemów branży, które przeprowadzono w ostatnich dwóch latach. Pogarszająca się ściagalność ankiet może także świadczyć o coraz mniejszym zaufaniu do instytucji zrzeszających producentów, a przede wszystkim do możliwości ich realnych działań wpływających na poprawę sytuacji hodowców.

Zmniejszająca się aktywność hodowców w działalności Stowarzyszenia, widoczna m.in. w spadającym odsetku zwracanych ankiet, oraz brak informacji o wielkości sprzedaży pasz przez czołowych dystrybutorów powodują, że Stowarzyszenie traci możliwość alternatywnej (wobec badania RRW-22) oceny produkcji ryb łososiowatych w Polsce. W tym miejscu jeszcze raz prosimy o zaufanie i wzrost aktywności w badaniu ankietowym, którego wyniki w największym stopniu służą Państwu.

Rynek i spożycie ryb w 2025 roku

Krzysztof Hryszko

Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej
Państwowy Instytut Badawczy
00-002 Warszawa, Świętokrzyska 20, hryszko@ierigz.waw.pl

1. Wstęp

W 2025 r. rynek ryb w Polsce rozwijał się w umiarkowanym tempie, głównie pod wpływem spadku popytu krajowego. Miało to miejsce w sytuacji relatywnie niskiego wzrostu cen detalicznych produktów rybnych na tle żywności ogółem. Ograniczony wzrost gospodarczy w krajach będących największymi odbiorcami polskich wyrobów wpływał także spowalniająco na wolumen eksportu, ale wyraźny wzrost cen transakcyjnych wpłynął na utrzymanie przez zakłady przetwórstwa ryb bardzo dobrych wyników finansowych. Mniejsza była podaż ryb pozyskiwanych w Morzu Bałtyckim oraz produkowanych w akwakulturach, ale skala tego spadku była niewielka.

Celem artykułu jest przedstawienie szczegółowej sytuacji krajowego sektora rybackiego w 2025 r. poczynając od bazy surowcowej, poprzez handel zagraniczny, wyniki ekonomiczne przetwórstwa ryb, a kończąc na konsumpcji. Analiza ta została poprzedzona oceną sytuacji na światowym rynku ryb. Ze względu na bardzo duże opóźnienia w dostępie do danych o produkcji światowej część informacji dotyczy 2024 roku.

2. Metodologia

Dane analizowane w opracowaniu w zakresie połowów i produkcji ryb w akwakulturach pochodzą z baz statystycznych Centrum Monitorowania Rybołówstwa (Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi) oraz danych uzyskiwanych w ramach kwestionariusza RRW-22 (Morski Instytut Rybacki). Wyniki handlu zagranicznego zostały opracowane na podstawie danych Ministerstwa Finansów, które po zastosowaniu odpowiednich wartości przeliczeniowych z masy produktów do masy żywej ryb (wg metodologii EUMOFA) były podstawą stworzenia bilansu rynkowego oraz obliczenia poziomu konsumpcji poszczególnych gatunków ryb. Badania odnośnie cen detalicznych oraz wyników ekonomiczno-finansowych zakładów przetwórstwa rybnego przeprowadzono w oparciu o niepublikowane dane GUS. Analiza sytuacji na światowym rynku ryb została dokonana na podstawie danych FAO, EUROSTAT oraz ITC (International Trade Center). Oceny uży-

skanych wyników dokonano metodami analizy opisowej, statystycznej i analizy porównawczej na podstawie danych z szeregów czasowych.

3. Wyniki badań i ich dyskusja

Światowy rynek ryb

W 2025 r., wg najnowszych szacunków FAO², globalna produkcja i połowy organizmów wodnych wyniosły 198,5 mln t i były o 2,0% większe niż przed rokiem.

Podaż organizmów wodnych pochodzących z akwakultury zwiększyła się o 2,9% do 105,7 mln t, a decydowały o tym głównie rosące połowy ryb karpiowatych, łososi, sumów i krewetek. Połowy ryb dziko żyjących zwiększyły się natomiast o 1,1% do 92,9 mln t, ale najnowsze wytyczne naukowe wskazują na konieczność ograniczenia połowów niektórych stad dorszy, plamiaków i makrel. Dodatkowo złowiono na wodach otwartych lub wyprodukowano w akwakulturach ok. 40,0 mln t roślin i 1,3 mln sztuk zwierząt, z czego odpowiednio 97% roślin pochodziło z akwakultury, natomiast 100% zwierząt z połowów. Łączna światowa produkcja i połowy organizmów wodnych wyniosła zatem w 2025 r. ok. 238,5 mln t i była o 2,1% większa niż rok wcześniej. Na cele konsumpcyjne przeznaczono 177,9 mln t produktów (89,6% podaży ogółem), tj. o 2,4% więcej niż przed rokiem, w konsekwencji czego spożycie w przeliczeniu na mieszkańca zwiększyło się o 1,4% i oszacowane zostało na 21,6 kg (w przeliczeniu na masę żywą ryb). Ceny ryb na rynku światowym były w I półroczu 2025 r. stabilne, natomiast w kolejnych miesiącach wykazywały wyraźną tendencję wzrostową. Wartość wskaźnika cen FAO Fish Price Index (FPI), obrazującego globalne zmiany cen w porównaniu do okresu bazowego 2014-2016, wyniosła w 2025 r. 118 pkt., tj. o 4 pkt więcej niż rok wcześniej. Oznacza to, że w 2025 r., w porównaniu z rokiem poprzednim, światowe ceny ryb wzrosły średnio o 3,5%. Wyższe były przede wszystkim ceny ryb pelagicznych (o 16,2%) i krewetek (o 15,3%) oraz ryb białych i tuńczyków (wzrost o 6,5 i 5,8%), a spadek cen spośród analizowanych grup ryb obserwowano tylko w przypadku łososi (o 10,7%). Ceny głównych substytutów ryb, tj. mięsa i mleka oraz ich przetworów wzrosły w 2025 r. odpowiednio o 5,2 i 13,1%, co oznacza, że produkty rybołówstwa stały się atrakcyjniejszym cenowo źródłem białka zwierzęcego. Wzrost cen żywności ogółem na świecie wyniósł w analizowanym okresie przeciętnie 4,3%.

2 Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets, FAO, June 2026, Rome (<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11877910-a587-4202-b22d-d66e498d76b0/content>).

Tabela 1. Światowa produkcja ryb i innych organizmów wodnych

Wyszczególnienie	2023	2024	2025 szacunek	(2025 / 2024) * 100
Produkcja ogółem (mln t)	188,9	194,6	198,5	102,0
połowy	90,4	91,9	92,9	101,1
akwakultura	98,5	102,7	105,7	102,9
Przeznaczenie produkcji (mln t)	188,9	194,6	198,5	102,0
do konsumpcji	170,1	173,7	177,9	102,4
niekonsumpcyjne	18,9	20,9	20,6	98,6
Spożycie ogółem (kg/mieszkańca)	21,1	21,3	21,6	101,4
z połowów	9,0	8,7	8,8	101,1
z akwakultury	12,1	12,6	12,8	101,6
Produkcja i połowy roślin wodnych (mln t)	37,7	38,9	40,0	102,8
Połowy zwierząt (mln szt.)	1,4	1,4	1,3	92,9

Źródło: opracowanie autora na podstawie Food Outlook, FAO.

Największym producentem ryb i innych organizmów wodnych na świecie (połowy i akwakultura wraz z roślinami wodnymi) są Chiny (40,5% w 2024 r.), następnie Indonezja (10,0%), Indie (7,9%), Wietnam (3,9%), Peru (2,5%) i Rosja (2,3%). Spośród krajów UE, które łącznie odpowiadają za 1,9% podaży globalnej (4,56 mln t) największym producentem jest Hiszpania z udziałem 0,4% (1,01 mln t), co daje dopiero 26 miejsce na świecie (Polska plasuje się na 77 miejscu). Spośród 10 krajów o największej podaży zdecydowanie najszybciej rośnie ilość złowionych i wyprodukowanych organizmów wodnych w Indiach (o 6,4% rocznie w ostatniej dekadzie), a spadek notują tylko USA (2,3% rocznie).

Tabela 2. Połowy i produkcja ryb i owoców morza wg krajów (mln t)

Połowy	2022	2023	2024	Akwakultura	2022	2023	2024
Chiny	13,18	13,42	13,26	Chiny	75,43	78,28	81,95
Indonezja	7,49	7,82	7,85	Indonezja	14,78	15,36	15,75
Indie	5,54	6,18	6,18	Indie	10,24	11,32	12,09
Peru	5,37	5,39	3,52	Wietnam	5,11	5,40	5,65
Rosja	4,99	4,16	5,39	Bangladesz	2,73	2,85	2,98
USA	4,14	3,52	4,18	Korea Płd.	2,31	2,32	2,28
Wietnam	3,46	3,42	3,44	Filipiny	2,35	2,38	2,22
Japonia	2,98	2,90	2,98	Norwegia	1,66	1,65	1,67
Chile	2,69	2,60	5,60	Egipt	1,55	1,60	1,60
Norwegia	2,63	2,54	2,51	Chile	1,52	1,50	1,42
Pozostałe	39,41	39,86	38,32	Pozostałe	13,60	13,83	14,00
Świat	91,88	91,81	93,23	Świat	131,28	136,49	141,61

Źródło: obliczenia autora na podstawie danych FAO.

Wartość światowej akwakultury liczona w cenach pierwszej sprzedaży (część państw podaje ceny zbytu lub ceny eksportowe) została oszacowana w 2024 r. na 391 mld USD i była o 6,3% wyższa niż rok wcześniej. W dekadzie 2014-2024 wartość produkcji rośnie w zdecydowanie szybszym tempie niż jej wolumen (wzrosty średnioroczne odpowiednio o 5,9 i 3,6%), co wynika zarówno ze zmiany struktury produkcji i wykorzystywaniu w hodowli gatunków o dobrych perspektywach rynkowych i osiągających wysokie ceny, jak również z samego wzrostu cen. Najbardziej wartościowymi gatunkami organizmów wodnych produkowanych w akwakulturach były w 2024 r.: krewetki białe (46,6 mld USD, wzrost o 4,8% w porównaniu z rokiem poprzednim), raki luizjańskie (36,8 mld USD, wzrost o 13,0%), łososie atlantyckie (20,5 mld USD, spadek o 2,8%) i amury białe (18,0 mld USD, wzrost o 7,9%). Łączny udział 10 najważniejszych gatunków wyniósł w 2024 r. 48,9%. Spośród nich najwyższym tempem wzrostu w okresie ostatniej dekady charakteryzowały się raki luizjańskie, których wartość produkcji rośnie średniorocznie o ponad 21% (krewetek o 7,4%, a łososi o 3,5%). Światowa produkcja dwóch najważniejszych gatunków ryb hodowanych w Polsce, tj. karpi i pstrągów tęczowych wyniosła w 2024 r. odpowiednio 4,20 mln t o wartości 10,32 mld USD (wzrost w porównaniu z rokiem poprzednim o 2,5 i 5,0%) oraz 1,18 mln t i 6,41 mld USD (wzrost 4,8 i 3,4%).

Tabela 3. Światowa produkcja i połowy organizmów wodnych wg gatunków (mln t)

Połowy	2022	2023	2024	Akwakultura	2022	2023	2024
Sardela peruw.	4,86	2,42	5,04	Rośliny wodne ^a	36,53	37,66	38,93
Tuńczyk bonito	3,12	3,04	3,58	Krewetki ^a	8,55	9,19	9,50
Mintaj	3,38	3,54	3,57	Ostrygi ^a	7,19	7,62	8,20
Błękitek	1,04	1,74	1,83	Amur biały	6,16	6,22	6,44
Sardynka pacyf.	1,41	1,73	1,81	Tilapia nilowa	5,04	5,25	5,61
Tuńczyk żółtopł.	1,55	1,63	1,71	Totpyga biała	5,07	5,13	5,27
Ostrobok peruw.	1,05	1,21	1,38	Catla (karp azjat.)	4,15	4,48	4,84
Śledź atlantycki	1,65	1,51	1,32	Karp	4,05	4,09	4,20
Makrela kolias	1,40	1,21	1,20	Totpyga pstra	3,32	3,40	3,55
Pałasz	1,10	1,14	1,13	Rak luizjański	2,96	3,25	3,50
Pozostałe	71,32	72,64	70,66	Pozostałe	48,26	50,20	51,57
Świat	91,88	91,81	93,23	Świat	131,28	136,49	141,61

^a wszystkie gatunki

Źródło: obliczenia autora na podstawie danych FAO.

Zdecydowanie mniejszą wartość generują połowy organizmów wodnych dziko żyjących, które szacuje się na ok. 160 mld USD, a do najważniejszych gospodarczo gatunków

ryb należą tuńczyki, mintaje, śledzie, makrele i dorsze. Połowy poszczególnych gatunków ryb charakteryzują się bardzo dużą zmiennością, co wpływa na fluktuacje cen. W 2024 r. spośród poszczególnych gatunków najwyższe połowy odnotowano w przypadku sardeli peruwiańskich (5,04 mln t, wzrost o 108,5% w porównaniu z rokiem poprzednim), tuńczyków bonito (3,58 mln t, wzrost o 17,5%) oraz mintajów (3,57 mln t, wzrost o 0,8%).

Ryby, owoce morza i inne organizmy wodne są grupą produktów o bardzo dużym, choć malejącym, znaczeniu dla światowego handlu rolno-spożywczego. W 2025 r. obroty handlowe produktami rybołówstwa wyniosły, według wstępnych danych, 197,4 mld USD (eksport³) i były o 7,3% wyższe niż rok wcześniej. Wzrost ten wynikał zarówno z wyższych cen transakcyjnych, jak i rosnącego wolumenu handlu (o 2,9% do 71,3 mln t masy żywej ryb). Handel produktami rybołówstwa stanowi ok. 36% produkcji i połowów sektora ogółem (bez roślin wodnych). Krajem o najwyższej wartości eksportu były w 2025 r. Chiny (11,1% światowego handlu ogółem), wyprzedzając Norwegię (8,7%) i Wietnam (6,0%), natomiast w imporcie zdecydowanie przeważały Chiny (14,8%), USA (14,1%) i Japonia (6,7%).

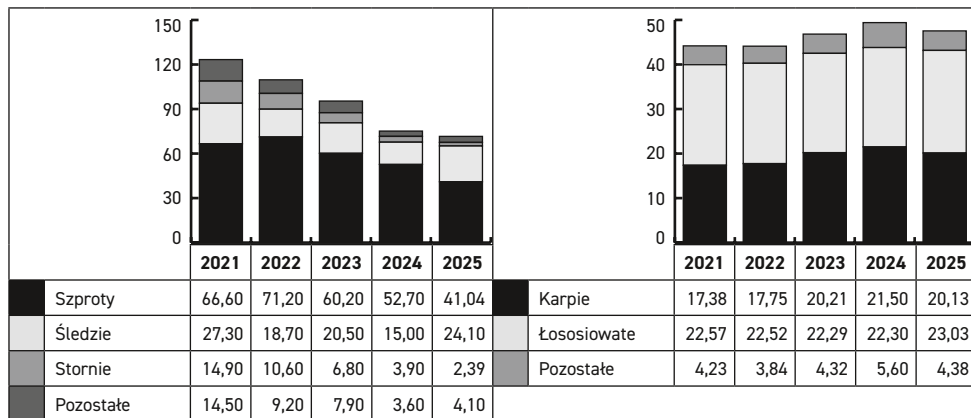
Połowy i produkcja ryb w kraju

Połowy krajowe w 2025 r. cechował wyraźny wzrost połowów dalekomorskich oraz spadek podaży ryb pozyskanych w Bałtyku oraz wyprodukowanych w akwakulturach. Łączne połowy krajowe wyniosły 197,0 tys. t i były o 10,1% większe od wielkości uzyskanej rok wcześniej. Na połowy bałtyckie przypadało 36,4% wolumenu ogółem, na połowy ryb w wodach słodkowodnych oraz produkcję w akwakulturach 24,8%, a na połowy dalekomorskie 38,8%.

W 2025 r. połowy ryb w Morzu Bałtyckim wyniosły 71,6 tys. t i były o 5,0% mniejsze niż w roku poprzednim. Dzięki większym kwotom połowowym zdecydowanie wzrosły wyładunki w portach śledzi (o 60,6% do 24,1 tys. t). Połowy szprotów ograniczono natomiast o 22,2% do 41,0 tys. t, a storni o 22,9% do 2,4 tys. ton. Ryb pozostałych odłowiono o 10,0% więcej (4,1 tys. t), w tym najwięcej leszczy (1,6 tys. t), okoni (0,9 tys. t) i płoci (0,6 tys. t). Wykorzystanie kwot połowowych wyniosło w przypadku szprotów i śledzi ok. 95,0%. W portach krajowych wyładowano 90,7% wszystkich ryb (głównie Hel – 23,5 tys. t, Kołobrzeg – 17,4 tys. t i Władysławowo – 14,6 tys. t), a pozostałą część w duńskich i łotewskich. Połowy dalekomorskie wyniosły 76,5 tys. t i były o 38,3% większe niż w 2024 roku. W pierwszej połowie roku odłowy prowadzono przede wszystkim na północno-zachodnim wybrzeżu Szkocji, Irlandii północno-zachodniej i Ławicy Porcupine, a ryby wyładowano w holenderskim porcie Ijmuiden. W sierpniu i wrześniu rozpoczęto

3 Analiza światowego, jak i polskiego handlu zagranicznego rybami, przetworami rybnymi i owocami morza została oparta o dane grup produktów oznaczonych następującymi kodami taryfy celnej: 0301-0309, 051191, 1604-1605, 23012000.

połowy na obszarze południowo-wschodniego Pacyfiku z portem wyładunku w Chile, a w październiku statek ponownie przemieścił się na łowiska atlantyckie. Łącznie najwięcej odłowiono błękitków (54,6 tys. t) i ostroboków (17,3 tys. t).



Rysunek 1. Wielkość połowów w M. Bałtyckim (tys. t)

Rysunek 2. Wielkość produkcji ryb w akwakulturze (tys. t)

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych MRiRW, MIR-PIB oraz IRS-PIB.

Warunki termiczno-hydrologiczne były w 2025 r. dla gospodarstw rybackich produkujących ryby dla akwakultury zróżnicowane. Rok ten charakteryzował się stosunkowo wysoką temperaturą powietrza oraz niedoborem opadów i był korzystniejszy dla produkcji stawowej karpia niż hodowli pstrągów, ale o wielkości produkcji decydowały w większym stopniu uwarunkowania rynkowe. Łączna produkcja ryb w akwakulturach oraz zawodowe odłowy ryb słodkowodnych wyniosły ok. 48,9 tys. t i były o 3,6% mniejsze niż rok wcześniej. Produkcja ryb w akwakulturach zmniejszyła się o 3,7% i według wstępnych danych wyniosła 47,5 tys. ton. Karpie wyprodukowano 20,1 tys. t, a pstrągów tęczowych 21,9 tys. t, tj. odpowiednio o 6,3% mniej i o 5,8% więcej niż w 2023 r. Znacząco zmalała podaż innych gatunków ryb. Duży spadek cen zbytu pstrągów został zrekompensowany większym wolumenem sprzedaży tych ryb, a w konsekwencji wartość sprzedanych ryb przeznaczonych do konsumpcji i wyprodukowanych w krajowych akwakulturach ogółem nie zmieniła się w porównaniu z rokiem poprzednim i wyniosła ok. 780 mln PLN.

Handel zagraniczny produktami rybołówstwa

W pierwszym półroczu 2025 r. wzrost wymiany głównymi grupami wyrobów był umiarkowany i hamowany przez stagnację popytu krajowego oraz ograniczony wzrost gospodarczy w krajach będących największymi odbiorcami polskich produktów. Czynnikiem ryzyka pozostawały: konflikt zbrojny w Ukrainie i na Bliskim Wschodzie oraz polityka handlowa Stanów Zjednoczonych. W drugiej części roku niewielkie tendencje

wzrostowe uległy dalszemu osłabieniu. Widoczny był natomiast powrót do tendencji wzrostowej cen wielu gatunków ryb na rynkach światowych, co wpływało na przyspieszenie tempa wzrostu cen detalicznych w kraju i ograniczało popytu. Odnotowano wyraźny wzrost cen transakcyjnych eksportowanych wyrobów, co skutkowało poprawą niekorzystnego salda wymiany handlowej sektora.

Tabela 4. Wyniki handlu zagranicznego sektora rybnego

Lata	Eksport ^c			Import			Saldo
	tys. t	tys. t ^b	mln PLN	tys. t ^a	tys. t ^b	mln PLN	mln PLN
2021	599,8	741,0	11 565	684,8	1 039,0	11 632	-67
2022	535,3	691,4	13 493	655,2	988,6	14 624	-1 131
2023	545,1	708,8	14 692	662,2	1 014,1	14 898	-206
2024	516,8	695,3	14 189	685,6	1 036,9	14 452	-263
2025^d	545,0	736,7	15 189	692,2	1 032,2	15 253	-64

^a w masie produktu, ^b w ekwiwalencie masy żywej, ^c wyniki eksportu oficjalnie podawanego przez GUS zostały powiększone o dane odnośnie eksportu burtowego, ^d dane wstępne

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych MF i MRiRW.

Według wstępnych danych MF, w 2025 r. wyeksportowano z Polski 545,0 tys. t produktów rybnych (masy produktów) o wartości 15,189 mld PLN, tj. o 5,4 i 7,0% więcej niż w roku poprzednim. Dynamika wzrostu sprzedaży zagranicznej liczona w USD i EUR była wyższa i wyniosła odpowiednio 13,0 i 8,9%. Aprecjacja złotego sprzyjała importerom, natomiast zmniejszała opłacalność eksportu. Wzrost wywozu determinowały przede wszystkim znacząco większe połowy dalekomorskie i w konsekwencji eksport ryb mrożonych (o 25,6% do 105,2 tys. t). Spośród głównych asortymentów zwiększył się natomiast wywóz filetów rybnych (o 9,5% do 115,6 tys. t) oraz przetworów i konserw (o 2,7% do 155,5 tys. t), a zmniejszył ryb wędzonych, suszonych i solonych (o 0,8% do 70,2 tys. t). Więcej wyeksportowano wyrobów z łososi (o 10,2% do 152,4 tys. t), pstrągów (o 8,8% do 10,5 tys. t) i śledzi (o 3,2% do 60,0 tys. t), a mniej z makreli (o 11,3% do 15,8 tys. t), dorszy (o 10,4% do 19,8 tys. t) i mintajów (o 5,5% do 27,3 tys. t). Łączna wartość eksportu wymienionych gatunków ryb zwiększyła się o 7,9% do 12,733 mld PLN, z czego 76% stanowiły łososie. Odnotowano następujące zmiany w handlu z pięcioma największymi odbiorcami polskich produktów rybnych: Niemcami (wzrost o 2,6% do 6,612 mld PLN i o 0,6% do 176,9 tys. t), Danią (wzrost o 47,4% do 1,143 mld EUR i spadek o 13,4% do 52,7 tys. t), Włochami (spadek o 3,7% do 1,097 mld PLN i o 0,3% do 29,0 tys. t), Francją (wzrost o 12,8% do 1,027 mld PLN i o 7,2% do 28,5 tys. t) i USA (wzrost o 21,6% do 0,718 mld EUR i o 20,3% do 19,2 tys. t). Udział ryb, owoców morza oraz ich przetworów w polskim eksporcie rolno-spożywczym wyniósł, podobnie jak rok wcześniej 6,1%.

Ceny transakcyjne najważniejszych produktów kształtowały się następująco:

- przetwory ze śledzi – 16,10 PLN/kg (wzrost o 4,4%),
- wędzone łososie – 75,75 PLN/kg (spadek o 1,5%),
- mrożone filety z łososi – 53,94 PLN/kg (wzrost o 10,1%),
- świeże filety z łososi – 62,71 PLN/kg (spadek o 1,8%),
- mrożone filety z dorszy – 45,59 PLN/kg (wzrost o 33,1%),
- świeże filety z dorszy – 41,62 PLN/kg (spadek o 6,3%),
- przetwory z mintajów – 17,30 PLN/kg (bez zmian),
- wędzone pstrągi – 68,61 PLN/kg (spadek o 7,4%),
- wędzone makrele – 24,13 PLN/kg (wzrost o 11,5%),
- przetwory z makreli – 27,52 PLN/kg (wzrost o 2,9%)

Tabela 5. Handel zagraniczny produktami rybołówstw wg grup produktów i gatunków

eksport	tys. t ^a		mln PLN		import	tys. t ^a		mln PLN	
	2024	2025	2024	2025		2024	2025	2024	2025
wędzone, susz. i sol.	70,8	70,2	4976	4894	świeże	226,3	242,1	6708	6421
filety i mięso	105,5	115,6	4512	5377	filety i mięso	235,4	242,5	4338	5176
przetwory i kons. z ryb	151,4	155,5	3337	3484	mrożone	116,5	102,6	1784	1941
mrożone	83,8	105,2	701	815	przetwory i kons. z ryb	56,8	57,9	885	952
łosoś	138,3	152,4	8923	9737	łosoś	242,9	268,0	7933	8339
śledź	58,1	60,0	809	863	śledź	87,6	83,8	789	820
dorsz	22,1	19,8	707	770	mintaj	53,4	49,2	605	613
pstrąg i troć	9,6	10,5	540	564	makreła	44,7	44,3	423	557
mintaj	28,9	27,3	496	474	dorsz	41,1	32,4	916	977
makreła	17,8	15,8	318	326	czarniak	20,0	16,6	253	282
szprot i sardynka	23,6	19,8	251	285	pstrąg i troć	14,5	16,9	334	402
surimi	9,2	9,8	115	121	tuńczyk	16,0	16,9	373	376
czarniak	4,8	3,8	94	80	krewetki	11,5	12,1	352	349
Razem	516,8	545,0	14189	15189	Razem	685,6	692,2	14452	15253

^a w masie produktu (zmiany procentowe zawarte w tekście obliczono na dokładnych danych)

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych MF i MRIRW.

Import ryb i owoców morza wyniósł w 2025 r. 692,2 tys. t i był o 1,0% większy niż przed rokiem. Wartość sprowadzonych ryb zwiększyła się natomiast o 5,5% do 15,253 mld PLN. W porównaniu z 2024 r. zmniejszył się głównie wolumen importu ryb

mrożonych (o 11,9% do 102,6 tys. t). Nieznacznie zwiększył się przywóz przetworów i konserw z ryb (o 1,9% do 57,9 tys. t) oraz filetów i mięsa z ryb (o 3,0% do 242,5 tys. t), a zdecydowanie wzrosło zapotrzebowanie na ryby świeże i chłodzone (o 7,0% do 242,1 tys. t). Spośród 10 gatunków o największym wolumenie przywozu mniejszy był popyt na dorsze (o 21%), czarniaki (o 17%), mintaje (o 8%), śledzie (o 4%) oraz makrele (o 1%), a większy był import mirun (o 22%), pstrągów (o 17%), łososi (o 10%), tuńczyków (o 6%) i krewetek (o 5%). Zmiany cen wymienionych gatunków ryb były różnokierunkowe z przewagą wzrostowych. Najbardziej podrożały dorsze, czarniaki i makrele (o 30-40%), a w mniejszym stopniu śledzie i mintaje (o 9%). Wyraźnie tańsze były tylko krewetki (o 8%), łososi (o 7%), miruny (o 6%) i tuńczyki (o 5%). Najwięcej ryb sprowadzono z Norwegii (40,9%) oraz z Danii, Islandii, Niemiec, Rosji, Chin, Holandii i USA (udziały od 4,1% do 5,8%), przy czym najgłębszy spadek importu odnotowano w przypadku Rosji (o 37%), a wzrost z USA (o 32%). Tendencje cen importowanych podstawowych surowców rybnych kształtowały się następująco:

- świeże łososie – 28,02 PLN/kg (spadek o 11,6%),
- mrożone filety ze śledzi – 9,59 PLN/kg (wzrost o 8,7%),
- mrożone makrele – 11,29 PLN/kg (wzrost o 34,4%),
- mrożone filety z mintajów – 12,65 PLN/kg (wzrost o 9,9%),
- mrożone dorsze – 27,03 PLN/kg (wzrost o 39,6%),
- mrożone filety z czarniaków – 22,58 PLN/kg (wzrost o 37,6%),
- świeże pstrągi i trocie – 23,49 PLN/kg (wzrost o 0,2%),
- konserwy z tuńczyków – 21,73 PLN/kg (spadek o 5,4%).

Porównanie zmian cen importowo-eksportowych wskazuje, że w 2025 r. tendencje w opłacalności przetwórstwa i eksportu podstawowych gatunków ryb były na ogół niekorzystne. Wyjątek stanowił handel łososiami, co przy ich decydującym znaczeniu dla wymiany zagranicznej sektora wpłynęło na poprawę salda obrotów (z -263 do -64 mln PLN). Udział ryb, owoców morza oraz ich przetworów w polskim imporcie rolno-spożywczym wyniósł w 2025 r. 9,3% (9,4% rok wcześniej).

Tabela 6. Kierunki handlu zagranicznego produktami rybołówstwa

eksport	tys. t ^a		mln PLN		import	tys. t ^a		mln PLN	
	2024	2025	2024	2025		2024	2025	2024	2025
Niemcy	175,8	176,9	6444	6612	Norwegia	264,5	283,4	7236	7614
Dania	60,8	52,7	776	1143	Dania	40,6	40,3	542	623
Włochy	29,1	29,0	1139	1097	Islandia	34,9	39,4	463	613
Francja	26,6	28,5	910	1027	Niemcy	30,7	33,1	626	807

eksport	tys. t ^a		mln PLN		import	tys. t ^a		mln PLN	
	2024	2025	2024	2025		2024	2025	2024	2025
USA	16,0	19,2	590	718	Rosja	51,4	32,2	852	680
W. Brytania	17,3	17,1	474	560	Chiny	30,3	30,9	413	436
Czechy	18,2	20,4	636	553	Holandia	34,2	28,6	311	310
Szwecja	10,1	11,7	421	471	USA	21,7	28,5	360	586
Holandia	56,2	73,6	480	460	Szwecja	33,6	26,1	778	559
Szwajcaria	4,8	5,7	297	369	W. Owce	16,0	22,4	213	343
Razem	516,8	545,0	14189	15189	Razem	685,6	692,2	14452	15253

^a w masie produktu

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych MF i MRiRW.

Przetwórstwo ryb i owoców morza

Liczba zakładów przetwarzających produkty rybołówstwa i uprawnionych do ich wprowadzania na rynek UE, według stanu z października 2025 r. (rejestr Głównego Inspektoratu Weterynarii) wynosiła 226 (z czego 17 podmiotów miało zawieszoną działalność). W porównaniu z październikiem roku poprzedniego liczba zakładów zmniejszyła się o 5. Według rejestru REGON pod kodem PKD 10.20.Z „Przetwarzanie i konserwowanie ryb, skorupiaków i mięczaków” w połowie 2025 r. zarejestrowanych było 583 podmiotów deklarujących prowadzenie działalności gospodarczej w tym zakresie (o 14 więcej niż w tym samym okresie roku poprzedniego).

Tabela 7. Podstawowe dane o przetwórstwie ryb w Polsce

Wyszczególnienie	2023	2024	2025 ^s
Zatrudnienie (tys. osób) ^a	16,63	17,70	17,50
Wielkość produkcji (tys. t)	661,06	700,30	705,00
Wartość produkcji (mld PLN) ⁴	18,10	18,37	21,00

^a według RRW-20 w podmiotach o PKD 10.20.Z, ^s – szacunek

Źródło: Obliczenia autora na podstawie danych GUS.

W 2025 r. produkcja ryb i przetworów rybnych w średnich i dużych zakładach przetwórstwa rybnego (powyżej 49 osób załogi) była o 1,8% większa niż przed rokiem i wyniosła 589,9 tys. ton. Wzrost produkcji odnotowano w przypadku większości grup wyrobów z wyjątkiem przetworów i konserw, których podaż zmniejszono o 4,3% do 232,0 tys. ton. Najbardziej ograniczono produkcję marynat (o 8,5% do 69,7 tys. t) oraz pozostałych produktów takich jak, wyroby garmażeryjne i kulinarne, sałatki, pasty, paluszki rybne czy paprykarze (o 4,1% do 82,1 tys. t), przy niewielkim spadku wytworzonych konserw i prezerw (o 0,5% do 80,3 tys. t). Produkcję przetworów ze śledzi ograniczono

4 Wartość ta różni się od danych zawartych w części dotyczącej wyników finansowych sektora ze względu na odmienną klasyfikację przychodów w badaniach.

o 3,7%, z makreli o 14,6%, a z łososi o 3,1%, natomiast więcej wyprodukowano wyrobów ze szprotów i sardynek (o 13,4%). W porównaniu z 2024 r. zwiększono przede wszystkim produkcję ryb wędzonych (o 9,1% do 138,3 tys. t, w tym wędzonych łososi o 7,9% do 122,8 tys. t). Znacząco wzrosła także produkcja asortymentu mrożonego (o 6,4% do 115,0 tys. t), w tym głównie mrożonego mięsa (o 17,6% do 62,3 tys. t) oraz ryb solonych i suszonych (o 9,2% do 10,0 tys. t). W niewielkim zakresie zmieniła się podaż świeżych filetów (wzrost o 1,4% do 94,6 tys. t). W 2025 r. ceny zbytu produktów rybołówstwa były średnio o 2,6% niższe niż w 2024 roku. W tym czasie ceny podstawowych substytutów, tj. mięsa i jego przetworów wzrosły o 2,2%, a nabiału spadły o symboliczne o 0,1%. Szacuje się, że produkcja w całym przetwórstwie wyniosła w 2025 r. ok. 705 tys. t o wartość ok. 21,0 mld PLN.

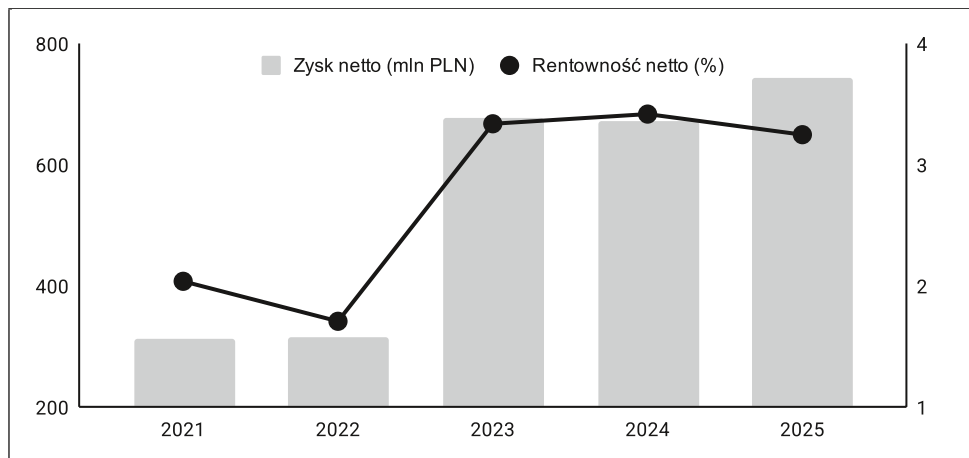
Tabela 8. Wielkość produkcji przetwórstwa rybnego (tys. t)

Wyszczególnienie	2023	2024	2024	2025
	zakłady o zatrudnieniu 10 i więcej osób	zakłady o zatrudnieniu 10 i więcej osób	zakłady o zatrudnieniu 50 i więcej osób	zakłady o zatrudnieniu 50 i więcej osób
Wielkość produkcji ogółem	661,1	700,3	579,6	589,9
Filety i mięso z ryb świeże i chłodzone	106,1	107,1	93,3	94,6
Ryby, filety i mięso mrożone	135,3	138,4	108,0	115,0
Ryby solone i suszone	19,0	15,0	9,2	10,0
Ryby wędzone	103,1	134,4	126,8	138,3
Ryby przetworzone lub konserwowane	269,2	260,0	242,4	232,0
- konserwy i prezerwy	79,9	75,1	80,6	80,3
- marynaty	86,5	78,5	76,1	69,7
- wyroby kulinarne i garmazeryjne	102,8	106,4	85,6	82,0
Pozostałe wyroby konsumpcyjne	3,9	4,4	-	-
Wyroby niekonsumpcyjne	24,5	41,0	-	-

Źródło: obliczenia autora na podstawie danych GUS.

W 2025 r. sektor przetwórstwa ryb osiągnął ponownie bardzo dobre wyniki finansowe. Zysk netto średnich i dużych zakładów o zatrudnieniu powyżej 9 osób załogi (85 jednostek, które złożyły sprawozdania) wyniósł 744 mln PLN i był o 10,6% wyższy niż rok wcześniej (78 podmiotów). Przychody ze sprzedaży wzrosły o 17,0% do 22,441 mld PLN, a koszty operacyjne o 16,6% do 21,464 mld PLN. W porównaniu z 2024 r. nieznacznie zmniejszyła się nadwyżka pozostałych przychodów operacyjnych nad kosztami, natomiast zdecydowanie pogorszył się bilans rozliczeń finansowych. Przychody uzyskiwane ze sprzedaży produktów w kraju wzrosły o 6,5% do 7,183 mld PLN i stanowiły 34,3% przychodów ogółem, natomiast wpływ z eksportu wzrosły o 23,4% do 13,787 mld PLN. Rentowność netto w sektorze zmniejszyła się w porównaniu z 2024 r. z 3,42 do 3,25%,

płynność bieżąca wzrosła z 1,47 do 1,62, a wskaźnik zadłużenia ogółem spadł z 54,0% do 50,5%. Wartości te były jednak nadal gorsze od notowanych w przemyśle spożywczym ogółem (PKD 10). Nakłady inwestycyjne w sektorze wyniosły w 2025 r. 389 mln PLN (wzrost o 21%), co oznacza zwiększenie wartości stopy inwestowania z 10,0 do 14,7%.



Rysunek 3. Zysk i rentowność sektora przetwórstwa ryb w latach 2021-2025

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych GUS.

Spożycie ryb i owoców morza

Krajowa podaż ryb, owoców morza oraz ich przetworów wyniosła w 2025 r. 491 tys. t (w ekwiwalencie masy żywej ryb) i była o 6,1% mniejsza niż przed rokiem. Złożył się na to spadek importu netto, czego nie zrównoważyły zwiększone połowy własne. Wskaźnik samowystarczalności zwiększył się o 5,9 pkt proc. do 40,1%.

Tabela 9. Bilans ryb i owoców morza w Polsce (tys. t masy żywej ryb)

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Połowy morskie	185,6	162,6	160,9	128,2	148,1
w tym: bałtyckie	123,1	109,9	95,4	75,4	71,6
dalekomorskie	62,5	52,7	65,5	52,8	76,5
Połowy śródlądowe i akwakultura	46,1	45,8	48,3	50,7	48,9
Razem połowy krajowe ^a	231,7	208,4	209,2	178,9	197,0
Import ^b	1039,0	988,6	1014,1	1036,9	1032,1
Eksport ^b	741,0	691,4	708,8	693,1	738,3
Podaż ryb konsumpcyjnych na rynek krajowy	529,7	505,6	514,5	522,7	490,8
Spożycie per capita (kg/mieszkańca)	13,97	13,39	13,67	13,94	13,15

^a połowy śródlądowe i akwakultura (bez połowów wędkarskich)

^b wielkość handlu zagranicznego, którego baza danych dostępna jest w masie produktów została przeliczona na masę żywą ryb w oparciu o metodykę stosowaną przez EUMOFA (<https://www.eumofa.eu/supply-balance-and-other-methodologies>)

Źródło: obliczenia autora na podstawie danych MRiRW, IRS-PIB, MIR-PIB oraz MF.

W konsekwencji spadku liczby ludności w Polsce w 2025 r. tempo spadku spożycia ryb i owoców morza w przeliczeniu na mieszkańca było nieco niższe niż podaży i wyniosło 5,7% (do 13,15 kg). Ze względu na brak stanu zapasów początkowych i końcowych na rynku i możliwość dłuższego przechowywania surowców mrożonych przeznaczanych do produkcji wyrobów gotowych np. w następnym roku, w celu obserwacji trendu bardziej właściwe wydaje się korzystanie ze średnich trzyletnich. W latach 2023-2025 spożycie przeciętnie wyniosło 13,57 kg/mieszkańca i było o 0,7% większe niż średnio w latach 2020-2022. W porównywanych okresach największy spadek spożycia odnotowano w przypadku ryb płaskich (o 28%) i dorszy (o 20%). O ok. 10% spadła konsumpcja makrele, o 7% morszczuków i o 6% mintajów. Na znaczeniu zyskiwały natomiast takie gatunki jak miruna (o 48%), łosoś (wzrost o 45%), tuńczyk (o 15%) czy ryby sardynkowate (o ok. 11%). Popyt na pstrągi zwiększył się o 4%. W konsumpcji dominują ryby morskie (81,1%). Zdecydowanie mniejszą rolę odgrywają ryby słodkowodne (15,1%) oraz owoce morza (3,8%).

Tabela 10. Spożycie ryb w Polsce wg danych bilansowych (w kg masy żywej na 1 mieszkańca)

Gatunek	2017-2019	2020-2022	2023-2025
Razem ryby i owoce morza	12,68	13,49	13,59
mintaje	2,17	2,62	2,45
śledzie	2,76	2,46	2,39
łososie	0,69	0,85	1,23
makrele	1,19	1,09	0,98
tuńczyki	0,52	0,65	0,74
szproty i sardynki	0,65	0,57	0,72
miruny	0,49	0,48	0,71
czarniaki	0,68	0,61	0,68
pstrągi i trocie	0,48	0,62	0,64
karpie	0,57	0,53	0,57
dorsze	0,94	0,70	0,56
owoce morza	0,37	0,50	0,52
ryby płaskie	0,74	0,67	0,48
morszczuki	0,42	0,49	0,46

Źródło: dane i obliczenia autora na podstawie danych MF, MRIRW, IRS-PIB i GUS.

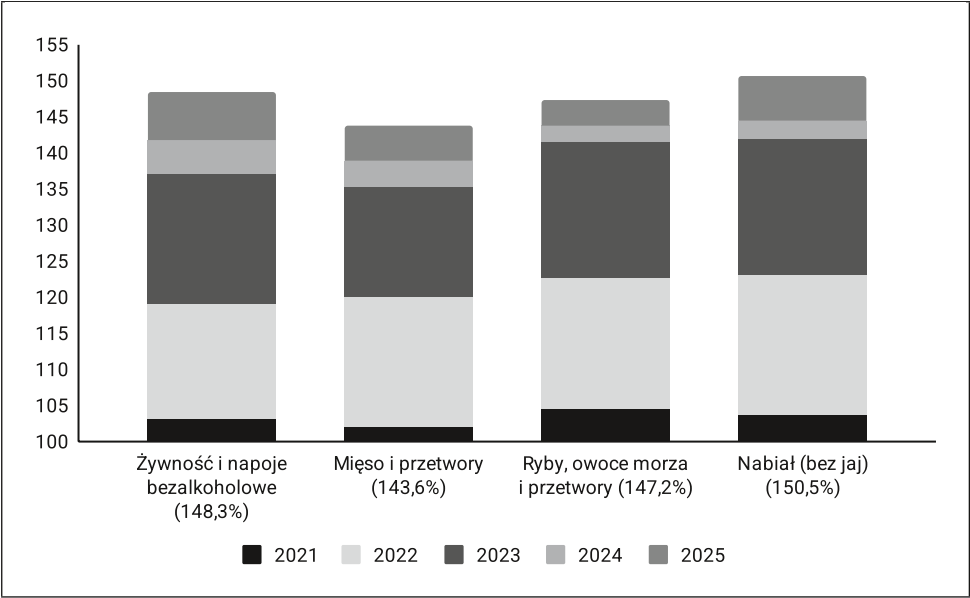
Według badań budżetów gospodarstw domowych prowadzonych przez GUS w okresie trzech kwartałów 2025 r. spożycie ryb i owoców morza świeżych, chłodzonych, solonych, wędzonych i suszonych (bez przetworów i konserw z ryb) nie zmieniło się w porównaniu z analogicznym okresem roku poprzedniego. Wydatki na wszystkie grupy produktów wyniosły natomiast 13,91 PLN/miesięcznie/osobę i były

o 9,5% wyższe. Uwzględniając wzrost wskaźnika cen detalicznych w tym okresie, realne wydatki gospodarstw domowych na produkty rybne wzrosły o 7,4%. W największym stopniu zwiększyły się wydatki na świeże i mrożone owoce morza (o 26,8% do 0,52 PLN), ryby świeże i chłodzone (wzrost o 15,7% do 3,10 PLN), produkty suszone, wędzone i solone (wzrost o 10,8% do 3,17 PLN) oraz na konserwy, marynaty, dania gotowe, wyroby garmazeryjne i inne przetwory (wzrost o 7,5% do 5,32 PLN/osobę miesięcznie). Mniejsze były natomiast wydatki na ryby mrożone (o 0,6% do 1,79 PLN). W ostatnim kwartale 2025 r. wraz z rosnącą dynamiką wzrostu cen detalicznych, konsumpcja ryb malała.

Ceny ryb i owoców morza

W 2025 r. ceny detaliczne ryb i owoców morza rosły, drugi rok z rzędu, zdecydowanie wolniej niż ceny żywności ogółem, w tym mięso i przetwory. Wpłynęły na to spadki cen zbytu produktów w zakładach przetwórstwa ryb (średnio o 2,6% w relacji do 2024 r.), w konsekwencji niskiej dynamiki wzrostu cen surowców rybnych na rynkach światowych, spadku cen frachtu oraz cen ropy naftowej, jak również wielu pozarybnych surowców wykorzystywanych w przetwórstwie (np. cukru). Dynamika wzrostu cen detalicznych znacząco przyspieszyła dopiero w listopadzie, a w grudniu nie odnotowano tradycyjnych obniżek cen. Średnio w 2025 r. ceny były wyższe niż przed rokiem o 2,3%. Spośród poszczególnych grup produktów najbardziej podrożały ryby i owoce morza suszone, wędzone i solone (o 6,4%), świeże owoce morza (3,5%) oraz ryby mrożone (o 3,3%). Wolniejsze było tempo wzrostu cen przetworów i konserw (o 1,8%) oraz mrożonych owoców morza (o 1,2%), a tańsze były ryby świeże i chłodzone (o 1,0%). Ceny żywności i napojów bezalkoholowych ogółem wzrosły w analizowanym okresie o 4,7%, w tym drobiu o 9,9%, przy spadku cen mięsa wieprzowego o 1,7%.

Średni wzrost cen detalicznych ryb i produktów rybnych w krajach Unii Europejskiej w 2025 r. wyniósł 2,5% (wg zharmonizowanych wskaźników cen konsumpcyjnych HICP). Najbardziej produkty rybne podrożały w Chorwacji (o 7,8%), Bułgarii, Portugalii i Rumunii (wzrost o 5,7-6,1%) oraz Litwie, Grecji i Łotwie (o 4,3-4,5%). Spadki cen odnotowano tylko w Szwecji (o 0,9%), Finlandii (o 0,6%) i Austrii (o 0,3%). Ryby i owoce morza wędzone, solone i suszone zdrożały przeciętnie w krajach UE o 3,6%, ryby świeże i chłodzone o 3,5%, ryby mrożone o 2,6%, a przetwory i konserwy o 1,0%. Ceny świeżych owoców morza wzrosły średnio o 3,3%, a mrożonych o 0,8%. Średni wzrost cen żywności i napojów bezalkoholowych wyniósł w analizowanym okresie w krajach UE 3,3%, a inflacja ogółem 2,5%.



Rysunek 4. Skumulowany wskaźniki wzrostu detalicznych ryb i owoców morza na tle innych grup żywności (2020=100)
Źródło: opracowanie autora na podstawie danych GUS.

Tabela 11. Ceny detaliczne wybranych produktów rybnych (PLN)

Produkt	masa	2024	2025	zmiana
Karp świeży, cały	1 kg	37,60	38,32	+1,9%
Łosoś świeży lub chłodzony	1 kg	-	82,89	x
Pstrąg świeży	1 kg	38,40	39,58	+3,1%
Filety mrożone z dorsza	1 kg	52,75	56,61	+7,3%
Filety mrożone z morskiczka	1 kg	40,10	40,99	+2,2%
Krewetki mrożone	500 g	51,45	52,71	+2,4%
Łosoś wędzony	100 g	14,16	14,11	-0,4%
Pstrąg wędzony	1 kg	52,07	53,33	+2,4%
Makreła wędzona	1 kg	27,77	33,31	+19,9%
Płaty lub filety śledziowe	1 kg	23,22	24,46	+5,3%
Filety śledziowe w sosie	400 g	12,36	12,64	+2,3%
Sardynka w oleju	160 g	6,93	6,76	-2,5%
Tuńczyk w sosie własnym	170 g	8,01	7,96	-0,6%
Paluszki rybne, mrożone	250 g	10,42	10,62	+1,9%

Źródło: obliczenia autora na podstawie danych GUS.

Tendencje zmian cen zbytu ryb bałtyckich w portach krajowych były w 2025 r. zbliżone do notowanych rok wcześniej. Nieznacznie wzrosły ceny śledzi (z 2,25 do

2,29 PLN/kg), a spadły szprotów (z 1,79 do 1,68 PLN/kg) i storni (z 2,10 do 1,92 PLN/kg). Niższe niż w 2024 r. były także ceny skupu, oferowanych w bardzo małych ilościach, łososi (o 1,0% do 57,63 PLN/kg), a wyższe dorszy (o 5,5% do 10,21 PLN/kg). Według wstępnych danych Morskiego Instytutu Rybackiego (badanie RRW-22) ceny zbytu karpia nieznacznie wzrosły do poziomu 15,82 PLN/kg (o 0,6%), natomiast pstrągi tęczowe potaniały o 6,9% do 17,86 PLN/kg.

Rynek i nabywcy ryb w danych YouGov Shopper Intelligence

Grzegorz Mech

Business Development Manager

YouGov CP Poland

00-838 Warszawa, Prosta 70, Grzegorz.Mech@yougov.com

1. Wstęp

Preferencje zakupowe i konsumpcyjne Polaków zmieniają się. To „oczywista oczywistość” jak mawiał klasyk. O zmianach pokoleniowych powiedziano już chyba wszystko. Szczególnie dużo uwagi poświęcono tzw. millenialsom, których nawet podzielono na dwa „pokolenia” – Y i Z. My przyjrzymy się zakupom ryb przez pryzmat zwyczajów żywieniowych polskich gospodarstw domowych, a mówiąc dokładniej zobaczymy, jak ryby kupują segmenty konsumentów wyodrębnione na podstawie analizy ich zakupów spożywczych. Firma YouGov przygotowała autorską segmentację polskich konsumentów bazującą na analizie wolumenu zakupów i wysokości wydatków na kilkadziesiąt kategorii spożywczych.

2. Metodologia

Dane zakupowe pochodzą z badania YouGov Shopper Intelligence (zakupy polskich gospodarstw domowych na swoje potrzeby, tzn. przynoszone do domu) oraz z opracowań własnych YouGov (Raport Eating Habbits – Zwyczaje Żywieniowe Polaków). Próba badawcza to 8.000 polskich gospodarstw domowych, próba reprezentatywna dla populacji 13.980.400 gospodarstw domowych w Polsce wg GUS; metoda zbierania danych: in-home scanning.

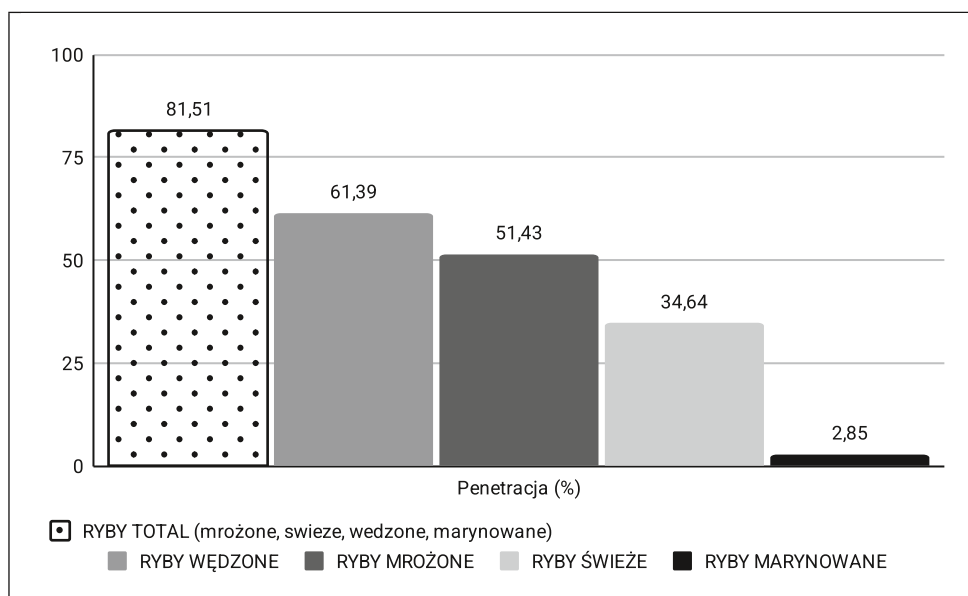
Do segmentacji konsumentów ze względu na zwyczaje żywieniowe został wykorzystany unikatowy na rynku proces segmentacji oparty na faktycznych zachowaniach zakupowych gospodarstw domowych (udziały wartościowe różnych kategorii spożywczych w ogólnych zakupach żywności).

Użyta metoda statystyczna (podejście dwuetapowe) - hierarchiczna analiza klastrowa, analiza skupień metodą K – średnich. Wyjściem do segmentacji było ponad 70 „twardych” zmiennych zakupowych, z których wiele ma charakter całkowicie unikatowy na rynku. Np.: category shares (np. juices – juices 100% - NFC; plant-based dairy/meat), „shares for eco bio, vege”, „high category count”, „high novelty share”.

Segmentacja została oparta na zakupach z okresu całego roku. W efekcie każde gospodarstwo w Panelu Gospodarstw Domowych ma przypisany segment „Style Żywieniowe” (wyróżniono 6 segmentów konsumentów).

3. Rynek i nabywcy ryb w Polsce – główne wnioski

W ciągu pierwszych sześciu miesięcy 2026 r. polskie gospodarstwa domowe wydały na zakupy ryb (ryby świeże, wędzone, mrożone, marynowane) bez mała 1,7 mld PLN. Produkty rybne znalazły się w tym czasie w koszykach zakupowych prawie 82% gospodarstw domowych. Każde z kupujących gospodarstw wydało na zakupy kategorii ponad 148 PLN i kupiło ponad 3 kg produktów rybnych. W ciągu tych sześciu miesięcy ryby były kupowane średnio ponad 6-krotnie.

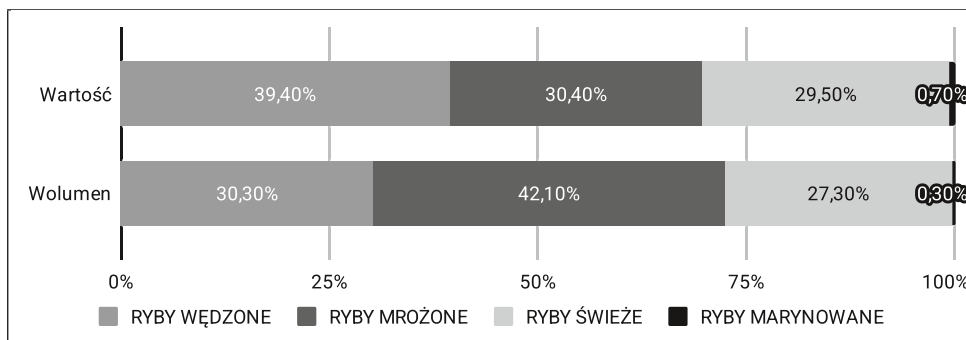


Rysunek 1. Ryby – penetracja zakupów w segmentach (HY1'2026)

Największą liczbę nabywców znalazły ryby wędzone – zakupu tego segmentu dokonało ponad 61% gospodarstw domowych w Polsce, a w dalszej kolejności ryby mrożone (51%) i ryby świeże (ok. 1/3 gospodarstw domowych).

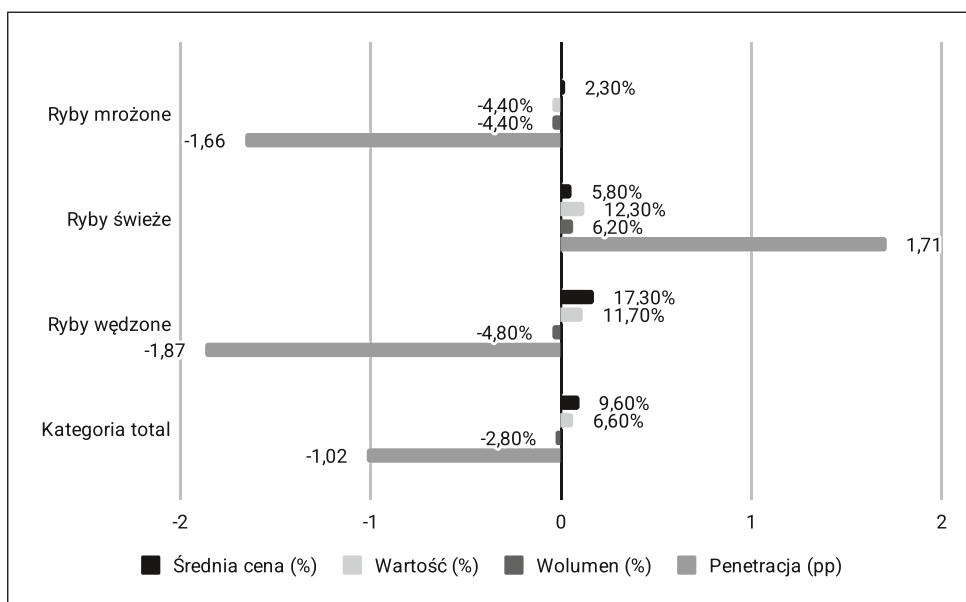
Największym segmentem w zakupach pod względem wolumenu były ryby mrożone, stanowiące ponad 42% zakupów kategorii w okresie styczeń – czerwiec 2026. Wartościowo z kolei liderem są ryby wędzone, odpowiadające za bez mała 40% wydatków na zakupy kategorii w analizowanym okresie. Ryby świeże stanowią w zakupach niecałe 30%, zarówno w ujęciu wartościowym jak też wolumenowym. Ryby marynowane

– najmniejszy z analizowanych segmentów produktowych to niecałe 1% zakupów gospodarstw domowych w Polsce.



Rysunek 2. Udział % segmentów w zakupach (HY1'2026)

W porównaniu z analogicznym okresem rok wcześniej obserwujemy spadek liczby nabywców we wszystkich analizowanych segmentach z wyjątkiem ryb świeżych i – analogicznie – malejący wolumen zakupów (spadek o prawie 3% dla całej kategorii, w tym dla ryb mrożonych i wędzonych o ponad 4% w obu przypadkach i wzrost o nieco ponad 6% dla segmentu ryb świeżych).

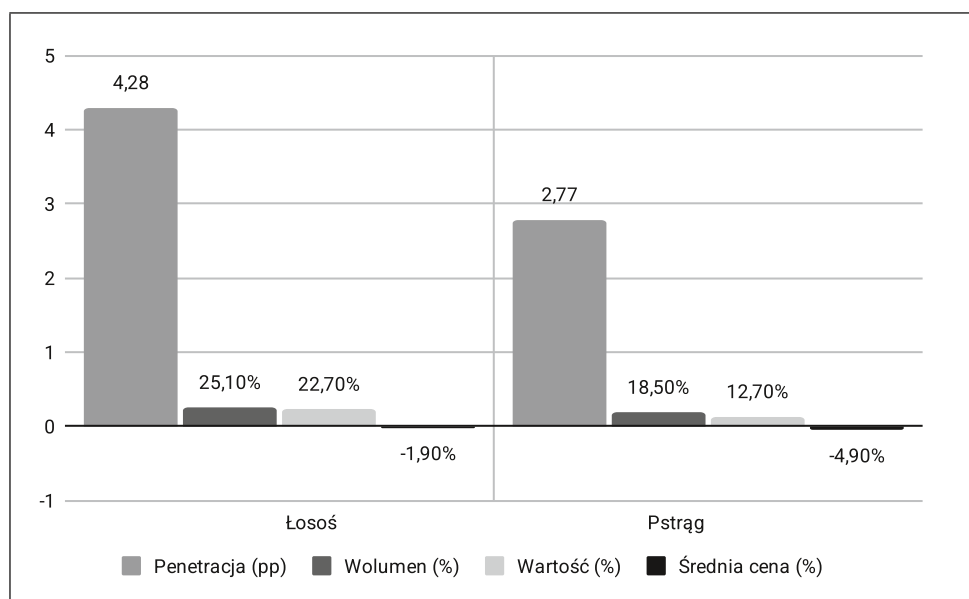


Rysunek 3. Zmiana głównych wskaźników dla segmentów (HY1'2026 vs HY1'2025)

Sytuacja ryb łososiowatych w porównaniu z kategorią i analizowanymi segmentami produktowymi wydaje się w tym ujęciu bardzo dobra. Oba gatunki – łosoś i pstrąg – pozyskały nowych nabywców. Łosoś kupiło o ponad 4pp nabywców więcej, niż w roku

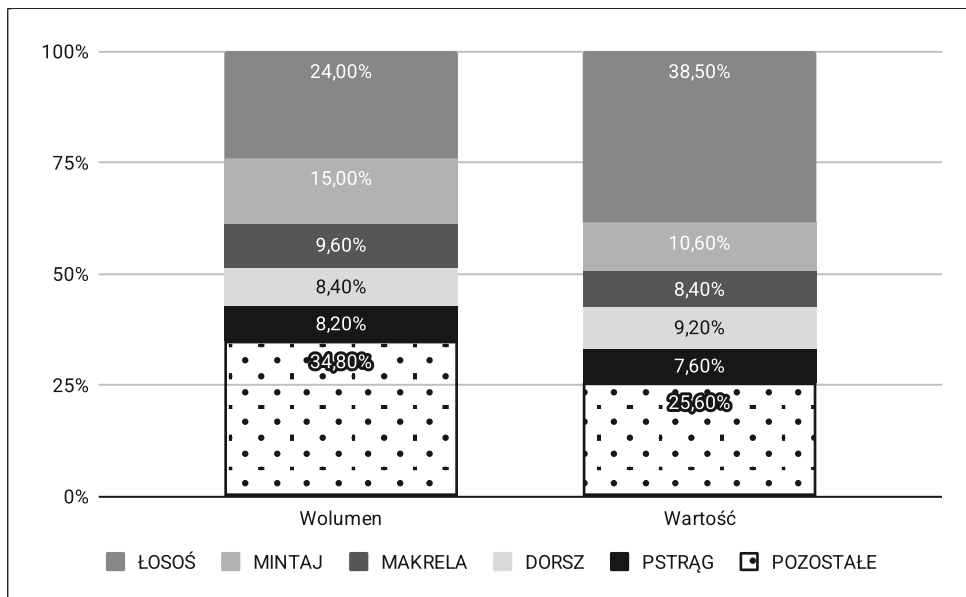
2025, a to oznacza prawie 600 tys. nowych nabywców. Pstrąg w tym samym czasie pozyskał bez mała 3pp nabywców, co oznacza z kolei prawie 390 tys. nowych nabywców. W efekcie wzrósł wolumen zakupów obu gatunków ryb – o 1/4 w przypadku łososia i ponad 18% dla pstrąga oraz ich wartość – odpowiednio o prawie 23% dla łososia i bez mała 13% dla pstrąga.

Wydaje się, że istotne znaczenie we wzroście zainteresowania konsumentów pstrągiem i łososiem miała erozja średnich cen rok do roku dla obu tych gatunków. Średnie ceny spadły o prawie 2% dla łososia i bez mała 5% dla pstrąga.



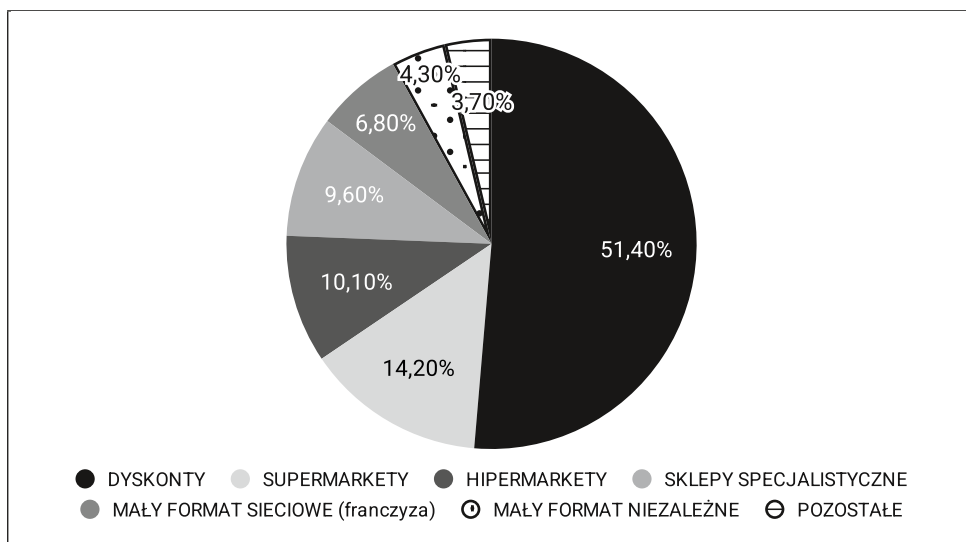
Rysunek 4. Łosoś i pstrąg – zmiana głównych wskaźników zakupowych (HY1'2026 vs HY1'2025)

W tak zdefiniowanej kategorii (musimy pamiętać, że w naszej analizie nie bierzemy pod uwagę ryb „przetworzonych” (w zalewach i sosach) oraz konserw rybnych), pięć najważniejszych gatunków to łosoś, mintaj, makrela i dorsz. Łącznie odpowiadają one za 2/3 wolumenu zakupów kategorii dokonywanych przez polskie gospodarstwa domowe i 3/4 ich wartości. Same łosoś i pstrąg stanowią 1/3 tak zdefiniowanego rynku w ujęciu wolumenowym i ponad 46% wartościowo.



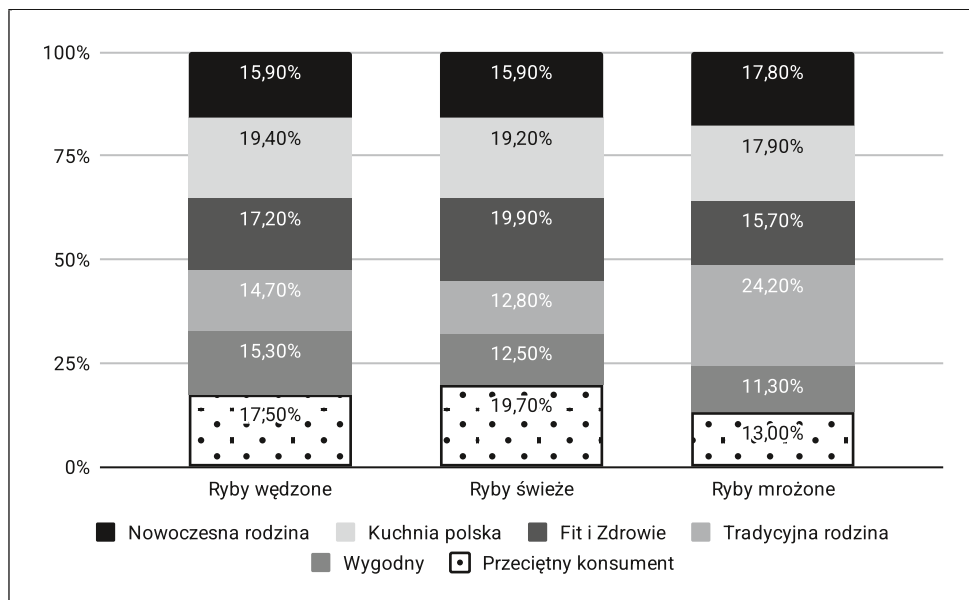
Rysunek 5. Udział % gatunków w zakupach kategorii (HY1'2026)

Ponad połowa wolumenu zakupów kategorii jest realizowana w sklepach dyskontowych, które zdominowały rynek. Drugie w kolejności są supermarkety, które odpowiadają za nieco ponad 14% wolumenu zakupów kategorii, a trzecie – hipermarkety – za 10%. Warto w tym miejscu zauważyć istotną pozycję sklepów specjalistycznych, które z udziałem 9,6% stanowią bez mała tyle samo co hipermarkety.



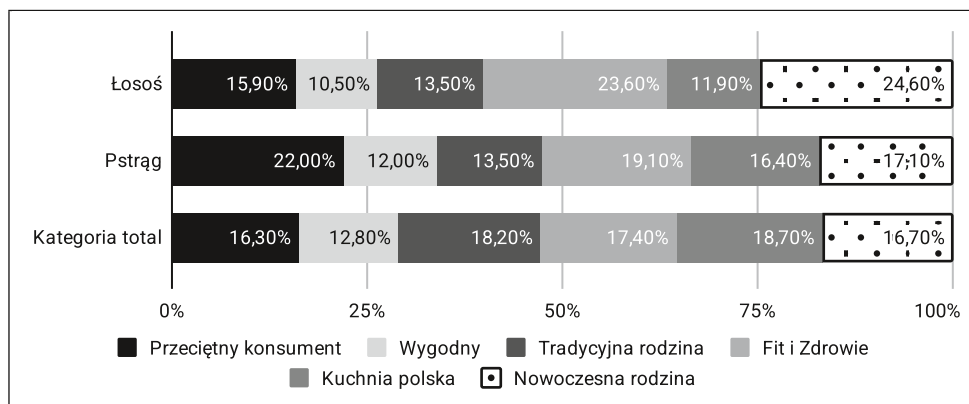
Rysunek 6. Kanały dystrybucji – udział % w wolumenie zakupów (HY1'2026)

Najważniejszy i tak naprawdę jedynym recenzentem wszystkich działań producentów i przetwórców są konsumenci. Spójrzmy zatem jakie segmenty ze względu na zwyczaje żywieniowe dominują w zakupach analizowanych segmentów produktowych i gatunków.



Rysunek 7. Udział % segmentów żywieniowych w wolumenie zakupów (CY 2025)

Patrząc na segmenty produktowe, wyraźnie wyróżnia się przede wszystkim segment nabywców określany jako Tradycyjna Rodzina w zakupach ryb mrożonych. Z punktu widzenia gatunków ryb z kolei, a szczególnie ryb łososiowatych, warto przyjrzeć się bliżej segmentowi Fit & Zdrowie w przypadku łososia i pstrąga oraz segmentowi Przeciętny Konsument w przypadku pstrąga.



Rysunek 8. Udział % segmentów żywieniowych w wolumenie zakupów (CY 2025)

Zobaczmy czym charakteryzują się poszczególne wymienione segmenty konsumentów?

Segment Fit & Zdrowie to segment konsumentów zorientowanych na zdrowie. Osoby te regularnie ćwiczą i chcą być w formie. Lubią być w ruchu, podróżować i uprawiać sport. Zwracają uwagę na jedzenie, chcą utrzymać odpowiednią figurę i być zdrowymi. Ograniczają mięso i tłuszcze, jedzą owsianki i piją kranówkę. Unikają cukru i oleju palmowego, jedzą produkty wysokobiałkowe.

Tradycyjna Rodzina to osoby zabiegane, mające na głowie wychowanie dzieci. Nie czują, że robią coś dla swojego zdrowia, nie ćwiczą i czują się obciążeni psychicznie. Stąd pozwalają sobie w kontekście diety na więcej, na przykład na produkty postrzegane jako niezdrowe, takie jak choćby słodzone napoje gazowane czy parówki. Deklarują, że chcieliby mieć mniej pośpiechu i spędzać z dziećmi więcej wartościowego czasu.

Przeciętny Konsument, to segment zachowawczy. Konsumenci ci nie przepadają za nowościami, nie lubią zmian, nie (jak to określają) katują się dietami. Przedstawiciele tego segmentu konsumentów szukają produktów bez sztucznych konserwantów i słodzików. Im łatwiejsze jest gotowanie, tym bardziej podoba się ono Przeciętnym Konsumentom. Osoby te lubią ogrodnictwo, wyjścia do kina czy teatru, nie lubią natomiast siedzieć w domu.

Podsumowując – rok 2026 wydaje się być (przynajmniej w pierwszej połowie) rokiem pewnej korekty w zakupach produktów rybnych. Wydaje się, że nie jest to nagła drastyczna zmiana, lecz raczej odpowiedź nabywców na niepewną sytuację geopolityczną i nietatwą wciąż sytuację ekonomiczną. Pewna ostrożność i racjonalizacja kosztów funkcjonowania. Należy zauważyć – choć ostrożnie – dobre sygnały dla pstrąga i łososa. Wzrost liczby nabywców, rosnący wolumen zakupów. Niestety (dla producentów i przetwórców) kosztem średnich cen, a co za tym idzie mniejszą zyskownością.

Dane z YouGov Shopper Panel (8.000 polskich gospodarstw domowych, zakupy dokonywane przez gospodarstwa domowe na swoje potrzeby – przynoszone do domu) oraz raportu własnego YouGov „Eating Habbits – zwyczaje żywieniowe Polaków”

Co zrobić, by pstrąg nie dzielił losu czarnej porzeczki? Stan obecny i perspektywy rynku konsumenckiego

Tomasz Kulikowski

Zakład Ekonomiki Rybackiej
Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy
81-332 Gdynia, Kołłątaja 1, tkulikowski@mir.gdynia.pl

1. Wstęp

Historia polskiej czarnej porzeczki powinna być dla branży pstrągowej ostrzeżeniem. Pokazuje bowiem, że silna pozycja produkcyjna nie jest równoznaczna z silnym rynkiem konsumenckim, a zdolność do efektywnego wytwarzania dużej ilości surowca nie gwarantuje, że produkt zajmie równie ważne miejsce w codziennych wyborach konsumenta.

Polska pozostaje jednym z najważniejszych producentów porzeczek na świecie. Według Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2024 r. zbiory porzeczek wyniosły około 100 tys. ton, z czego niemal 68 tys. ton stanowiła porzeczka czarna. Rok wcześniej zebrano około 91 tys. ton czarnej porzeczki, a powierzchnia jej uprawy przekraczała 35 tys. ha. Uprawą zajmuje się blisko 18 tys. gospodarstw. Porzeczki są kierowane przede wszystkim do przetwórstwa – na soki i mrożonki – a sprzedaż świeżych owoców odgrywa relatywnie małą rolę. Polska zajmuje przy tym drugie miejsce na świecie pod względem produkcji porzeczek (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi [MRiRW], 2026).

Skala podaży jest więc imponująca. Problem tkwi gdzie indziej: czarna porzeczka nie zdołała zbudować w Polsce pozycji napoju „pierwszego wyboru” odpowiadającej znaczeniu naszego kraju w jej produkcji. Na krajowym rynku napojów owocowych musiała rywalizować z jabłkiem, za którym stoi olbrzymia polska baza surowcowa – około 80% krajowych zbiorów owoców z drzew stanowią jabłka (MRiRW, 2026) – oraz z pomarańczą, która posiada niezwykle silny, globalny kapitał kulturowy i marketingowy w kategorii soków. Wynik tej konkurencji jest znamieny. Według danych przywoływanych przez Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries, opartych na badaniu Krajowej Unii Producentów Soków, smak pomarańczowy należał do najczęściej wskazywanych wyborów przez 52% badanych Polaków, jabłkowy przez 40%, multiwitaminowy przez 34%, a wieloowocowy przez 26%. Sok porzeczkowy niemal nie funkcjonuje w świadomości większości polskich konsumentów. Polska należy do największych importerów

soku pomarańczowego w Europie; w 2023 r. jego import wyniósł około 64,5 tys. ton o wartości 117,5 mln euro (Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries [CBI], 2025). Innymi słowy, produkt oparty na surowcu, którego w Polsce się nie produkuje, stworzył silniejszą kategorię konsumencką niż produkt, w którego produkcji Polska należy do światowej czołówki.

Nie należy oczywiście wyprowadzać z tych danych uproszczonego wniosku, że za sytuację czarnej porzeczki odpowiada wyłącznie „brak reklamy”. Dostępne statystyki nie pozwalają dowieść jednego prostego związku przyczynowego. Historia tego rynku obejmuje również cykliczne nadwyżki surowca, znaczną zależność producentów od przetwórstwa i eksportu oraz dużą zmienność relacji między wielkością podaży a cenami skupu. Można jednak postawić mocniejszą tezę strategiczną: polska czarna porzeczka w dużej mierze pozostała świetnym surowcem przemysłowym, zamiast stać się równie silnym produktem konsumenckim.

Producenci porzeczek od zawsze koncentrowali się na tym, ile można wyprodukować, komu sprzedać owoce i po jakiej cenie zostaną one skupione, podczas gdy znacznie słabiej rozwijano odpowiedź na pytanie: w jakiej sytuacji przeciętny konsument ma pomyśleć właśnie o czarnej porzeczce i dlaczego ma wybrać ją zamiast produktu konkurencyjnego?

To właśnie w tym miejscu analogia do rynku pstrąga staje się szczególnie użyteczna. Największym ryzykiem dla pstrąga nie jest bowiem to, że konsumenci będą go nie lubić. Ryzykiem jest to, że będą go lubić, ale zbyt rzadko będą o nim myśleć. Produkt może mieć dobry wizerunek, odpowiednią jakość, lokalne pochodzenie i rozsądną dostępność, a mimo to przegrywać walkę o uwagę i częstotliwość zakupu z produktem, który został silniej zakodowany w pamięci konsumenta, ma więcej wariantów, więcej zastosowań, więcej marek, więcej punktów styku z kulturą popularną i więcej okazji do spożywania.

W marketingu rozróżnienie to jest fundamentalne. Keller (1993) wskazuje, że siła marki konsumenckiej wynika nie tylko z jakości produktu, lecz także ze znajomości marki oraz z silnych, korzystnych i wyróżniających skojarzeń przechowywanych w pamięci. Romaniuk i Sharp (2004) rozwijają ten mechanizm poprzez pojęcie *brand salience* – zdolności marki do pojawiania się w umyśle w konkretnych sytuacjach zakupowych. Samo przekonanie konsumenta, że „pstrąg jest dobrą rybą”, nie wystarczy więc, jeżeli przy bodźcu „co zrobić dziś na kolację?”, „co kupić na grilla?”, „co zjeść po treningu?”, „co zrobić na randkę?” czy „co wrzucić do air fryera?” w pamięci najpierw pojawia się łosoś...

Czarna porzeczka przegrała przede wszystkim walkę o codzienny rytuał i o automatyczny wybór. Pstrąg nie powinien powtórzyć tego błędu.

2. Brak nawyku największym wyzwaniem marketingowym

Sok pomarańczowy funkcjonuje na rynku dzięki międzynarodowemu ekosystemowi dostaw, marek i utrwalałych zachowań konsumenckich. CBI (2025) wskazuje, że sok pomarańczowy odpowiada za zdecydowaną większość europejskiego importu analizowanej grupy soków cytrusowych i tropikalnych. Skala ekonomiczna kategorii wspiera tym samym jej obecność w handlu, gastronomii, hotelarstwie, reklamie i kulturze kulinarnej.

Czarna porzeczka nie stworzyła równie prostego i powszechnego „momentu konsumpcji”. Owszem, jest składnikiem soków, nektarów, syropów, dżemów, mrożonek czy produktów funkcjonalnych, ale w znacznie mniejszym stopniu zawłaszczyła jedną codzienną sytuację w rodzaju: „śniadanie = szklanka soku z czarnej porzeczki”. Z punktu widzenia marketingu jest to niebagatelna różnica. Konsument nie kupuje wyłącznie produktów; rozwiązuje konkretne potrzeby w konkretnych okolicznościach.

Badania nad tworzeniem nawyków pokazują, że automatyzacja zachowania powstaje przez jego powtarzanie w stabilnym kontekście. Lally et al. (2010) wykazali, że regularne wykonywanie zachowania w podobnej sytuacji powoduje stopniowy wzrost jego automatyczności, choć tempo formowania nawyku jest między ludźmi bardzo zróżnicowane. Oznacza to, że promocja produktu spożywczego nie powinna ograniczać się do przekazania wiedzy „produkt jest zdrowy”. Powinna wiązać produkt z powtarzalnym kontekstem: ze śniadaniem, grillem, szybką kolacją, spotkaniem z przyjaciółmi czy posiłkiem po treningu.

Mechanizm ten jest szczególnie istotny w przypadku żywności. Verbeke i Vackier (2005), badając determinanty spożycia ryb, wykazali znaczenie nie tylko nastawienia konsumenta, norm społecznych i postrzeganej kontroli, lecz również istniejącego nawyku. Olsen (2003) wskazywał z kolei na znaczenie wygody przygotowania jako czynnika pośredniczącego w spożyciu ryb i owoców morza. Dla branży oznacza to, że konsument może jednocześnie uważać ryby za pożywne i wartościowe, a mimo tego ich nie kupować, jeżeli produkt nie pasuje do jego repertuaru prostych, znanych i wygodnych posiłków.

Właśnie w tym sensie porzeczka jest ważniejszym ostrzeżeniem niż zwykłym przykładem z innej branży. Jej przypadek pokazuje, że nie wystarczy dysponować produktem, którego obiektywne cechy wydają się bardzo dobre. Nie wystarczy również okresowo informować o wysokiej zawartości określonych składników czy o krajowym pochodzeniu. Korzyści zdrowotne mogą pomagać, lecz smak i satysfakcja konsumpcyjna pozostają warunkiem akceptacji. Verbeke (2006) wykazał, że założenie, iż konsumenci zaakceptują gorsze doświadczenie smakowe w zamian za korzyści zdrowotne, jest strategicznie ryzykowne.

Lekcja dla pstrąga brzmi zatem: nie wolno pozwolić, aby głównym sukcesem branży było wyprodukowanie ryby. Sukcesem musi stać się jej zjedzenie – regularnie, w coraz większej liczbie sytuacji i przez coraz szersze grupy konsumentów.

Jest jeszcze jedna ważna lekcja. Po osiągnięciu przez produkt konkurencyjny dużej popularności działa mechanizm samowzmacniający. Popularny produkt częściej trafia do gazetki handlowej, częściej otrzymuje nowe warianty, chętniej jest wykorzystywany przez restauratorów, kucharzy i twórców internetowych, częściej występuje w przepisach, a konsumenci częściej dzielą się tymi przepisami. Większa ekspozycja generuje większą znajomość, ta ułatwia zakup, większy zakup uzasadnia dodatkową dystrybucję i innowacje, a te generują kolejne okazje kontaktu. Z perspektywy marketingowej jest to kula śnieżna dostępności mentalnej i fizycznej.

Badania nad reklamą pokazują przy tym, że jej skutków nie można zredukować do jednej natychmiastowej reakcji zakupowej. Komunikacja oddziałuje poprzez procesy poznawcze, emocje i doświadczenie, a jej efekty powinny być rozpatrywane w kontekście produktu, konkurencji i pozostałych elementów *marketing-mix* (Vakratsas & Ambler, 1999). Czarna porzeczka weszła więc na przełomie lat 80./90. XX wieku, na rodzącym się dynamicznie wolnym rynku, w konkurencję z produktami, których „kula śnieżna” rozprędziła się znacznie szybciej, m.in. za sprawą globalnej obecności w łańcuchach dostaw i świadomości konsumenckiej. Pstrąg znajduje się obecnie w podobnym miejscu wobec łososia – ale jeszcze nie w sytuacji przegranej.

3. Pstrąg: mocny produkt, ale wciąż słaba kategoria konsumencka

Pozycja wyjściowa polskiego pstrąga jest pod wieloma względami lepsza niż mogłoby wynikać z pesymistycznej analogii do porzeczki. Polska dysponuje realną bazą produkcyjną. W 2024 r. wyprodukowała 43,6 tys. ton produktów akwakultury, co dawało około 5% produkcji całej Unii Europejskiej i miejsce wśród pięciu największych producentów. W skali całej UE pstrągi stanowiły w 2024 r. 17,2% wolumenu akwakultury i należały do najcenniejszych ekonomicznie grup produkowanych w unijnej akwakulturze – odpowiadając za blisko 18% jej wartości (Eurostat, 2026). Jest to zatem produkt sektora o istotnym znaczeniu gospodarczym, a nie marginalna nisza.

Pstrąg dysponuje również cechą niezwykle cenną z punktu widzenia wyróżnienia kategorii: zachował relatywnie silną tożsamość całej ryby. W ofercie dużych sieci handlowych nadal spotkać można świeżego, patroszonego pstrąga tęczowego z polskiej hodowli oferowanego w całości. Taki format daje produktowi wizualną rozpoznawalność, której nie zapewnia anonimowy filet, i pozwala opowiadać o świeżości, pochodzeniu oraz

prostocie przygotowania. Jest to jednocześnie atut, który trzeba chronić, ale nie wolno na nim poprzestać.

Drugą przewagą jest fakt, że branża nie zaczyna od zera w zakresie komunikacji. Kampania „Teraz Pstrąg” była realizowana jako wieloletni program i wykorzystywała telewizję, outdoor, VOD, YouTube, Facebook, Instagram oraz współpracę ze znanymi kucharzami i twórcami internetowymi. Także kampania „Nasz Pstrąg” działała na rzecz zwiększenia popytu i budowanie pozytywnego wizerunku pstrąga, zwiększanie wiedzy konsumentów, działania w segmencie HoReCa i komunikację w kluczowych serwisach społecznościowych (Stowarzyszenie Producentów Ryb Łososiowatych [SPRŁ], 2024).

To istotne, ponieważ diagnoza nie powinna brzmieć: „pstrąga w ogóle się nie promuje”. Taka teza byłaby po prostu nieprawdziwa. Właściwa diagnoza brzmi: dotychczasowe działania promocyjne nie powinny być traktowane jako skończone kampanie, lecz jako początek stałego systemu budowania popytu. Różnica jest zasadnicza. Kampania ma datę rozpoczęcia i zakończenia; rynek konsumencki musi być podtrzymywany nieprzerwanie.

Trzecią mocną stroną jest relatywnie przyjazny punkt wyjścia wizerunkowego. Aktualna komunikacja branżowa może odwoływać się do polskiego pochodzenia, hodowli, jakości, smaku, zrównoważonej akwakultury i wszechstronności kulinarnej. Cele programu „Nasz Pstrąg” obejmują utrwalanie pozytywnego wizerunku pstrąga i producentów oraz działania ograniczające ryzyko kryzysów wizerunkowych (SPRŁ, 2024). Nie oznacza to, że przeprowadzono reprezentatywną analizę sentymentu pozwalającą stwierdzić, iż „hejtu nie ma”. Oznacza jednak, że branża nie musi na starcie odwracać jednego dominującego, powszechnie utrwalonego negatywnego symbolu kategorii – może przede wszystkim budować pozytywne skojarzenia i zastosowania.

Czwartą mocną stroną jest obecność w nowoczesnym handlu. Pstrąg nie jest produktem, po który konsument musi jechać wyłącznie do specjalistycznego sklepu rybnego. Monitoring ofert detalicznych pokazuje zarówno świeżego całego pstrąga, jak i produkty wędzone. Nie uprawnia to do stwierdzenia, że każda sieć i każdy sklep utrzymują pełną dostępność przez cały rok – taki wniosek wymagałby panelowego pomiaru dystrybucji – ale pokazuje, że istnieje już infrastruktura fizycznej obecności kategorii w handlu wielkopowierzchniowym.

Piąty atut wynika z ogólnej sytuacji kategorii ryb. W badaniu Eurobarometru przeprowadzonym jesienią 2024 r. 58% respondentów w UE deklarowało spożywanie produktów rybołówstwa i akwakultury w domu przynajmniej raz w miesiącu. Jednocześnie częstotliwość konsumpcji spadła względem 2021 r., a cena stała się najważniejszym deklarowanym czynnikiem zakupu dla 55% respondentów (European Commission, 2025).

Oznacza to, że rynek ryb istnieje, lecz coraz silniej premiuje rozwiązania uzasadniające swoją cenę i minimalizujące wysiłek konsumenta.

Najważniejsza konkluzja z analizy mocnych stron jest paradoksalnie wymagająca: pstrąg nie ma problemu złego produktu. Ma problem niewykorzystanego produktu. Ma zaplecze produkcyjne, historię promocji, rozpoznawalny wygląd, możliwość komunikowania polskiego pochodzenia i istniejącą dystrybucję. To bardzo dużo. Brakuje natomiast systemu, który wszystkie te atuty zamieniłby w wysoką częstotliwość pojawiania się pstrąga w pamięci, na półce, w smartfonie i w jadłospisie konsumenta.

4. Gdzie pstrąg przegrywa z łososiem

Najbliższym punktem odniesienia dla pstrąga nie powinien być karp, dorsz ani min-taj, lecz łosoś. Oba produkty należą do podobnego pola wyboru konsumenta poszukującego ryby o wyrazistym charakterze, nadającej się do przygotowania zarówno na ciepło, jak i w produktach gotowych lub wędzonych. Różnica polega na tym, że łosoś przestał być jedynie gatunkiem ryby, a stał się rozbudowanym systemem konsumpcyjnym.

Skala zaplecza ekonomicznego łososia jest ogromna. Dane EUMOFA dotyczące Polski pokazują dominującą rolę łososia w wartości polskiego handlu zagranicznego produktami rybołówstwa i akwakultury (European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products [EUMOFA], 2026). Nie są to dane o bezpośrednim spożyciu krajowym i nie wolno ich tak interpretować, ale dobrze obrazują dysproporcję skali ekosystemu biznesowego, przetwórczego i handlowego, który pracuje na rzecz łososia.

Przewaga łososia nie jest jednak wyłącznie przewagą skali. Jest nade wszystko przewagą liczby okazji konsumpcyjnych. Współczesne portfolio tej kategorii obejmuje nie tylko świeży filet, lecz również porcje, produkty wędzone, gravlax, warianty przyprawione przeznaczone bezpośrednio do pieczenia, produkty ready-to-eat (w tym sushi), sałatki, kanapki czy wrapy. Jedna ryba zostaje w ten sposób włączona w śniadanie, przekąskę, lunch „do ręki”, sałatkę, szybki obiad, kolację i posiłek inspirowany kuchnią azjatycką.

Pstrąg ma wprowadzić warianty wędzone i coraz większą liczbę produktów przetworzonych (ostatnio pojawiły się na większą skalę np. burgery z pstrąga i sałatki z pstrągiem), ale nie widać wokół niego porównywalnie rozwiniętej, szeroko widocznej architektury jednej silnej marki konsumenckiej i licznych formatów rozwiązujących różne sytuacje żywieniowe. Kierunek różnicy pomiędzy ofertą pstrągową i łososiową jest strategicznie ważny: łosoś jest sprzedawany nie tylko jako ryba, lecz jako zestaw gotowych odpowiedzi na pytanie „co zjem?”.

Pierwszą zasadniczą słabością pstrąga jest zatem niewystarczająca dostępność mentalna. Młody konsument nie musi mieć nic przeciwko pstrągowi. Wystarczy, że

w momencie podejmowania decyzji wcześniej przypomni sobie łososia, krewetki, kurczaka, makaron czy pizzę. Romaniuk i Sharp (2004) pokazują, że brand salience nie oznacza jedynie ogólnej znajomości, lecz zdolność produktu lub marki do pojawiania się w pamięci w różnych sytuacjach zakupowych. Jeżeli pstrąg jest pamięciowo związany przede wszystkim z hasłem „zdrowa polska ryba” albo „ryba na grilla”, a łosoś z wieloma różnymi sytuacjami, łosoś ma po prostu więcej „wejść” do pamięci konsumenta.

Druga słabość to niewystarczająca obecność w kulturze kulinarnej młodego konsumenta. Szczególnie łatwo zobaczyć ten problem na przykładzie TikToka, Instagrama, YouTube Shorts czy wyszukiwania inspiracji kulinarnych. Nie istnieje publiczny, stabilny i audytowalny licznik, który pozwalałby uczciwie podać proporcję filmów „łosoś : pstrąg” na TikToku; wyniki są personalizowane i zmieniają się w czasie. Dlatego obserwacji, że młody użytkownik znajduje tam znacznie więcej atrakcyjnych zastosowań łososia i krewetek niż pstrąga, nie należy przedstawiać jako zmierzonej statystyki, lecz jako autorską hipotezę, której weryfikacja wymagałaby cyklicznego audytu platform. Sam mechanizm znaczenia takiej ekspozycji jest natomiast dobrze udokumentowany. Analizy materiałów influencerów pokazują wysoką obecność bodźców związanych z żywnością w treściach internetowych (Coates et al., 2019a), a eksperymentalne badania wskazują, że ekspozycja na promowane jedzenie może wpływać na zachowania konsumpcyjne odbiorców (Coates et al., 2019b). Systematyczny przegląd literatury potwierdza szerzej wpływ marketingu żywności na postawy, preferencje i konsumpcję młodych odbiorców (Smith et al., 2019). Nie oznacza to automatycznie, że jeden film influencera „sprzeda pstrąga”; oznacza, że nieobecność produktu w cyfrowej kulturze jedzenia pozostawia ogromną liczbę kontaktów konkurencji.

Trzecia słabość to brak silnych marek konsumenckich o skali porównywalnej z markami obecnymi w kategorii łososia. Pstrąg bywa identyfikowany przede wszystkim przez gatunek, producenta niewidocznego dla kupującego albo markę własną sieci. Łosoś może być dodatkowo wspierany przez charakterystyczną markę, opakowanie, język komunikacji, warianty smakowe oraz powtarzalne elementy identyfikacji. Z punktu widzenia modelu Kellera (1993) to właśnie znajomość oraz sieć silnych, korzystnych i wyróżniających skojarzeń tworzą konsumencki kapitał marki. Nie oznacza to, że każdy hodowca pstrąga powinien próbować samodzielnie stworzyć markę ogólnopolską. Koszty takiej strategii byłyby dla wielu przedsiębiorstw nieracjonalne. Oznacza natomiast potrzebę budowy silnego parasola kategorii, pod którym firmy prywatne mogą rozwijać własne marki.

Czwarta słabość to za mało okazji zakupowych wynikających z ograniczonego zróżnicowania formatów. Cała ryba jest zaletą identyfikacyjną, lecz dla jedno- lub dwuosobowego gospodarstwa może jednocześnie oznaczać większą barierę przygotowa-

nia niż porcja filetu. Konsument musi wiedzieć, jak rybę przyprawić, ile piec, co zrobić z ośmi, jak podzielić porcję i jak rozpoznać właściwy stopień przygotowania. Badania Olsena (2003) wskazują znaczenie postrzeganej wygody dla konsumpcji ryb, a najnowsze badania europejskie pokazują rosnącą wagę ceny i praktyczności zakupu (European Commission, 2025). Dlatego paradoksalnie trzeba jednocześnie bronić całego pstrąga i uwolnić pstrąga od konieczności kupowania go w całości. Cała ryba powinna pozostać bohaterem wizualnym kategorii: symbolem świeżości, pochodzenia i autentyczności. W sprzedaży powinny jednak obok niej rosnać porcje 150–200 g, filet ze skórą, zestaw dla dwóch osób, produkt przyprawiony do piekarnika lub air fryera oraz formaty gotowe do jedzenia (wszak wiemy, że pstrąg wyśmienicie się sprawdza jako składnik sushi, surowiec na tatara czy seviche, ryba marynowana - tylko, że produktów tych na półce sklepowej obecnie praktycznie nie ma).

Piąta słabość dotyczy liczby momentów spożycia poza klasycznym obiadem. Łosoś jest obecny w produktach wędzonych, kanapkach, sałatkach, przekąskach i nowoczesnych formatach convenience. Pstrąg w świadomości szerokiego odbiorcy pozostaje częściej „rybą, którą trzeba przyrządzić”. Im większa jest różnica między „kupuję składnik do gotowania” a „kupuję gotowe rozwiązanie głodu”, tym więcej codziennych okazji przejmie konkurent.

Szоста słabość ma charakter międzynarodowy. Łosoś dysponuje globalnym kapitałem kulinarnym: jest produktem obsługiwany przez olbrzymi międzynarodowy handel, przetwórstwo oraz marki, dzięki czemu innowacja przygotowana na jednym rynku może być łatwo przenoszona na inne. To dlatego tureccy producenci pstrągów postanowili kreować markę „Turkish Salmon”, bo mają świadomość, że na rynkach globalnych znacznie łatwiej i taniej jest podpiąć się pod łososa, niż po mało promowanego pstrąga. Nie należy jednak w Polsce próbować udawać pstrągiem łososa... Pstrąg jest znakomitym kandydatem na dobro lokalne i regionalne.

Pstrąg powinien pożyczyć od łososa mechanikę wzrostu, a nie jego tożsamość: skalę treści, liczbę okazji, wygodę, markowanie, nowoczesne formaty i obecność w popkulturze kulinarnej – zachowując przy tym polskie pochodzenie, świeżość i rozpoznawalność całej ryby.

Siódma słabość jest być może najważniejsza: branża nadal zbyt łatwo może mierzyć sukces liczbą zrealizowanych kampanii, wyświetleń lub publikacji, zamiast zmianą zachowania konsumentów. Tymczasem celem nie powinno być to, żeby milion osób zobaczyło reklamę pstrąga. Celem jest to, żeby większa liczba ludzi zaczęła kupować go pierwszy raz, ponownie kupić w kolejnych tygodniach, poznała kilka prostych zastosowań i w coraz większej liczbie sytuacji rozważała pstrąga jako naturalną opcję.

5. Jak buduje się popularność: mechanizm, którego nie zastąpi pojedyncza kampania

Popularność produktu żywnościowego można potraktować jako rezultat czterech współpracujących systemów: pamięci, dostępności, okazji i społecznego potwierdzenia.

Pierwszy system to pamięć. Konsument musi kojarzyć pstrąga nie z jednym abstrakcyjnym komunikatem „warto jeść ryby”, lecz z wieloma konkretnymi bodźcami. Koncepcja brand salience wskazuje, że im bogatsza sieć sytuacyjnych powiązań w pamięci, tym większa szansa przywołania produktu w momencie wyboru (Romaniuk & Sharp, 2004). Dlatego celem komunikacyjnym powinno być zbudowanie takich połączeń jak: *piątek = pstrąg; grill = pstrąg; air fryer = pstrąg; szybka kolacja = pstrąg; kolacja we dwoje = pstrąg; polska ryba = pstrąg; coś lekkiego po treningu = pstrąg; wędzona ryba na śniadanie = pstrąg*.

Drugi system to fizyczna dostępność. Nawet najlepsza komunikacja nie pomoże, jeżeli produkt po dotarciu konsumenta do sklepu jest dostępny w jednym wariantcie, podczas gdy konkurent ma całą półkę. Rozwój formatów łososia pokazuje, jak asortyment sam staje się nośnikiem marketingu: inny produkt przypomina o pieczeniu, inny o przekąsce, inny o kanapce, jeszcze inny o lunchu.

Trzeci system to nawyk. Nie tworzy się go jednym „flightem” telewizyjnym. Lally et al. (2010) pokazują, że automatyzacja zachowania wymaga jego wielokrotnego powtarzania w podobnym kontekście. W praktyce oznacza to, że komunikacja pstrąga powinna mieć charakter *always-on*, a poszczególne sezony powinny wzmacniać te same sytuacje konsumpcyjne, zamiast co roku zaczynać zupełnie nową opowieść.

Czwarty system to społeczne potwierdzenie popularności. Popularny produkt wygląda na jeszcze bardziej popularny, ponieważ konsument widzi go u kucharzy, influencerów, restauratorów, znajomych i innych użytkowników. Marketing cyfrowy jest w tym kontekście szczególnie ważny. Berger i Milkman (2012) wykazali, że praktyczna użyteczność, zainteresowanie i emocjonalne pobudzenie zwiększają skłonność odbiorców do społecznego rozpowszechniania treści. Oznacza to, że film „Pstrąg jest źródłem wartościowych składników” może być poprawny informacyjnie, ale film „Kolacja za 25 zł, która wygląda jak z restauracji – pstrąg w 12 minut” ma znacznie większy potencjał użytkowy i społeczny.

Stąd wynika ważna zmiana sposobu myślenia o promocji. Branża nie potrzebuje wyłącznie więcej reklamy. Potrzebuje więcej kultury konsumpcji pstrąga. Reklama jest jednym ze sposobów tworzenia tej kultury, ale nie jedynym. Muszą powstać setki powtarzalnych przepisów, formatów, pomysłów, wyzwania, półproduktów i okazji, dzięki którym pstrąg przestanie być „rybą, którą czasem warto zjeść”, a zacznie być „jedną z oczywistych odpowiedzi na dzisiejszy posiłek”. Literatura dotycząca działania reklamy

przestrzega przed traktowaniem konsumenta jak uczestnika prostego, liniowego modelu „zobaczyć – przekonać się – kupić” (Vakratsas & Ambler, 1999).

W tym miejscu trzeba również inaczej spojrzeć na zdrowie. Walory żywieniowe powinny pełnić rolę racjonalnego potwierdzenia dobrej decyzji, a nie całej idei produktu. Człowiek szukający „fajnej kolacji” przede wszystkim chce fajnej kolacji. Zdrowotność może sprawić, że wybór będzie dodatkowo satysfakcjonujący, ale nie powinna zastępować smaku, apetyczności, prostoty i atrakcyjności społecznej. Wyniki Verbeke (2006) dotyczące kompromisu między smakiem a zdrowiem ostrzegają przed opieraniem strategii żywności przede wszystkim na oczekiwaniu, że konsument podporządkuje przyjemność argumentowi funkcjonalnemu.

Dlatego zamiast komunikatu „jedz pstrąga, bo jest zdrowy” potrzebny jest kod: „zobacz, jak dobrze można zjeść pstrąga – a przy okazji wybierasz wartościową rybę”. Dotyczy to również przekazu o polskości. Samo „produkt polski” jest ważnym dowodem pochodzenia, ale nie tworzy wystarczająco silnej propozycji wartości. Należy zamienić lokalność w korzyść: krótsza historia produktu, konkretne gospodarstwo, świeżość, identyfikowalne pochodzenie, woda, hodowca, nowoczesna akwakultura.

Najbardziej niebezpieczny scenariusz wyglądałby zatem następująco: pstrąg pozostaje dostępny, konsumenci deklarują pozytywny stosunek, branża co kilka lat realizuje większą kampanię, ale łośoś systematycznie zwiększa liczbę formatów, marek, restauracyjnych zastosowań i cyfrowych kontaktów. Po kilkunastu latach pstrąg byłby nadal „dobrą polską rybą”, lecz kategorią kupowaną głównie przez istniejących użytkowników. To dokładnie ten typ sukcesu produkcyjnego i porażki konsumenckiej, którego należy unikać.

6. Rekomendacje strategiczne i pakiet działań operacyjnych

Strategia dla pstrąga powinna zostać zbudowana nie jako kolejna kampania promocyjna, lecz jako wieloletni program rozwoju kategorii konsumenckiej. Kampania „Nasz Pstrąg” na lata 2024–2027 jest naturalną platformą startową, ponieważ jej oficjalne cele obejmują wzrost popytu, kształtowanie wizerunku, działania w mediach społecznościowych oraz zwiększenie obecności pstrąga w różnych okazjach konsumpcyjnych (SPRŁ, 2024). Rekomendacja nie polega więc na zastąpieniu tego projektu, lecz na takim jego rozwinięciu, aby po zakończeniu perspektywy projektowej mechanizm budowania popytu działał dalej.

Po pierwsze – jednoznaczne pozycjonowanie. Pstrąg powinien posiadać własne terytorium znaczeniowe, odróżniające go zarówno od łośosia, jak i od tradycyjnych ryb świątecznych. Możliwe brzmienie platformy pozycjonującej to: „Pstrąg – świeża polska ryba na zwykły dzień i dobry wieczór” albo bardziej użytkowo: „Pstrąg. Polska ryba,

którą umiesz zrobić." W pierwszym wariancie akcentowana jest codzienność i emocja, w drugim usuwana jest bariera kompetencyjna. W obu przypadkach trzeba odejść od modelu, w którym centralnym komunikatem jest wyłącznie zdrowotność. Pozycjonowanie należy następnie przełożyć na ograniczoną liczbę stałych „wejść” do pamięci: szybka kolacja, grill, posiłek dla dwojga, lekki posiłek, polska ryba, air fryer oraz śniadanie lub przekąska w wariancie wędzonym. To właśnie z tymi sytuacjami konsument powinien wielokrotnie spotykać pstrąga. Takie podejście wynika bezpośrednio z koncepcji dostępności mentalnej i budowania struktur pamięciowych (Romaniuk & Sharp, 2004).

Po drugie – budowa trwałej marki kategorii. „Nasz Pstrąg” powinien z czasem stać się czymś więcej niż nazwą programu informacyjnego. Powinien być rozpoznawalnym przez konsumenta parasolem jakościowym i komunikacyjnym. Potrzebne są stałe elementy wizualne, prosta obietnica, znak widoczny na opakowaniach i w gastronomii oraz konsekwentny język. Kapitału marki nie buduje się coroczną zmianą hasła, kolorystyki i konceptu, lecz przez kumulowanie rozpoznawalności i skojarzeń (Keller, 1993). Wspólna marka kategorii nie powinna blokować marek producentów. Wręcz przeciwnie – pstrąg potrzebuje również przedsiębiorstw zdolnych tworzyć silne marki konsumenckie, tak jak w kategorii łososia robią to firmy oferujące rozbudowane portfolio pod jednym oznaczeniem. Marka kategorii może zapewnić fundament zaufania i polskiego pochodzenia, podczas gdy marki prywatne będą konkurowały innowacją, smakiem, wygodą i ceną.

Po trzecie – „fabryka zastosowań”, a nie biblioteka kilkunastu przepisów. Celem powinno być wytworzenie takiej liczby prostych treści, aby konsument poszukujący inspiracji regularnie napotykał pstrąga. Nie chodzi o wyprodukowanie raz w roku dziesięciu pięknie zrealizowanych filmów. Chodzi o stały strumień setek krótkich materiałów przygotowywanych przez kucharzy, mikroinfluencerów, twórców fitness, studentów, rodziców, dietetyków i zwykłych użytkowników. Treści powinny być projektowane pod zapytanie konsumenta, nie pod komunikat branży: „pstrąg w air fryerze”, „obiad w 15 minut”, „kolacja na randkę”, „tani sposób na rybę”, „pstrąg dla osoby, która nie umie gotować ryb”, „grill bez karkówki”, „lunchbox z pstrągiem”, „pstrąg w stylu azjatyckim”, „pstrąg dla dzieci”, „co zrobić z wędzonym pstrągiem”. Badania nad rozprzestrzenianiem treści wskazują, że praktyczna użyteczność zwiększa ich potencjał społecznego przekazywania (Berger & Milkman, 2012). TikTok powinien być w tej strategii nie tylko kanałem reklamowym, ale mierzalnym polem konkurencji o kulturę kulinarną. Pierwszym zadaniem powinien być profesjonalny audyt cyfrowy: liczba wyników i filmów dla fraz związanych z pstrągiem, łososiem i krewetkami; liczba publikujących twórców; łączny zasięg; średnie zaangażowanie; dominujące sytuacje konsumpcyjne; liczba organicznych publikacji niezwiązanych z kampaniami płatnymi. Badanie należy powtarzać

kwartalnie. Dzięki temu intuicję „wszędzie jest łosoś, prawie nie ma pstrąga” można zamienić w mierzalny wskaźnik *share of culinary content*.

Po czwarte – radykalne zwiększenie liczby formatów produktu. Nie należy rezygnować z całego pstrąga; należy wykorzystać go jako ikonę kategorii. Jednocześnie potrzebne są formaty zmniejszające barierę przygotowania: pojedyncza porcja filetu, dwa filety dla pary, produkt przyprawiony, tacka do piekarnika, wariant „air fryer”, zestaw grillowy, kawałki do sałatki oraz format rodzinny. Drugim polem innowacji powinien być pstrąg gotowy do jedzenia. Wędzenie daje już technologiczną bazę, ale kategorię trzeba rozwinąć w plastry śniadaniowe, porcje wędzone na ciepło i zimno, pastę, *rillettes*, sałatkę, kanapkę, *wrap*, *bowl* i inne formaty odpowiadające współczesnym okazjom przekąskowym. W przypadku formatów przeznaczonych do spożywania bez obróbki cieplnej konieczne jest oczywiście stosowanie technologii i łańcucha chłodniczego zaprojektowanych dla takiego zastosowania oraz właściwych wymogów bezpieczeństwa żywności.

Po piąte – strategia „półka + media” zamiast osobnych światów marketingu i sprzedaży. Reklama pstrąga musi kończyć się produktem, którego konsument może łatwo znaleźć. Każdy większy okres komunikacji powinien być skoordynowany z sieciami handlowymi: gwarancja właściwej dystrybucji, kilka formatów cenowych, ekspozycja, promocja pierwszej lub drugiej próby, kod QR prowadzący do przepisu oraz materiały odpowiadające aktualnej kreacji cyfrowej. Jest to szczególnie ważne w sytuacji, gdy cena stała się najczęściej wskazywanym przez europejskich konsumentów kryterium zakupu ryb (European Commission, 2025). Nie należy przy tym budować rynku wyłącznie promocją cenową. Obniżka może skłonić do pierwszej próby, ale nie tworzy powodu do powtórnego zakupu. Mechanizm powinien wyglądać: zasięg → inspiracja → dostępność → próba → łatwe przygotowanie → dobre doświadczenie → ponowienie → nawyk.

Po szóste – wejście w gastronomię i kulturę miejskiego jedzenia. Pstrąg powinien być obecny nie tylko w restauracji rybnej i tradycyjnej restauracji regionalnej. Potrzebuje obecności w nowoczesnym fast casual: w bowlach, kanapkach, lunchach, kuchni fusion, barach śniadaniowych i ofertach sezonowych. Program „Nasz Pstrąg” wskazuje HoReCa jako jeden z istotnych obszarów działania (SPRŁ, 2024), co warto przekształcić w trwałą program współpracy z lokalami. Najbardziej wartościowe byłyby nie jednorazowe „tygodnie pstrąga”, lecz produkty, które po pilotażu pozostają w menu. Restauracja pełni wówczas rolę miejsca pierwszego kontaktu: konsument próbuje nowoczesnego dania, widzi, że pstrąg nie oznacza wyłącznie ryby pieczonej z cytryną, a następnie otrzymuje uproszczoną wersję przepisu do przygotowania w domu.

Po siódme – budowanie popularności przed budowaniem prestiżu. Branża nie powinna próbować na siłę zmieniać pstrąga w produkt luksusowy. Największą wartość

będzie miał wtedy, kiedy stanie się produktem normalnym w najlepszym znaczeniu tego słowa – na tyle atrakcyjnym, by podać go gościom, i na tyle łatwym, by przygotować go we wtorek po pracy. To właśnie szeroki repertuar okazji zwiększa zdolność produktu do pojawiania się w pamięci konsumenta (Romaniuk & Sharp, 2004).

Po ósme – smak przed wykładem. Komunikacja o białku, kwasach tłuszczowych, zrównoważonej akwakulturze i pochodzeniu jest potrzebna, lecz powinna być warstwą dowodową. Pierwsza warstwa komunikatu powinna odpowiadać na pytania: „czy wygląda apetycznie?”, „czy zrobię to łatwo?”, „czy zjedzą to moi bliscy?”, „czy pasuje do mojego życia?”. Badania dotyczące kompromisu między walorami zdrowotnymi a przyjemnością konsumpcji pokazują ryzyko przeceniania gotowości konsumentów do rezygnacji ze smaku w zamian za deklarowaną zdrowotność (Verbeke, 2006).

Po dziewiąte – ciągłość większa niż głośność. Jedna bardzo duża kampania co kilka lat może poprawić świadomość, ale trudno za jej pomocą utrwalić nawyk. Znacznie lepszy model to stała obecność z okresowymi wzrostami intensywności: grill w maju–lipcu, szybkie posiłki we wrześniu, comfort food jesienią, lekka kuchnia w styczniu, walentynkowa kolacja dla dwojga w lutym. Fundament treści, identyfikacja i kluczowe skojarzenia powinny jednak pozostawać te same. Mechanizm taki jest zgodny zarówno z wiedzą o kształtowaniu nawyków (Lally et al., 2010), jak i z szerszą literaturą dotyczącą oddziaływania komunikacji marketingowej (Vakratsas & Ambler, 1999).

Po dziesiąte – stworzenie systemu pomiaru rynku konsumenckiego. Przed następną dużą falą inwestycji należy wykonać badanie bazowe. Powinno ono mierzyć spontaniczną i wspomaganą znajomość pstrąga, częstość zakupu, penetrację gospodarstw domowych, udział nabywców w wieku 18–34 lata, powody wyboru i odrzucenia, znajomość sposobów przygotowania, skojarzenia, postrzeganą trudność przygotowania i gotowość do kupowania poszczególnych nowych formatów. Do tego powinny dojść wskaźniki behawioralne: numeryczna i ważona dystrybucja, liczba SKU na sklep, braki półkowe, sprzedaż na punkt dystrybucji, udział promocji, liczba nowych i powracających nabywców oraz częstotliwość zakupu. Warstwa cyfrowa powinna mierzyć udział pstrąga w wyszukiwaniu i treściach kulinarnych w relacji do łososia, krewetek i innych konkurentów. Liczba wyświetleń reklamy jest wskaźnikiem aktywności. Liczba nowych gospodarstw kupujących pstrąga i odsetek dokonujących ponownego zakupu są wskaźnikami budowy rynku. Nie należy arbitralnie wpisywać celu typu „wzrost świadomości o 10 punktów procentowych”, nie znając rzetelnego poziomu bazowego. Po przeprowadzeniu pierwszej fali badania branża powinna jednak ustalić cele na trzy–pięć lat dotyczące penetracji, powtórnego zakupu, dostępności mentalnej w kluczowych okazjach oraz udziału młodszych konsumentów.

Po jedenaste – program nowych użytkowników. Największy potencjał nie leży wyłącznie w przekonywaniu aktualnego konsumenta pstrąga, żeby kupić trochę więcej. Chodzi o osoby, które ryby jedzą sporadycznie, kupują łososia albo nie czują się kompetentne kulinarnie. Dla nich pierwsza próba powinna być niemal niemożliwa do zepsucia: mała porcja, krótka instrukcja, jednoznaczny czas przygotowania, prosty sos, kod QR prowadzący do 30-sekundowego filmu. Znaczenie wygody dla konsumpcji ryb znajduje potwierdzenie zarówno w badaniach konsumenckich (Olsen, 2003), jak i w najnowszych badaniach europejskich (European Commission, 2025).

Po dwunaste – trwała organizacja finansowania promocji kategorii. Najważniejsza inwestycja powinna przetrwać perspektywę pojedynczego projektu dotacyjnego. Potrzebny jest model, w którym producenci, przetwórcy i – tam, gdzie to możliwe – partnerzy handlowi mają wspólny interes w powiększaniu całej kategorii. Środki publiczne i unijne mogą finansować część rozwoju, lecz pamięć konsumenta nie zna dat zakończenia projektów. Jeżeli po trzech latach znikają symbole, twórcy, kanały i aktywność, branża oddaje konkurentom część zdobytej dostępności mentalnej.

Podsumowanie zmiany podejścia do budowy rynku konsumenckiego pokazano symbolicznie na rys. 1.



Rysunek 1. Schemat postulowanej zmiany podejścia do budowy rynku konsumenckiego

7. Wnioski

Rynek czarnej porzeczki pokazuje, że kraj może być światową potęgą produkcyjną i jednocześnie nie stworzyć równie silnej krajowej kultury konsumpcji własnego pro-

duktu. Polska nadal należy do światowych liderów produkcji porzeczek, lecz krajową kategorię sokową pod względem preferencji smaku zdominowały pomarańcza i jabłko (CBI, 2025; MRiRW, 2026). Trzeba raz jeszcze zaznaczyć: dostępne dane nie dowodzą, że stało się tak wyłącznie wskutek niewystarczającej promocji. Dowodzą natomiast istnienia charakterystycznego rozdźwięku między skalą polskiej produkcji porzeczki a siłą czarnej porzeczki jako samodzielnego, codziennego wyboru konsumenckiego.

Pstrąg ma szansę uniknąć tego scenariusza. Ma produkcję, autentyczne polskie pochodzenie, możliwość sprzedaży całej rozpoznawalnej ryby, obecność w nowoczesnym handlu i wieloletni dorobek działań promocyjnych. Aktualnie prowadzona „Kampania informacyjna w zakresie kształtowania pozytywnego wizerunku pstrąga wśród konsumentów na lata 2024 – 2027” oznacza również, że branża dostrzega konieczność zwiększania popytu, wzmacniania wizerunku i szerszej obecności w mediach społecznościowych (SPRŁ, 2024).

Jednocześnie ktoś pokazuje, jak wygląda konkurent, kiedy wokół produktu powstaje pełny system rynkowy: wielka skala handlu, silne marki, produkty świeże i wędzone, warianty przyprawione, porcje gotowe do pieczenia i rozwiązania typu ready-to-eat. To właśnie ten system – a nie wyłącznie sam ktoś jako ryba – jest największym konkurentem pstrąga.

Strategicznym celem nie powinno być zatem „przekonanie Polaków, że pstrąg jest dobry”. Znaczna część pracy musi zostać wykonana poziom wyżej: pstrąg ma być łatwy do przypomnienia, łatwy do znalezienia, łatwy do przyrządzenia, możliwy do zjedzenia na wiele sposobów i społecznie widoczny. Dopiero wówczas zacznie działać mechanizm kuli śnieżnej: więcej konsumentów tworzy większą sprzedaż; większa sprzedaż uzasadnia większy asortyment; większy asortyment tworzy więcej okazji; więcej okazji generuje więcej treści; większa obecność w kulturze zwiększa mentalną dostępność; ta zaś sprowadza kolejnych konsumentów.

Najważniejszym zadaniem branży pstrągowej na najbliższe lata nie jest więc wyprodukowanie jeszcze lepszego argumentu za pstrągiem. Jest nim sprawienie, żeby pstrąg stał się popularny, stał się elementem nawyków konsumenckich.

Literatura

- Berger, J., & Milkman, K. L. (2012). What makes online content viral? *Journal of Marketing Research*, 49(2), 192–205. <https://doi.org/10.1509/jmr.10.0353>
- Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries [CBI]. (2025). The European market potential for citrus and tropical juices.

- Coates, A. E., Hardman, C. A., Halford, J. C. G., Christiansen, P., & Boyland, E. J. (2019a). Food and beverage cues featured in YouTube videos of social media influencers popular with children: An exploratory study. *Frontiers in Psychology*, 10, Article 2142. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02142>
- Coates, A. E., Hardman, C. A., Halford, J. C. G., Christiansen, P., & Boyland, E. J. (2019b). Social media influencer marketing and children's food intake: A randomized trial. *Pediatrics*, 143(4), e20182554. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-2554>
- European Commission. (2025). EU consumer habits regarding fishery and aquaculture products: Special Eurobarometer 558.
- European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products. (2025). The EU fish market 2025.
- European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products. (2026). Poland: Country profile.
- Eurostat. (2026, 23 kwietnia). EU aquaculture: 1 million tonnes produced in 2024.
- Keller, K. L. (1993). Conceptualizing, measuring, and managing customer-based brand equity. *Journal of Marketing*, 57(1), 1–22. <https://doi.org/10.1177/002224299305700101>
- Lally, P., van Jaarsveld, C. H. M., Potts, H. W. W., & Wardle, J. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology*, 40(6), 998–1009. <https://doi.org/10.1002/ejsp.674>
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi [MRiRW]. (2026). Owoce i warzywa.
- Olsen, S. O. (2003). Understanding the relationship between age and seafood consumption: The mediating role of attitude, health involvement and convenience. *Food Quality and Preference*, 14(3), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00055-1)
- Romaniuk, J., & Sharp, B. (2004). Conceptualizing and measuring brand salience. *Marketing Theory*, 4(4), 327–342. <https://doi.org/10.1177/1470593104047643>
- Smith, R., Kelly, B., Yeatman, H., & Boyland, E. (2019). Food marketing influences children's attitudes, preferences and consumption: A systematic critical review. *Nutrients*, 11(4), Article 875. <https://doi.org/10.3390/nu11040875>
- Vakratsas, D., & Ambler, T. (1999). How advertising works: What do we really know? *Journal of Marketing*, 63(1), 26–43. <https://doi.org/10.1177/002224299906300103>
- Verbeke, W. (2006). Functional foods: Consumer willingness to compromise on taste for health? *Food Quality and Preference*, 17(1–2), 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.03.003>

- Verbeke, W., & Vackier, I. (2005). Individual determinants of fish consumption: Application of the theory of planned behaviour. *Appetite*, 44(1), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.08.006>
- Stowarzyszenie Producentów Ryb Łososiowatych [SPRŁ]. (2024). Informacja o projekcie: Kampania informacyjna w zakresie kształtowania pozytywnego wizerunku pstrąga wśród konsumentów na lata 2024–2027.
- Stowarzyszenie Producentów Ryb Łososiowatych [SPRŁ]. (2026). Archiwum kampanii „Teraz Pstrąg”

PFAS = Please Find Another Supplier... – żart branżowy czy nowa rzeczywistość? **Problemy z PFAS w produktach rybnych i ich opakowaniach**

Joanna Olszak

Ekspert Prawa Żywnościowego

IGI FOOD LAW SP. Z O.O.

ul. Puławska 2, Budynek B, piętro 3, 02-566 Warszawa

1. Wstęp

PFAS, czyli substancje per- i polifluoroalkilowe, to szeroka grupa związków chemicznych wykorzystywanych m.in. ze względu na odporność na wodę, tłuszcz i wysoką temperaturę. Część z nich jest jednak wyjątkowo trwała w środowisku i może trafiać do łańcucha żywnościowego, stąd określenie „forever chemicals”. Dla branży rybnej temat ma podwójne znaczenie: PFAS mogą występować w samych rybach wskutek zanieczyszczenia środowiska, ale odrębnym obszarem ryzyka są także opakowania. Obecnie temat ten nabiera szczególnego znaczenia, ponieważ od 12 sierpnia 2026 r. stosuje się nowe wymagania tzw. rozporządzenia PPWR (w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych) dotyczące limitów PFAS w opakowaniach przeznaczonych do kontaktu z żywnością, które dla wielu uczestników rynku stanowią zupełnie nowy obszar obowiązków compliance.

2. PFAS w rybach i opakowaniach

Prawo żywnościowe reguluje kwestię PFAS w środkach spożywczych. Unijne rozporządzenie nr 2023/915 dotyczące wybranych zanieczyszczeń ustanawia maksymalne poziomy dla konkretnych frakcji PFAS w określonych rodzajach żywności, w tym w produktach rybołówstwa. Przepisy różnicują poszczególne grupy ryb - m.in. dziki łosoś i dziki pstrąg zostały wskazane w odrębnej kategorii. W praktyce kontrola PFAS powinna więc uwzględniać nie tylko wynik badania, ale także gatunek, pochodzenie surowca i kategorię produktu. Zakres badań warto budować w oparciu o ocenę ryzyka, dane historyczne i informacje od dostawców. Jednocześnie samo wykrycie PFAS w rybie nie oznacza, że „winne” było opakowanie; istotnym źródłem może być środowisko i łańcuch pokarmowy.

Odrębnym zagadnieniem są PFAS w opakowaniach, zwłaszcza w materiałach zapewniających odporność na tłuszcz i wilgoć, takich jak papiery i tektury barierowe,

powłoki czy laminaty. Od 12 sierpnia 2026 r. rozporządzenie (UE) 2025/40 w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (PPWR) wprowadza limity PFAS w opakowaniach przeznaczonych do kontaktu z żywnością: 25 ppb dla pojedynczego PFAS, 250 ppb dla sumy PFAS oznaczanych analizą ukierunkowaną oraz 50 ppm dla PFAS, w tym polimerowych PFAS. Opakowanie niespełniające limitów nie może być zastosowane. Jednocześnie deklaracja dostawcy „no intentionally added PFAS” nie musi być równoznaczna z potwierdzeniem zgodności z PPWR. W praktyce oznacza to, że producenci żywności opakowanej powinni zweryfikować nie tylko cechy samego opakowania, ale również swoich dostawców i zakres dokumentacji potwierdzającej zgodność z nowymi limitami. Nie każde opakowanie, które było dotychczas stosowane zgodnie z prawem, automatycznie będzie spełniało nowe wymagania dotyczące PFAS. Konieczne może być więc ponowne przeanalizowanie specyfikacji, deklaracji dostawców oraz wyników badań, a w razie potrzeby także zmiana stosowanego materiału lub dostawcy. Kluczowe będzie przy tym właściwe ustalenie, jakiego rodzaju dowody są wystarczające do wykazania zgodności z PPWR i jak włączyć tę weryfikację do bieżącego nadzoru nad opakowaniami.

W praktyce najważniejsze jest ustalenie czy deklaracja rzeczywiście potwierdza zgodność opakowania z limitami PFAS wynikającymi z PPWR, a także na jakiej podstawie została wystawiona i jakie dowody tę zgodność potwierdzają. Warto zweryfikować w szczególności czy deklaracja odnosi się do gotowego opakowania i jego istotnych komponentów oraz czy opiera się na znajomości składu materiałowego, dokumentacji poddostawców, wynikach badań lub innych wiarygodnych danych. Istotne jest również, aby dokumentacja była aktualizowana w przypadku zmian materiałowych, technologicznych lub zmian po stronie dostawców. Niezależnie od nowych limitów PFAS wynikających z PPWR, opakowanie nadal musi spełniać ogólne wymagania dotyczące bezpieczeństwa materiałów przeznaczonych do kontaktu z żywnością.

3. Podsumowanie

PFAS stają się dla branży rybnej bardzo praktycznym zagadnieniem compliance. Producent powinien równolegle zarządzać ryzykiem dotyczącym surowca i opakowania: znać właściwe limity, określić wymagania wobec dostawców, gromadzić dowody zgodności i zapewnić kontrolę zmian. Tytułowe „Please Find Another Supplier” powinno być ostatnim, a nie pierwszym krokiem. Jeżeli jednak dostawca nie potrafi wyjaśnić podstaw swojej deklaracji ani zapewnić odpowiedniej dokumentacji, branżowy żart może stać się całkiem racjonalną decyzją biznesową.

Wybrane kwestie podatkowe w gospodarstwach rybackich

Marek Rudy

Doradca podatkowy nr wpisu 13409

Kancelaria Prawno-Podatkowa Marek Rudy
Spółka Doradztwa Podatkowego MDR Consulting Sp. z o.o.

Wstęp

Gospodarstwa rybackie stanowią szczególną formę prowadzenia działalności związanej z chowem, hodowlą oraz pozyskiwaniem ryb i innych organizmów wodnych. Ich funkcjonowanie regulowane jest przez wiele aktów prawnych, w szczególności ustawę o podatku dochodowym od osób fizycznych (PIT), ustawę o podatku dochodowym od osób prawnych (CIT), ustawę o podatku od towarów i usług (VAT), ustawę o rachunkowości oraz ustawę Prawo przedsiębiorców. Specyfika gospodarstw rybackich powoduje, że w wielu przypadkach korzystają one z odrębnych zasad opodatkowania i ewidencjonowania niż klasyczne przedsiębiorstwa.

Pojęcie gospodarstwa rolnego i gospodarstwa rybackiego

Zgodnie z ustawą o podatku rolnym za gospodarstwo rolne uważa się obszar gruntów przekraczający 1 ha lub 1 ha przeliczeniowy, stanowiący własność lub znajdujący się w posiadaniu osoby fizycznej, osoby prawnej lub jednostki organizacyjnej. Z kolei Kodeks cywilny definiuje gospodarstwo rolne jako grunty rolne wraz z gruntami leśnymi, budynkami, urządzeniami, inwentarzem oraz prawami związanymi z prowadzeniem działalności rolniczej, które stanowią lub mogą stanowić zorganizowaną całość gospodarczą.

Na gruncie ustawy o VAT gospodarstwo rybackie oznacza prowadzenie działalności w zakresie chowu i hodowli ryb oraz innych organizmów żyjących w wodzie. W praktyce gospodarstwa rybackie mogą funkcjonować jako rodzinne przedsiębiorstwa, spółki prawa handlowego, dawne Państwowe Gospodarstwa Rybackie lub jednostki organizacyjne związane z gospodarką rybacką.

Działalność rybacka a działalność gospodarcza

Prawo przedsiębiorców definiuje działalność gospodarczą jako działalność zarobkową wykonywaną w sposób zorganizowany, ciągły i we własnym imieniu. Jed-

nocześnie ustawodawca w art. 6 wyłączył spod stosowania tej ustawy działalność wytwórczą w rolnictwie, w tym rybactwo śródlądowe. Oznacza to, że podstawowa działalność związana z chowem i hodowlą ryb nie jest traktowana jak klasyczna działalność gospodarcza.

Działalność rybacka obejmuje przede wszystkim chów i hodowlę ryb, odtów ryb, produkcję materiału zarybieniowego oraz sprzedaż nieprzetworzonych produktów pochodzących z własnej hodowli. Natomiast działalnością gospodarczą będzie między innymi handel rybami zakupionymi od innych podmiotów, prowadzenie sklepu rybnego, działalność gastronomiczna czy przetwórstwo przemysłowe ryb.

Podstawowa różnica polega na tym, że działalność rolnicza pozostaje co do zasady poza zakresem podatku PIT i CIT, natomiast działalność gospodarcza podlega opodatkowaniu na zasadach ogólnych.

Opodatkowanie gospodarstw rybackich podatkiem PIT i CIT

Zarówno ustawa PIT, jak i ustawa CIT przewidują wyłączenie działalności rolniczej z opodatkowania. Za działalność rolniczą uznaje się między innymi chów i hodowlę ryb oraz produkcję organizmów wodnych. W konsekwencji przychody uzyskiwane z podstawowej działalności rybackiej nie podlegają opodatkowaniu podatkiem dochodowym.

Wyjątkiem są sytuacje, gdy działalność przybiera charakter działalności gospodarczej lub gdy dochodzi do przetwarzania produktów w sposób wykraczający poza zakres działalności rolniczej.

Szczególne znaczenie dla gospodarstw rybackich ma art. 20 ust. 1c ustawy PIT. Przepis ten pozwala kwalifikować jako przychody z innych źródeł sprzedaż produktów zwierzęcych przetworzonych w sposób inny niż przemysłowy. Dotyczy to między innymi takich czynności jak:

- odławianie ryb,
- odkrwawianie,
- odpłétwanie,
- patroszenie,
- filetowanie,
- dzwonkowanie,
- wędzenie.

Warunkiem jest, aby przetwarzanie miało charakter nieprzemysłowy, prowadzona była ewidencja sprzedaży, a co najmniej 50% wykorzystanego surowca pochodziło z własnej hodowli lub chowu.

Opodatkowanie VAT gospodarstw rybackich

Gospodarstwo rybackie prowadzące działalność rolniczą może rozliczać podatek od towarów i usług na dwa sposoby – jako rolnik ryczałtowy albo jako czynny podatnik VAT rozliczający się na zasadach ogólnych. Wybór formy opodatkowania ma istotny wpływ zarówno na obowiązki ewidencyjne, jak i na możliwość odliczania podatku naliczonego od dokonywanych zakupów.

Rolnik ryczałtowy korzysta ze zwolnienia z podatku VAT na podstawie art. 43 ust. 1 pkt 3 ustawy o VAT. Nie nalicza podatku VAT przy sprzedaży produktów pochodzących z własnej działalności rolniczej, nie składa deklaracji VAT ani plików JPK_V7. W zamian otrzymuje zryczałtowany zwrot podatku wypłacany przez nabywcę będącego czynnym podatnikiem VAT na podstawie faktury VAT RR. Rozwiązanie to jest korzystne przede wszystkim dla mniejszych gospodarstw, które ponoszą niewielkie nakłady inwestycyjne i nie dokonują dużych zakupów obciążonych podatkiem VAT.

Drugim rozwiązaniem jest rezygnacja ze statusu rolnika ryczałtowego i rozliczanie podatku VAT na zasadach ogólnych. W takim przypadku gospodarstwo staje się czynnym podatnikiem VAT, wystawia faktury VAT, prowadzi ewidencję VAT, składa pliki JPK_V7 oraz ma prawo do odliczania podatku naliczonego od zakupów związanych z prowadzoną działalnością. Forma ta jest najczęściej wybierana przez gospodarstwa realizujące kosztowne inwestycje, takie jak budowa stawów hodowlanych, zakup maszyn i urządzeń, systemów napowietrzania, środków transportu, budowa przetwórni ryb czy zakup pasz i materiału zarybieniowego.

W praktyce wybór sposobu rozliczania VAT zależy przede wszystkim od struktury kosztów gospodarstwa. Jeżeli udział wydatków inwestycyjnych jest wysoki, korzystniejsze są zasady ogólne, ponieważ umożliwiają odzyskanie podatku VAT od ponoszonych nakładów. Natomiast w przypadku niewielkich kosztów inwestycyjnych oraz sprzedaży głównie produktów nieprzetworzonych bardziej opłacalny jest status rolnika ryczałtowego.

Należy również pamiętać, że wybór zasad ogólnych nie jest decyzją nieodwracalną. Zgodnie z art. 43 ust. 5 ustawy o VAT podatnicy, którzy zrezygnowali ze zwolnienia przysługującego rolnikowi ryczałtowemu, mogą ponownie z niego skorzystać po upływie trzech lat od dnia rezygnacji, pod warunkiem pisemnego zawiadomienia właściwego naczelnika urzędu skarbowego przed początkiem miesiąca (lub kwartału), od którego chcą ponownie korzystać ze zwolnienia. Oznacza to, że decyzja o przejściu na VAT czynny powinna być dobrze przemyślana, zwłaszcza w przypadku gospodarstw planujących jedynie jednorazowe inwestycje.

WDT

Gospodarstwa rybackie coraz częściej prowadzą sprzedaż ryb i produktów rybnych na rynki zagraniczne, zwłaszcza do państw należących do Unii Europejskiej. Jeżeli sprzedaż odbywa się pomiędzy podatnikami z różnych państw członkowskich i spełnione są warunki określone w ustawie o VAT, transakcja stanowi wewnątrzwspólnotową dostawę towarów (WDT).

Przez wewnątrzwspólnotową dostawę towarów rozumie się wywóz towarów z terytorium Polski na terytorium innego państwa członkowskiego Unii Europejskiej w wykonaniu dostawy towarów na rzecz nabywcy posiadającego ważny numer identyfikacyjny VAT UE. W praktyce oznacza to, że ryby lub produkty rybne są transportowane z Polski do kontrahenta zarejestrowanego dla potrzeb transakcji wewnątrzwspólnotowych w innym państwie członkowskim.

Aby możliwe było zastosowanie preferencyjnej stawki 0% VAT, muszą zostać spełnione łącznie określone warunki. Sprzedawca powinien być zarejestrowany jako podatnik VAT UE, nabywca musi posiadać ważny numer identyfikacyjny VAT UE nadany przez inne państwo członkowskie, a podatnik powinien posiadać dokumenty potwierdzające, że towar rzeczywiście został wywieziony z Polski i dotarł do odbiorcy w innym państwie Unii Europejskiej. Do takich dokumentów należą między innymi listy przewozowe (CMR), dokumenty spedytora, potwierdzenia odbioru towaru lub inne dowody jednoznacznie potwierdzające przemieszczenie towarów.

Dokonując wewnątrzwspólnotowej dostawy towarów, podatnik ma również obowiązek wykazania transakcji w ewidencji VAT, pliku JPK_V7 oraz złożenia informacji podsumowującej VAT-UE, w której wykazywane są transakcje dokonane z kontrahentami z innych państw członkowskich.

Jeżeli którykolwiek z warunków zastosowania stawki 0% VAT nie zostanie spełniony, podatnik może utracić prawo do preferencyjnego opodatkowania i będzie zobowiązany do opodatkowania sprzedaży według właściwej krajowej stawki VAT.

Dla gospodarstw rybackich prowadzących eksport produktów do krajów Unii Europejskiej prawidłowe dokumentowanie wewnątrzwspólnotowej dostawy ma szczególne znaczenie. Pozwala ono korzystać z preferencyjnego opodatkowania, zwiększa konkurencyjność polskich produktów rybnych na rynku europejskim oraz ogranicza ryzyko zakwestionowania rozliczeń przez organy podatkowe.

Różnica między WDT a eksportem

Warto odróżnić wewnątrzwspólnotową dostawę towarów od eksportu. WDT dotyczy sprzedaży towarów do państw członkowskich Unii Europejskiej, natomiast eksport

oznacza wywóz towarów poza obszar Unii Europejskiej, np. do Norwegii, Wielkiej Brytanii, Stanów Zjednoczonych czy Kanady. W obu przypadkach możliwe jest zastosowanie stawki 0% VAT, jednak podstawą jej zastosowania są inne przepisy oraz odmienny zakres dokumentów potwierdzających wywóz towaru.

Kasa fiskalna

Obowiązek stosowania kasy fiskalnej zależy od rodzaju prowadzonej sprzedaży oraz kręgu odbiorców. Jeżeli sprzedaż prowadzona jest na rzecz osób fizycznych nieprowadzących działalności gospodarczej oraz rolników ryczałtowych, co do zasady po przekroczeniu **20 000 zł obrotu rocznie** powstaje obowiązek ewidencjonowania sprzedaży przy zastosowaniu kasy rejestrującej.

Należy jednak pamiętać, że nie każda sprzedaż produktów rybnych wymaga stosowania kasy fiskalnej. W określonych przypadkach sprzedaż prowadzona w ramach Rolniczego Handlu Detalicznego (RHD) lub sprzedaży bezpośredniej może korzystać ze zwolnień przewidzianych w rozporządzeniu Ministra Finansów. Każdorazowo należy więc analizować sposób prowadzenia sprzedaży, rodzaj odbiorców oraz formę rozliczeń.

Obowiązek prowadzenia pełnych ksiąg rachunkowych

Większość gospodarstw rybackich prowadzonych przez osoby fizyczne nie ma obowiązku prowadzenia pełnych ksiąg rachunkowych. Obowiązek ten pojawia się dopiero po przekroczeniu limitu przychodów określonego w ustawie o rachunkowości.

Obecnie limit ten wynosi równowartość **2 500 000 euro przychodów netto** osiągniętych w poprzednim roku obrotowym. Po przekroczeniu tego progu od następnego roku obrotowego powstaje obowiązek prowadzenia ksiąg rachunkowych zgodnie z przepisami ustawy o rachunkowości.

Do limitu tego wlicza się przychody netto ze sprzedaży towarów, produktów i operacji finansowych osiągnięte w poprzednim roku obrotowym. Oznacza to, że obowiązek prowadzenia pełnej rachunkowości nie zależy od powierzchni gospodarstwa ani liczby stawów hodowlanych, lecz wyłącznie od wysokości uzyskiwanych przychodów.

Jeżeli gospodarstwo prowadzi wyłącznie działalność rolniczą i nie przekracza ustawowego limitu, nie ma obowiązku prowadzenia pełnych ksiąg rachunkowych. Natomiast w przypadku prowadzenia działalności gospodarczej opodatkowanej podatkiem dochodowym, do czasu przekroczenia limitu prowadzi się najczęściej podatkową księgę przychodów i rozchodów (KPiR) lub w przypadku wyboru tej formy opodatkowania ewidencję przychodów dla ryczałtu od przychodów ewidencjonowanych.

Działalność dodatkowa a działalność gospodarcza

W praktyce wiele gospodarstw rybackich, oprócz podstawowej działalności związanej z chowem i hodowlą ryb, prowadzi również działalność dodatkową. To właśnie ta działalność najczęściej powoduje powstanie obowiązków podatkowych.

Jeżeli działalność ogranicza się wyłącznie do chowu i hodowli ryb oraz sprzedaży produktów pochodzących z własnej produkcji, co do zasady pozostaje działalnością rolniczą i nie podlega podatkowi dochodowemu. Sytuacja zmienia się jednak wtedy, gdy gospodarstwo rozpoczyna handel rybami zakupionymi od innych producentów, prowadzi sklep rybny, działalność gastronomiczną, usługi turystyczne, organizuje łowiska komercyjne z dodatkowymi usługami lub wykonuje przetwórstwo przemysłowe ryb. W takich przypadkach działalność spełnia przesłanki działalności gospodarczej.

Powstanie działalności gospodarczej oznacza konieczność rozliczania podatku dochodowego, prowadzenia odpowiedniej ewidencji podatkowej oraz w zależności od skali działalności wykonywania obowiązków związanych z podatkiem VAT, stosowaniem kas fiskalnych czy prowadzeniem ksiąg rachunkowych.

Należy również pamiętać, że działalność dodatkowa nie zawsze powoduje utratę statusu działalności rolniczej. Przykładowo Rolniczy Handel Detaliczny oraz sprzedaż produktów przetworzonych w sposób nieprzemysłowy na podstawie art. 20 ust. 1c ustawy o PIT korzystają ze szczególnych regulacji i nie są traktowane jak klasyczna działalność gospodarcza.

Działalność nierejestrowana

Ustawa Prawo przedsiębiorców przewiduje możliwość prowadzenia tzw. działalności nierejestrowanej, która stanowi uproszczoną formę wykonywania drobnej działalności zarobkowej bez obowiązku wpisu do Centralnej Ewidencji i Informacji o Działalności Gospodarczej (CEIDG). Rozwiązanie to skierowane jest przede wszystkim do osób fizycznych osiągających niewielkie przychody z działalności wykonywanej we własnym imieniu.

Warunkiem korzystania z tej formy działalności jest nieprzekroczenie w żadnym kwartale przychodu wynoszącego **225% minimalnego wynagrodzenia za pracę**. Ponadto osoba prowadząca działalność nierejestrowaną nie może wykonywać działalności gospodarczej w okresie ostatnich 60 miesięcy poprzedzających rozpoczęcie tej działalności.

Prowadzenie działalności nierejestrowanej nie zwalnia z obowiązków podatkowych. Uzyskane przychody podlegają opodatkowaniu podatkiem dochodowym od osób fizycznych i wykazywane są w rocznym zeznaniu podatkowym jako przychody z działalności nierejestrowanej. Osoba prowadząca taką działalność powinna również prowadzić uproszczoną ewidencję sprzedaży, która umożliwia kontrolę wysokości osiąganych

przychodów oraz monitorowanie limitu uprawniającego do korzystania z tej formy działalności.

W przypadku przekroczenia ustawowego limitu przychodów działalność nierejestrowana staje się działalnością gospodarczą z dniem przekroczenia limitu. W takiej sytuacji osoba prowadząca działalność ma obowiązek złożyć wniosek o wpis do CEIDG w terminie 7 dni od dnia przekroczenia limitu oraz rozpocząć prowadzenie działalności zgodnie z przepisami dotyczącymi przedsiębiorców.

W odniesieniu do gospodarstw rybackich działalność nierejestrowana będzie miała zastosowanie jedynie wyjątkowo. Podstawowa działalność polegająca na chowie i hodowli ryb stanowi działalność rolniczą i podlega odrębnym regulacjom. Natomiast działalność dodatkowa, taka jak sprzedaż rękodzieła, drobnych akcesoriów wędkarskich czy innych produktów niezwiązanych bezpośrednio z działalnością rolniczą, może przy spełnieniu ustawowych warunków być prowadzona jako działalność nierejestrowana. W praktyce większość gospodarstw rybackich korzysta jednak z rozwiązań przewidzianych dla działalności rolniczej, takich jak Rolniczy Handel Detaliczny (RHD), sprzedaż bezpośrednia lub działalność marginalna, lokalna i ograniczona (MOL), które są lepiej dostosowane do specyfiki produkcji i sprzedaży produktów rybnych.

Tabela 1. Najważniejsze limity dotyczące gospodarstw rybackich

Zakres	Limit / zasada
Gospodarstwo rolne	powyżej 1 ha lub 1 ha przeliczeniowego
Zwolnienie z kasy fiskalnej	20 000 zł obrotu rocznie (sprzedaż na rzecz osób fizycznych)
Działalność nierejestrowana	do 225% minimalnego wynagrodzenia na kwartał
Obowiązek prowadzenia pełnych ksiąg rachunkowych	po przekroczeniu równowartości 2 500 000 euro przychodów netto
VAT	wyбір pomiędzy statusem rolnika ryczałtowego a zasadami ogólnymi
Powrót do statusu rolnika ryczałtowego	możliwy po upływie 3 lat od rezygnacji ze zwolnienia i po zawiadomieniu naczelnika urzędu skarbowego

Zakończenie

Z punktu widzenia gospodarstwa rybackiego najważniejsze jest prawidłowe rozróżnienie działalności rolniczej od działalności gospodarczej. Od tego zależą obowiązki w zakresie podatku dochodowego, VAT, prowadzenia ewidencji, stosowania kas fiskalnych oraz rachunkowości. W praktyce decyzja o wyborze sposobu rozliczania VAT czy rozpoczęciu działalności dodatkowej powinna być poprzedzona analizą ekonomiczną, ponieważ wpływa zarówno na obciążenia podatkowe, jak i zakres obowiązków administracyjnych gospodarstwa.

Wybrane kwestie związane z Krajowym Systemem e-Faktur

Marek Rudy

Doradca podatkowy nr wpisu 13409

Kancelaria Prawno-Podatkowa Marek Rudy
Spółka Doradztwa Podatkowego MDR Consulting Sp. z o.o.

Wprowadzenie

Cyfryzacja administracji podatkowej jest jednym z najważniejszych kierunków zmian polskiego systemu podatkowego. Jednym z kluczowych elementów tych zmian jest wprowadzenie **Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF)**, którego celem jest uszczelnienie systemu podatkowego, ograniczenie nadużyć oraz uproszczenie obiegu dokumentów pomiędzy przedsiębiorcami.

Istota Krajowego Systemu e-Faktur

Krajowy System e-Faktur jest ogólnopolskim systemem teleinformatycznym prowadzonym przez ministra właściwego do spraw finansów publicznych. System umożliwia wystawianie, odbieranie, przechowywanie oraz udostępnianie faktur ustrukturyzowanych w jednolitej formie elektronicznej.

Faktura ustrukturyzowana jest dokumentem elektronicznym sporządzonym według jednolitego wzoru określonego przez Ministerstwo Finansów. W przeciwieństwie do tradycyjnych faktur papierowych lub elektronicznych w formie PDF, faktura ustrukturyzowana jest zapisywana w formie XML, dzięki czemu może być automatycznie odczytywana przez systemy księgowe oraz administrację skarbową.

Najważniejszą cechą KSeF jest to, że faktura uznawana jest za wystawioną dopiero w chwili nadania jej numeru identyfikacyjnego przez system.

Cele wprowadzenia KSeF

Do podstawowych celów wprowadzenia Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) należą:

1. **uszczelnienie systemu podatkowego i ograniczenie wyłudzeń podatku VAT** dzięki centralnemu rejestrowi faktur administracja skarbową ma możliwość bieżącego monitorowania obrotu gospodarczego, co pozwala skuteczniej wykrywać nieprawidłowości, ograniczać fikcyjne faktury oraz przeciwdziałać oszustwom podatkowym;

2. **ujednolicenie sposobu wystawiania faktur** wprowadzenie jednego, ustandaryzowanego formatu faktury ustrukturyzowanej zapewnia jednolity sposób dokumentowania transakcji przez wszystkich podatników, niezależnie od stosowanego systemu księgowego;
3. **automatyzacja procesów księgowych** elektroniczny obieg faktur umożliwia automatyczne przysyłanie, odbieranie i przetwarzanie dokumentów przez systemy finansowo-księgowe, co usprawnia pracę przedsiębiorstw oraz zmniejsza liczbę czynności wykonywanych ręcznie;
4. **skrócenie czasu zwrotu podatku VAT** korzystanie z KSeF pozwala organom podatkowym na szybszą weryfikację rozliczeń, dzięki czemu przedsiębiorcy spełniający określone warunki mogą liczyć na krótszy termin zwrotu podatku VAT;
5. **ograniczenie liczby błędów w dokumentach** obowiązek stosowania określonej struktury logicznej faktury oraz automatyczna weryfikacja poprawności danych przez system zmniejszają ryzyko występowania błędów formalnych i rachunkowych;
6. **zmniejszenie kosztów archiwizacji dokumentacji** faktury są przechowywane w systemie KSeF przez okres przewidziany przepisami prawa, co eliminuje konieczność tworzenia i utrzymywania kosztownych archiwów papierowych lub elektronicznych przez przedsiębiorców.

Obowiązek korzystania z KSeF

Zgodnie z obowiązującym harmonogramem wdrażania Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF), obowiązek korzystania z systemu został wprowadzony etapowo. Takie rozwiązanie ma umożliwić przedsiębiorcom odpowiednie przygotowanie się do nowych wy-mogów, dostosowanie systemów informatycznych oraz przeprowadzenie niezbędnych zmian organizacyjnych.

Od **1 lutego 2026 r.** obowiązek wystawiania faktur za pośrednictwem KSeF objął największych podatników, których wartość sprzedaży w poprzednim roku podatkowym przekroczyła próg określony w przepisach (**200 mln zł**).

Od **1 kwietnia 2026 r.** obowiązek korzystania z KSeF został rozszerzony na pozostałych przedsiębiorców będących podatnikami VAT, którzy wystawiają faktury dokumentujące sprzedaż towarów i usług.

Jednocześnie ustawodawca przewidział rozwiązania przejściowe dla najmniejszych podatników oraz przedsiębiorców wystawiających niewielką liczbę faktur. Podatnicy, których miesięczna sprzedaż dokumentowana fakturami nie przekracza 10 tys. zł brutto, mogą do końca 2026 wystawiać takie faktury poza KSeF i obowiązek obejmie ich od 1 stycznia 2027 r. W okresie przejściowym niektóre obowiązki, w szczególności dotyczące stosowania sankcji za nieprzestrzeganie przepisów oraz wybranych wymagań

technicznych, zostały złagodzone lub odroczone. Celem tych rozwiązań jest ułatwienie najmniejszym podmiotom dostosowania się do nowych regulacji oraz ograniczenie negatywnych skutków związanych z wdrożeniem systemu.

Etapowe wprowadzanie obowiązku korzystania z KSeF ma zapewnić sprawne przejście z tradycyjnego modelu fakturowania na elektroniczny system wymiany faktur. Pozwala to zarówno przedsiębiorcom, jak i administracji skarbowej stopniowo dostosować się do nowych zasad funkcjonowania oraz zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo procesu fakturowania.

Kto korzysta z KSeF

Obowiązek korzystania z Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) dotyczy przede wszystkim podmiotów prowadzących działalność gospodarczą na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, które są zobowiązane do wystawiania faktur zgodnie z przepisami ustawy o podatku od towarów i usług. W szczególności obowiązek ten obejmuje:

1. czynnych podatników VAT;
2. podatników korzystających ze zwolnienia z podatku VAT, którzy wystawiają faktury dokumentujące sprzedaż;
3. przedsiębiorców prowadzących działalność gospodarczą na terytorium Polski, niezależnie od formy organizacyjno-prawnej, o ile przepisy nakładają na nich obowiązek stosowania KSeF.

Jednocześnie nie wszystkie dokumenty sprzedażowe są objęte obowiązkiem wystawiania za pośrednictwem KSeF. Przepisy przewidują wyjątki dotyczące określonych rodzajów dokumentów, które nadal funkcjonują na zasadach określonych w odrębnych regulacjach. Dotyczy to między innymi biletów spełniających funkcję faktury, a także niektórych faktur wystawianych w ramach procedur szczególnych przewidzianych w przepisach podatkowych. Wyłączenia te wynikają ze specyfiki poszczególnych rodzajów transakcji oraz konieczności zachowania odmiennych zasad ich dokumentowania.

Wprowadzenie Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) przynosi przedsiębiorcom szereg korzyści organizacyjnych, finansowych oraz administracyjnych. Cyfryzacja procesu fakturowania pozwala usprawnić obieg dokumentów, ograniczyć liczbę czynności wykonywanych ręcznie oraz zwiększyć bezpieczeństwo przechowywania danych. Zastosowanie jednolitego systemu wpływa również na poprawę efektywności pracy działów księgowych i finansowych oraz ułatwia współpracę z kontrahentami.

Do najważniejszych korzyści wynikających z korzystania z KSeF należą:

1. **brak obowiązku samodzielnego przechowywania faktur** faktury ustrukturyzowane są przechowywane w systemie teleinformatycznym Ministerstwa Finansów przez

- okres 10 lat, co eliminuje konieczność tworzenia i utrzymywania własnych archiwów dokumentów;
2. **szybszy dostęp do wystawionych i otrzymanych faktur** przedsiębiorcy mogą w każdej chwili uzyskać dostęp do dokumentów zapisanych w systemie, co usprawnia wyszukiwanie faktur oraz przygotowywanie rozliczeń podatkowych;
 3. **ograniczenie ryzyka zagubienia lub zniszczenia dokumentów** centralne przechowywanie faktur zapewnia większe bezpieczeństwo danych oraz minimalizuje ryzyko utraty dokumentacji wskutek awarii sprzętu, błędów ludzkich czy zdarzeń losowych;
 4. **automatyczne przekazywanie faktur kontrahentom** po pozytywnej weryfikacji przez KSeF faktura zostaje udostępniona odbiorcy za pośrednictwem systemu, co przyspiesza obieg dokumentów i eliminuje konieczność ich przesyłania pocztą elektroniczną lub w formie papierowej;
 5. **integracja z programami finansowo-księgowymi** KSeF umożliwia automatyczną wymianę danych pomiędzy systemem a wykorzystywanym oprogramowaniem księgowym, co ogranicza konieczność ręcznego wprowadzania danych oraz zmniejsza ryzyko popełnienia błędów;

Wyzwania związane z KSeF

Pomimo licznych korzyści wynikających z wdrożenia Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF), jego stosowanie wiąże się również z szeregiem wyzwań organizacyjnych, technicznych i finansowych. Wprowadzenie obowiązkowego systemu fakturowania elektronicznego wymaga od przedsiębiorców odpowiedniego przygotowania zarówno pod względem infrastruktury informatycznej, jak i organizacji procesów wewnętrznych.

Jednym z podstawowych wyzwań jest dostosowanie systemów finansowo-księgowych do wymagań KSeF. W wielu przedsiębiorstwach konieczna była aktualizacja wykorzystywanego oprogramowania lub wdrożenie nowych rozwiązań umożliwiających wystawianie, odbieranie oraz archiwizowanie faktur ustrukturyzowanych zgodnie z obowiązującymi standardami.

Istotnym obowiązkiem przedsiębiorców jest również zapewnienie odpowiednich uprawnień użytkownikom systemu. Każda osoba korzystająca z KSeF powinna posiadać właściwy zakres uprawnień odpowiadający pełnionej funkcji. Szczególne znaczenie ma prawidłowe zarządzanie uprawnieniami do wystawiania, odbierania oraz przeglądania faktur, ponieważ ogranicza ono ryzyko nieuprawnionego dostępu do danych i zwiększa bezpieczeństwo obiegu dokumentów.

Kolejnym wyzwaniem jest opracowanie i wdrożenie procedur awaryjnych, które umożliwią zachowanie ciągłości procesu fakturowania w przypadku czasowej niedostępności systemu KSeF, awarii infrastruktury informatycznej lub problemów z dostępem do Internetu. Przedsiębiorcy powinni określić sposób postępowania w takich sytuacjach zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa.

Wdrożenie KSeF wymaga także przeszkolenia pracowników odpowiedzialnych za wystawianie faktur oraz prowadzenie rozliczeń księgowych. Odpowiednie przygotowanie personelu pozwala ograniczyć liczbę błędów, zwiększa efektywność pracy oraz ułatwia prawidłowe korzystanie z nowych narzędzi informatycznych.

Najważniejsze zmiany w podatku VAT

Zmiany dotyczące fakturowania

Jedną z najistotniejszych zmian wprowadzonych wraz z Krajowym Systemem e-Faktur jest stopniowe zastępowanie tradycyjnych faktur papierowych oraz elektronicznych faktur przesyłanych poza systemem fakturami ustrukturyzowanymi wystawianymi za pośrednictwem KSeF. Faktura ustrukturyzowana posiada jednolity format określony przez Ministerstwo Finansów, co zapewnia spójność danych oraz umożliwia ich automatyczne przetwarzanie przez systemy finansowo-księgowe.

Zmianie uległ również moment uznania faktury za wystawioną. W przypadku faktur ustrukturyzowanych za datę wystawienia uznaje się moment przydzielenia dokumentowi numeru identyfikującego przez KSeF po pozytywnej weryfikacji jego poprawności. Zmienił się także sposób doręczania faktur odbiorcom dokumenty są udostępniane za pośrednictwem systemu, co eliminuje konieczność przysyłania ich pocztą elektroniczną lub w formie papierowej.

Zmiany dotyczące kontroli podatkowych

Wprowadzenie KSeF znacząco zmieniło sposób prowadzenia kontroli podatkowych. Dzięki centralnej bazie faktur organy podatkowe uzyskują niemal natychmiastowy dostęp do dokumentów sprzedażowych, co umożliwia bieżące monitorowanie obrotu gospodarczego oraz szybszą analizę rozliczeń podatników.

Do najważniejszych skutków tych zmian należą:

1. szybsze i bardziej efektywne przeprowadzanie kontroli podatkowych;
2. łatwiejsze wykrywanie tzw. pustych faktur oraz innych nieprawidłowości w dokumentacji;
3. skuteczniejsze ograniczanie oszustw podatkowych, w szczególności wyłudzeń podatku VAT;

4. możliwość automatycznej analizy transakcji oraz identyfikowania podejrzanych schematów rozliczeń z wykorzystaniem narzędzi informatycznych.

Dzięki bieżącemu dostępowi do danych administracja skarbową może szybciej reagować na nieprawidłowości, co zwiększa skuteczność nadzoru nad prawidłowością rozliczeń podatkowych.

Zmiany dotyczące odliczania podatku VAT

Wprowadzenie KSeF nie zmieniło podstawowych zasad odliczania podatku VAT. Nadal obowiązuje zasada, zgodnie z którą podatnik ma prawo do odliczenia podatku naliczonego wyłącznie w zakresie, w jakim nabywane towary i usługi są wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych.

Zmianie uległ natomiast sposób dokumentowania i weryfikacji transakcji. Elektroniczne faktury ustrukturyzowane umożliwiają szybsze potwierdzenie autentyczności dokumentów oraz ograniczają ryzyko wykorzystania faktur sfałszowanych lub zdublowanych. Korzystanie z KSeF ułatwia również przedsiębiorcom prowadzenie ewidencji podatkowej oraz przygotowywanie dokumentacji na potrzeby kontroli i postępowań podatkowych.

Zmiany dotyczące sankcji

Wraz z wprowadzeniem obowiązkowego korzystania z KSeF ustawodawca przewidział system sankcji mających zapewnić prawidłowe stosowanie nowych przepisów. Kary pieniężne mogą zostać nałożone między innymi w przypadku:

1. niewystawienia faktury w KSeF pomimo istnienia takiego obowiązku;
2. wystawienia faktury poza systemem bez podstawy prawnej przewidzianej w obowiązujących przepisach;
3. przesłania dokumentu niezgodnego z obowiązującą strukturą logiczną faktury ustrukturyzowanej.

Wysokość sankcji uzależniona jest od rodzaju naruszenia oraz wartości wykazanej na fakturze, a ich celem jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania systemu oraz zwiększenie dyscypliny podatników w zakresie przestrzegania nowych obowiązków. Jednocześnie przepisy przewidują możliwość odstąpienia od nałożenia kary w szczególnych przypadkach, jeżeli naruszenie nastąpiło z przyczyn niezależnych od podatnika lub zostało niezwłocznie usunięte zgodnie z obowiązującymi regulacjami.

Procedura awaryjna

Choć Krajowy System e-Faktur ma działać w sposób ciągły, przepisy przewidują sytuacje, w których jego wykorzystanie jest czasowo niemożliwe. Dotyczy to przede wszystkim awarii systemu po stronie Ministerstwa Finansów lub innych przypadków niedostępności KSeF.

W takich sytuacjach przedsiębiorca może wystawić fakturę poza systemem, zgodnie z obowiązującymi przepisami. Należy jednak pamiętać, że jest to rozwiązanie wyłącznie tymczasowe. Po usunięciu awarii faktura musi zostać przesłana do KSeF w terminie określonym w ustawie. Takie rozwiązanie pozwala zachować ciągłość prowadzenia działalności gospodarczej, a jednocześnie zapewnia kompletność danych znajdujących się w centralnym systemie.

Dlatego przedsiębiorcy powinni wcześniej przygotować procedury postępowania na wypadek awarii oraz zadbać o to, aby pracownicy wiedzieli, jak postępować w takich sytuacjach.

Znaczenie KSeF dla gospodarstw rybackich i rolników

Wprowadzenie Krajowego Systemu e-Faktur ma istotne znaczenie również dla sektora rolnego i rybackiego, jednak zakres nowych obowiązków zależy od sposobu rozliczania podatku VAT.

Rolnicy ryczałtowi co do zasady nie wystawiają standardowych faktur VAT. W ich przypadku stosowane są faktury VAT RR, które wystawia nabywca produktów rolnych, dlatego obowiązki związane z KSeF są ograniczone.

Inaczej wygląda sytuacja gospodarstw rybackich oraz gospodarstw rolnych, które są czynnymi podatnikami VAT i rozliczają się na zasadach ogólnych. Podmioty te zostały objęte obowiązkiem korzystania z KSeF na takich samych zasadach jak pozostali przedsiębiorcy. Oznacza to konieczność wystawiania faktur ustrukturyzowanych, korzystania z systemu teleinformatycznego Ministerstwa Finansów oraz dostosowania organizacji pracy do nowych wymagań.

W praktyce wiąże się to z koniecznością aktualizacji oprogramowania księgowego, nadania odpowiednich uprawnień osobom wystawiającym faktury, przeszkolenia pracowników oraz wdrożenia procedur związanych z elektronicznym obiegiem dokumentów. Dla wielu mniejszych gospodarstw może to stanowić wyzwanie organizacyjne, jednak w dłuższej perspektywie KSeF może usprawnić zarządzanie dokumentacją oraz ułatwić rozliczenia podatkowe.

Podsumowanie

Krajowy System e-Faktur stanowi jedną z największych reform polskiego systemu podatkowego ostatnich lat. Jego wprowadzenie ma usprawnić obieg dokumentów, zwiększyć bezpieczeństwo rozliczeń oraz ograniczyć skalę nadużyć podatkowych. Dla przedsiębiorców oznacza to konieczność dostosowania procesów księgowych i organizacyjnych do nowych wymagań, ale jednocześnie daje możliwość automatyzacji wielu czynności oraz uproszczenia rozliczeń podatkowych.

Ślad antybiotykowy w środowisku wodnym związanym z akwakulturą

**Przemysław Racewicz, Marta Rybska,
Aleksandra Biegniewska, Agnieszka Pękala-Safińska**

Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
60-637 Poznań, Wołyńska 35, agnieszka.pekala-safinska@up.poznan.pl

1. Wstęp

Koncepcja One Health („Jedno zdrowie”) opiera się na założeniu, że zdrowie ludzi, zwierząt oraz środowiska naturalnego stanowi system wzajemnie powiązanych i oddziałujących na siebie elementów. W tym ujęciu dobrostan każdej z tych sfer zależy od kondycji pozostałych, co wymaga całościowego spojrzenia na wyzwania związane z ochroną zdrowia i środowiska. Z filozofii One Health wywodzi się również strategia „od pola do stołu”, koncentrująca się na bezpieczeństwie i jakości żywności na wszystkich etapach łańcucha produkcji. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera wpływ zanieczyszczeń środowiska na jakość produktów spożywczych, w tym ryb. O ich wartości decyduje bowiem nie tylko atrakcyjność sensoryczna, ale przede wszystkim bezpieczeństwo zdrowotne, będące wypadkową wielu czynników środowiskowych i technologicznych.

Jednym ze zidentyfikowanych, niezmiennie istotnych zagrożeń dla jakości środowiska wodnego są zanieczyszczenia cieków i zbiorników wodnych różnymi substancjami, w tym barwnikami, takimi jak zieleń malachitowa (Tkaczyk-Wliziło i Mirowska, 2023). Zagadnienia te niejednokrotnie były już poruszane i omawiane (Mitrowska i wsp., 2022; Mitrowska, 2023). Coraz większego znaczenia nabiera także identyfikacja potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ryb i konsumentów, jakim jest lekooporność występująca w środowisku hodowli ryb słodkowodnych. Kompleksowa ocena jakości wód zasilających polskie gospodarstwa rybackie w aspekcie rosnącej presji związanej z ograniczeniem stosowania antybiotyków w produkcji zwierzęcej, w tym w akwakulturze, pozwoli na rozwój bardziej zrównoważonych metod produkcji żywności.

Kształtowanie się lekooporności w środowisku hodowli ryb słodkowodnych zależy od wielu czynników, w tym od ogólnej presji antropogenicznej oraz obecności pozostałości substancji farmakologicznie czynnych w wodach powierzchniowych, które mogą sprzyjać selekcji i utrwalaniu antybiotykooporności w tych ekosystemach (Berendonk

i wsp., 2015; Michael i wsp., 2013; Andersson i Hughes, 2014). Doniesienia literaturowe wykazały, że uzdatnianie wody oraz standardowe procesy oczyszczania ścieków nie są w pełni efektywne w usuwaniu pozostałości farmaceutyków, a utrzymujące się, często subinhibicyjne stężenia mogą wzmacniać presję selekcyjną na bakterie (Michael i wsp., 2013; Andersson i Hughes, 2014).

Markerem jakości środowiska wodnego są mezofilne bakterie z rodzaju *Aeromonas*, które powszechnie występują w wodzie i osadach, w tym w środowiskach hodowli ryb (Fernández-Bravo i Figueras, 2020; Hayatgheib i wsp., 2021). Jako oportunistyczne patogeny mogą stanowić zagrożenie zarówno dla zdrowia zwierząt, jak i ludzi (Fernández-Bravo i Figueras, 2020). Jednocześnie bakterie *Aeromonas* spp. są wykorzystywane jako drobnoustroje wskaźnikowe w ocenie oporności na substancje przeciwdrobnoustrojowe w środowisku wodnym, m.in. ze względu na ich powszechność oraz zdolność do nabywania i przenoszenia determinant oporności (Grilo i wsp., 2020).

Pierwszym krokiem w ograniczaniu ryzyka związanego z antybiotykoopornością jest rozpoznanie sytuacji epidemiologicznej oraz lokalnych wzorców lekooporności u wybranych drobnoustrojów środowiskowych. Podejście takie stanowi punkt wyjścia do prowadzenia monitoringu i działań zaradczych w koncepcji One Health „Jedno Zdrowie” (Franklin i wsp., 2024). Dlatego też celem badań było określenie lekooporności mezofilnych bakterii *Aeromonas* spp. izolowanych ze środowiska wodnego dwóch obiektów hodowli ryb łososiowatych w naszym kraju.

2. Metodologia

Na udział w badaniach wyraziły zgodę dwa gospodarstwa hodujące ryby łososiowate, zlokalizowane w znacznej odległości od siebie, oznaczone jako Gospodarstwo I i Gospodarstwo II. W obu hodowlach produkcja ryb odbywała się częściowo w systemie przepływowym pozyskującym wodę z rzek. Próbkami do badań były woda oraz osady, które zostały pobrane z trzech analogicznych punktów hodowli: ujęcia wody rzecznej wpływającej do hodowli (punkt A); wylotu wody z basenów narybkowych (punkt B); oraz wylotu wody z hodowli do rzeki za laguną (punkt C).

Pobrany materiał posiewano na odpowiednie podłoża mikrobiologiczne, a po inkubacji izolowano kolonie o morfologii przypominającej mezofilne, wykazujące zdolność ruchu *Aeromonas* spp. Bakterie identyfikowano na podstawie ich właściwości fenotypowych oraz profili biochemicznych, z zastosowaniem testów API 20NE (bioMérieux).

Zgromadzone drobnoustroje oceniano pod kątem wrażliwości na wybrane, najczęściej stosowane w akwakulturze, środki przeciwdrobnoustrojowe. Oporność fenotypową analizowano metodą dyfuzyjno-krażkową na podłożu Mueller-Hinton II, z wykorzysta-

niem krążków bibułowych nasączonych antybiotykami (Oxoid): OT (oksytetracyklina), FFC (florfenikol), ENR (enrofloksacyna), UB (flumechina), S3 (sulfonamidy) oraz SXT (sulfonamidy potencjonowane trimetoprimem). Kryteria interpretacji oparto na przyjętych punktach odcięcia. Izolaty klasyfikowano jako odporne przy średnicach stref zahamowania wzrostu ≤ 23 mm dla OT, ≤ 25 mm dla FFC, ≤ 28 mm dla ENR, UB i S3 oraz ≤ 20 mm dla SXT; izolaty wykazujące większe średnice stref uznawano za wrażliwe. Identyfikowano ponadto izolaty wielolekooporne (MDR, ang. multidrug resistance), określając je jako odporne na co najmniej trzy badane substancje czynne.

Obecność wybranych genów oporności związanych z wymienionymi powyżej substancjami przeciwbakteryjnymi analizowano z zastosowaniem narzędzi biologii molekularnej, metodą real-time PCR przy użyciu EvaGreen qPCR Mix (Solis BioDyne). Zestawienie substancji przeciwbakteryjnych i odpowiadających im genów oporności przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Substancje przeciwbakteryjne i odpowiadające im geny oporności.

Nazwa substancji czynnej	Enrofloksacyna ENR	Flumechina UB	Oksytetracyklina OT	Florfenikol FFC	Sulfonamidy S3	Sulfametoksazol + trimetoprim. SXT
Nazwa genu	qnrA qnrB qnrC oqxAB qepA	qnrA qnrB qnrC oqxAB	tetA tetB tetC tetD tetM	floR	sul1 sul2 sul3	dfrA1 dfrA12

3. Wyniki

Łącznie uzyskano 98 izolatów mezofilnych *Aeromonas* spp.: 63 z Gospodarstwa I oraz 35 z Gospodarstwa II (Tabela 2). W obu gospodarstwach najczęściej obserwowano oporność na sulfonamidy (S3): 34/63 (54,0%) izolatów z Gospodarstwa I oraz 11/35 (31,4%) izolatów z Gospodarstwa II. W Gospodarstwie I drugą najczęściej stwierdzaną była oporność na enrofloksacynę (ENR; 14/63; 22,2%), natomiast w Gospodarstwie II oporność na oksytetracyklinę (OT; 9/35; 25,7%), a następnie na enrofloksacynę (8/35; 22,9%). Oporność na florfenikol (FFC) występowała sporadycznie u 2/63 (3,2%) izolatów z Gospodarstwa I oraz 1/35 (2,9%) z Gospodarstwa II (Tabela 2, Rysunek 1).

Ogólnie 58 izolatów (59,2%) wykazywało fenotypową oporność na co najmniej jeden środek przeciwdrobnoustrojowy, a 15 izolatów (15,3%) spełniało kryterium wielolekooporności (MDR) (Tabela 3). Częstość występowania oporności fenotypowej była wyższa

w Gospodarstwie I w porównaniu z Gospodarstwem II (41/63, tj. 65,1% vs. 17/35, tj. 48,6%), przy porównywalnym odsetku izolatów MDR (9/63, tj. 14,3% oraz 6/35, tj. 17,1%) (Tabela 3).

Tabela 2. Oporność fenotypowa wyizolowanych *Aeromonas* spp.

	Substancja przeciwbakteryjna	Gospodarstwo I	Gospodarstwo II	Łącznie
Liczba izolatów		63	35	98
Oporność fenotypowa	OT	8 (12,7%)	9 (25,7%)	17 (17,3%)
	FFC	2 (3,2%)	1 (2,9%)	3 (3,1%)
	ENR	14 (22,2%)	8 (22,9%)	22 (22,4%)
	UB	8 (12,7%)	4 (11,4%)	12 (12,2%)
	S3	34 (54,0%)	11 (31,4%)	45 (45,9%)
	SXT	9 (14,3%)	3 (8,6%)	12 (12,2%)

Tabela 3. Rozkład izolatów *Aeromonas* spp. w zależności od liczby substancji czynnych, wobec których stwierdzono oporność fenotypową.

Gospodarstwo	0 subst.	1 subst.	2 subst.	3 subst.	4 subst.	5 subst.	MDR (>3)
Gospodarstwo I	22 (34,9%)	23 (36,5%)	9 (14,3%)	5 (7,9%)	2 (3,2%)	2 (3,2%)	9 (14,3%)
Gospodarstwo II	18 (51,4%)	5 (14,3%)	6 (17,1%)	5 (14,3%)	1 (2,9%)	0 (0,0%)	6 (17,1%)
Łącznie	40 (40,8%)	28 (28,6%)	15 (15,3%)	10 (10,2%)	3 (3,1%)	2 (2,0%)	15 (15,3%)

W odniesieniu do wyników badań odsetek izolatów z co najmniej jednym genem oporności na antybiotyki był wyższy w Gospodarstwie II niż w Gospodarstwie I i wynosił odpowiednio 19/35 (54,3%) oraz 30/63 (47,6%). W badanym materiale najczęściej występowały geny *sul1* (35/98; 35,7%), *sul2* (27/98; 27,6%), *dfrA1* (26/98; 26,5%), *tetA* (22/98; 22,4%), *dfrA12* (19/98; 19,4%) oraz *qnrA* (18/98; 18,4%). Nie wykryto genów *oqxAB* (Tabela 4).

Dokonano porównania oporności fenotypowej z obecnością odpowiadających jej markerów genetycznych wśród wyizolowanych bakterii *Aeromonas* spp. Najwyższy odsetek izolatów z odpowiadającym markerem genetycznym stwierdzono dla trimetoprimu z sulfametoksazolem (SXT). Co najmniej jeden z genów *dfrA1* lub *dfrA12*, związanych z opornością na trimetoprim, wykryto u 10 z 12 izolatów fenotypowo opornych na SXT (83,3%). Dla oksytetracykliny (OT) odpowiadające markery wykryto u 14/17 (82,4%) fenotypowo opornych izolatów. Niższe wartości odnotowano dla enrofloksacyny (ENR)

(15/22; 68,2%), florfenikolu (FFC) (2/3; 66,7%), sulfonamidów (S3) (29/45; 64,4%) oraz flumechiny (UB) (7/12; 58,3%). Łącznie odpowiadające markery genetyczne wykryto w 77 ze 111 fenotypowo opornych kombinacji izolatów i substancji (69,4%), natomiast w grupie izolatów MDR w 48 z 52 takich kombinacji (92,3%) (Tabela 5).

Tabela 4. Występowanie badanych genów oporności wśród izolatów *Aeromonas* spp.

	Badany gen oporności	Gospodarstwo I (n = 63)	Gospodarstwo II (n = 35)	Łącznie (n = 98)
Liczba izolatów		63	35	98
Geny oporności	tetA	9 (14,3%)	13 (37,1%)	22 (22,4%)
	tetB	8 (12,7%)	9 (25,7%)	17 (17,3%)
	tetC	3 (4,8%)	5 (14,3%)	8 (8,2%)
	tetD	3 (4,8%)	3 (8,6%)	6 (6,1%)
	tetM	2 (3,2%)	0 (0,0%)	2 (2,0%)
	floR	2 (3,2%)	8 (22,9%)	10 (10,2%)
	qnrA	9 (14,3%)	9 (25,7%)	18 (18,4%)
	qnrB	1 (1,6%)	6 (17,1%)	7 (7,1%)
	qnrC	1 (1,6%)	1 (2,9%)	2 (2,0%)
	qepA	2 (3,2%)	0 (0,0%)	2 (2,0%)
	oqxAB	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	sul1	19 (30,2%)	16 (45,7%)	35 (35,7%)
	sul2	12 (19,0%)	15 (42,9%)	27 (27,6%)
	sul3	8 (12,7%)	3 (8,6%)	11 (11,2%)
	dfrA1	14 (22,2%)	12 (34,3%)	26 (26,5%)
	dfrA12	9 (14,3%)	10 (28,6%)	19 (19,4%)

W punkcie A, odpowiadającym ujęciu wody rzecznej, stwierdzono obecność izolatów opornych na co najmniej jedną badaną substancję. Stanowiły one 16/22 izolatów w Gospodarstwie I (72,7%) oraz 5/12 izolatów w Gospodarstwie II (41,7%). W punkcie tym wykryto również izolaty MDR, odpowiednio 2/22 (9,1%) i 1/12 (8,3%). Najwyższy odsetek izolatów MDR w obu gospodarstwach stwierdzono w punkcie C, odpowiadającym odpływowi z gospodarstwa do rzeki. W Gospodarstwie I wynosił on 6/26 (23,1%), a w Gospodarstwie II 3/13 (23,1%) (Tabela 6, Rycina 2). Najczęściej stwierdzano oporność na sulfonamidy (S3), która występowała u 34/63 izolatów z Gospodarstwa I (54,0%) oraz u 11/35 izolatów z Gospodarstwa II (31,4%). Oporność na enrofloksacyne (ENR) stwierdzono odpowiednio u 14/63 (22,2%) i 8/35 (22,9%) izolatów. Najrzadziej występowała oporność na florfenikol (FFC), wykryta u 2/63 izolatów z Gospodarstwa I (3,2%) oraz u 1/35 izolatów z Gospodarstwa II (2,9%) (Tabela 6).

Tabela 5. Obecność genów oporności u fenotypowo opornych izolatów *Aeromonas* spp., z uwzględnieniem izolatów MDR.

Substancja / klasa	Geny kodujące oporność	Wszystkie izolaty: R+/G+ / R	Zgodność ogółem (%)	MDR: R+ / G+ / R	Zgodność w MDR (%)
OT	tetA, tetB, tetC, tetD, tetM	14/17	82,4	11/11	100,0
FFC	floR	2/3	66,7	2/2	100,0
ENR	qnrA, qnrB, qnrC, qepA, oqxAB	15/22	68,2	10/11	90,9
UB	qnrA, qnrB, qnrC, oqxAB	7/12	58,3	6/9	66,7
S3	sul1, sul2, sul3	29/45	64,4	13/13	100,0
SXT	dfrA1, dfrA12	10/12	83,3	6/6	100,0
Łącznie	—		69,4		92,3

R+G+/R oznacza liczbę izolatów fenotypowo opornych, u których wykryto co najmniej jeden gen oporności przypisany do danej substancji, w stosunku do wszystkich izolatów fenotypowo opornych na tę substancję.

R oznacza oporność fenotypową, a G+ oznacza wykrycie odpowiadającego jej genu oporności.

Tabela 6. Zestawienie wyników lekooporności fenotypowej *Aeromonas* spp. w dwóch obiektach hodowli ryb łososiowatych.

Wskaźnik	Gospodarstwo I		Gospodarstwo II	
Liczba izolatów (n)	63		35	
ARB w punktach poboru prób (A / B / C)	A	16/22 (72,7%)	A	5/12 (41,7%)
	B	9/15 (60,0%)	B	4/10 (40,0%)
	C	16/26 (61,5%)	C	8/13 (61,5%)
MDR w punktach poboru prób (A / B / C)	A	2/22 (9,1%)	A	1/12 (8,3%)
	B	1/15 (6,7%)	B	2/10 (20,0%)
	C	6/26 (23,1%)	C	3/13 (23,1%)
Najczęstsze lekooporności (O)	S3 54,0%, ENR 22,2%, SXT 14,3%		S3 31,4%, OT 25,7%, ENR 22,9%	
Najniższa %O	FFC 3,2%		FFC 2,9%	

A – dopływ wody do gospodarstwa; B – wylot wody z basenów narybkowych;

C – odpływ wody z gospodarstwa do rzeki za laguną.

Dyskusja i omówienie

Hodowla ryb w systemach przepływowych staje obecnie przed licznymi wyzwaniami wynikającymi zarówno z działalności człowieka, jak i z postępujących zmian klima-

tycznych oraz dewastacji środowiska naturalnego. W kontekście koncepcji One Health „Jedno Zdrowie” szczególnego znaczenia nabiera jakość prowadzonej produkcji ryb, oceniana jako całokształt warunków hodowlanych wraz z oddziaływaniem zewnętrznych czynników środowiskowych, które mogą wpływać na bezpieczeństwo i jakość użytkowanego produktu.

Istotnym zagrożeniem dla hodowli ryb jest tzw. „ślad antybiotykowy”, rozumiany jako obecność pozostałości antybiotyków w środowisku wodnym. Zjawisko to może oddziaływać na ekosystemy oraz wpływać na warunki produkcji ryb, sprzyjając selekcji bakterii opornych na antybiotyki i rozprzestrzenianiu się genów antybiotykoodporności w naturalnej mikroflorze. W konsekwencji „ślad antybiotykowy” staje się nie tylko problemem środowiskowym, lecz także wyzwaniem dla zrównoważonej akwakultury oraz bezpieczeństwa żywności.

Istotnym elementem naszych badań był rozkład izolatów opornych w zależności od punktu poboru próbek. Wyniki wykazały jednoznacznie, że do akwakultur wraz z naturalnymi wodami dostaje się niezmiernie wysoki odsetek bakterii wykazujących lekooporność (41,7% i 72,7% odpowiednio w Gospodarstwie II i I). Dane te wskazują, że już na wstępie hodowla ryb jest obciążona bakteriami lekoopornymi. Dodatkowo lekooporne tło środowiskowe, określone przez nas jako silny ślad antybiotykowy, pociąga za sobą presję selekcyjną i wysokie prawdopodobieństwo rozwoju wielolekooporności. Zjawisko to będzie się pogłębiało, m.in. wobec konieczności stosowania antybiotykoterapii na kolejnych etapach produkcji ryb. Interesujące są zatem wyniki wskazujące na stosunkowo niewielkie odsetki wielolekoopornych (MDR) bakterii izolowanych z miejsc ujęć wód z gospodarstw do rzek (punkt C): w przypadku obu gospodarstw wartości te były podobne i wynosiły 23,1%. Sugeruje to, że odpływ z gospodarstwa może stanowić miejsce kumulacji lub wtórnej selekcji szczepów lekoopornych. Dane te, zestawione z wynikami uzyskanymi w punktach A, wskazują na zróżnicowane zmiany profilu lekooporności: między dopływem a odpływem odsetek izolatów ARB zmniejszył się w Gospodarstwie I, natomiast wzrósł w Gospodarstwie II, a w obu obiektach w punkcie C stwierdzono najwyższy udział izolatów MDR. W procesy te wpisane są ryby – organizmy żyjące w środowisku wodnym i odbierające to, co środowisko wodne ze sobą i w sobie niesie, podlegające terapiom i powracające do zdrowia po chorobach. Poczynione obserwacje pozostają zgodne z danymi wskazującymi, że lokalny obraz lekooporności w gospodarstwach pstrągowych może być kształtowany zarówno przez źródła zewnętrzne, jak i przez procesy zachodzące w obrębie samego systemu hodowlanego (Hayatgheib i wsp., 2021). Niski odsetek oporności na florfenikol może wskazywać na słabszą presję selekcyjną fenikoli w badanych obiektach.

Wśród wszystkich wyizolowanych bakterii dominowała oporność na sulfonamidy i enrofloksacynę, co wskazuje, że właśnie te substancje czynne odgrywały istotną rolę w kształtowaniu lokalnego profilu lekooporności. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi wskazującymi, że w akwakulturze oporność *Aeromonas* spp. najczęściej dotyczy sulfonamidów, trimetoprimu, chinolonów i tetracyklin (Hayatgheib i wsp., 2021; Andersson i Hughes, 2014). Podobne obserwacje opisano w dwóch gospodarstwach hodowli pstrąga tęczowego we Francji, w których częstość występowania szczepów o obniżonej wrażliwości oraz szczepów wielolekoopornych zależała zarówno od stosowania antybiotyków, jak i od oddziaływań środowiskowych (Hayatgheib i wsp., 2021).

W naszych badaniach wśród wyizolowanych bakterii najczęściej wykrywano geny *sul1*, *sul2*, *dfrA1*, *tetA*, *dfrA12* oraz *qnrA*, co również odpowiada profilowi genów oporności opisywanemu u *Aeromonas* pochodzących ze środowisk wodnych i akwakultury (Roh i Kannimuthu, 2023; Woo i wsp., 2022). Na tym tle szczególnie interesujący jest fakt, że w Gospodarstwie II odsetek izolatów zawierających co najmniej jeden badany gen oporności był wyższy niż w Gospodarstwie I, mimo niższego udziału izolatów fenotypowo opornych. Wskazuje to, że obecność determinant oporności nie zawsze przekłada się na ujawniony fenotyp lekooporności.

Interesujące było porównanie oporności fenotypowej i genotypowej. Z doniesień literaturowych wynika, że u *Aeromonas* zgodność między fenotypem i genotypem ma zwykle charakter częściowy i zależy od analizowanej grupy substancji. W badaniu Sagas i wsp. (2024), najwyższą zgodność obserwowano dla tetracykliny oraz trimetoprimu z sulfametoksazolem. W całej badanej populacji zgodność między fenotypową opornością a obecnością odpowiadających genów wyniosła 69,4%, natomiast w grupie izolatów wielolekoopornych osiągnęła 92,3%.

W ujęciu One Health uzyskane wyniki wskazują, że gospodarstwa pstrągowe należy rozpatrywać nie tylko jako miejsca produkcji, ale również jako element szerszego obiegu antybiotykkooporności między wodą, zwierzętami i otoczeniem. Ocena tego zjawiska nie powinna opierać się wyłącznie na analizie obecności genów oporności, lecz powinna łączyć dane środowiskowe, mikrobiologiczne i genetyczne. Z praktycznego punktu widzenia pierwszym krokiem powinno być rozpoznanie struktury mikrobiologicznej badanego środowiska oraz wzorców lekowrażliwości bakterii wskaźnikowych na kolejnych etapach produkcji. W tym kontekście klasyczne badania bakteriologiczne, obejmujące izolację drobnoustrojów i ocenę ich lekooporności, nadal pozostają najlepiej standaryzowaną podstawą oceny rzeczywistego ujawnionego fenotypu oporności. Analizy genotypowe stanowią narzędzie uzupełniające, pozwalające lepiej oszacować potencjał

środowiskowego rezerwuaru genów oporności oraz interpretować rozbieżności między fenotypem a genotypem.

Przeprowadzone badania stanowią, zgodnie z naszą wiedzą, pierwsze pilotażowe opracowanie tego typu w Polsce. Stwierdzone różnice w lekooporności między dwoma badanymi gospodarstwami wskazują na potrzebę indywidualnej oceny tego zjawiska w obiektach akwakultury. W ocenie tej należy uwzględniać warunki środowiskowe oraz typ hodowli, w tym obciążenie środowiskowe wynikające z obecności bakterii lekoopornych w wodzie doprowadzanej do gospodarstwa. Zjawisko to, obserwowane w obu obiektach i mające kluczowe znaczenie w procesie selekcji, może bez wątpienia wpływać na kształtowanie profilu oporności bakterii w hodowli, a w konsekwencji prowadzić do kumulacji szczepów opornych w końcowym odcinku systemu produkcji. Wskazuje tym samym na niezmiernie istotną kwestię zanieczyszczenia wód wpływających do akwakultur bakteriami lekoopornymi. Przedstawione wyniki badań mogą przyczynić się do zmiany narracji pojawiającej się w przestrzeni publicznej, wskazującej na akwakultury jako „źródła zanieczyszczeń wód”. Tymczasem akwakultury okazują się naturalnym biofiltrem ze wszystkimi konsekwencjami procesów w nich zachodzących.

Wnioski

1. W każdym punkcie poboru próbek stwierdzono większy udział izolatów opornych na co najmniej jedną badaną substancję (ARB) niż izolatów wielolekoopornych (MDR).
2. W obu gospodarstwach duży odsetek szczepów ARB stwierdzano w punkcie dopływu wody do obiektu.
3. Najwyższy udział izolatów MDR, stwierdzony w punkcie C (za laguną) w obu obiektach, sugeruje, że końcowy odcinek systemu produkcji może stanowić miejsce kumulacji bakterii wielolekoopornych i powinien być traktowany jako punkt krytyczny w monitorowaniu AMR.
4. W obu badanych gospodarstwach najczęściej obserwowano fenotypową oporność *Aeromonas* spp. na sulfonamidy, co wskazuje, że ta grupa chemioterapeutyków odgrywa istotną rolę w kształtowaniu lokalnego profilu lekooporności.
5. Częste występowanie lekooporności na sulfonamidy może odzwierciedlać powszechność tego zjawiska w środowiskach wodnych i sugerować jego egzogenne pochodzenie w systemie akwakultury.
6. Zróżnicowanie odsetka oporności fenotypowej i rozkładu genów oporności między gospodarstwami wskazuje, że każde gospodarstwo akwakultury powinno być oceniane indywidualnie, z uwzględnieniem warunków środowiskowych oraz jakości wody zasilającej.

Podziękowania

Autorzy pragną złożyć serdeczne podziękowania właścicielom obu hodowli ryb łososiowatych za wyjątkową życzliwość, otwartość oraz zaufanie okazane podczas realizacji badań. Dzięki Państwa przychylności możliwe było przeprowadzenie poboru próbek oraz pozyskanie materiału badawczego niezbędnego do wykonania analiz stanowiących podstawę niniejszej pracy.

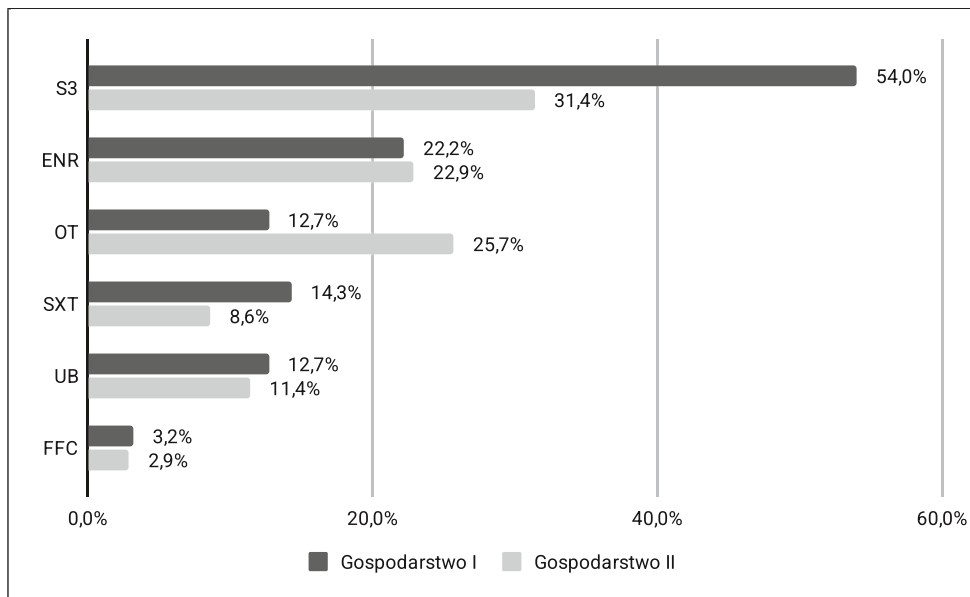
Źródło finansowania:

Badania zostały wykonane w ramach subwencji z grantu MINIATURA 2024/08/X/NZ7/01594.

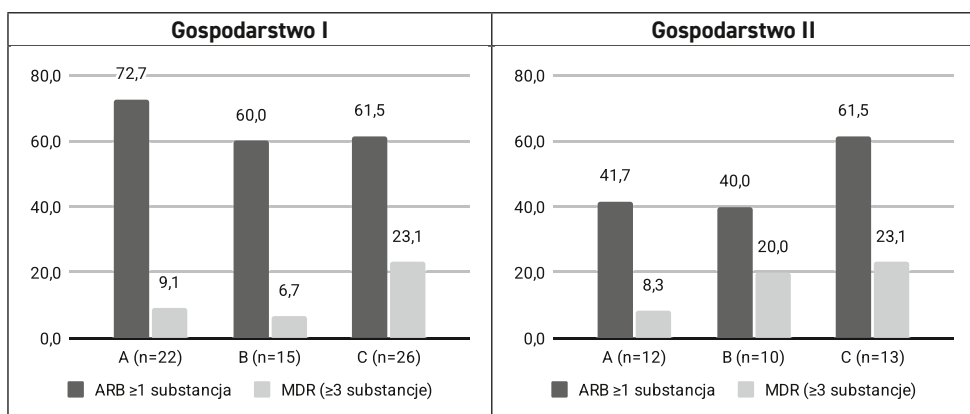
Piśmiennictwo

- Andersson D.I., Hughes D.: Microbiological effects of sublethal levels of antibiotics. *Nat Rev Microbiol.* 2014;12(7):465-478. doi:10.1038/nrmicro3270.
- Berendonk T.U., Manaia C.M., Merlin C., et al.: Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. *Nat Rev Microbiol.* 2015;13(5):310-317. doi:10.1038/nrmicro3439.
- Fernández-Bravo A., Figueras M.J.: An update on the genus *Aeromonas*: taxonomy, epidemiology, and pathogenicity. *Microorganisms.* 2020;8(1):129. doi:10.3390/microorganisms8010129.
- Franklin A.M., Weller D.L., Durso L.M., et al.: A one health approach for monitoring antimicrobial resistance: developing a national freshwater pilot effort. *Front Water.* 2024;6:1359109. doi:10.3389/frwa.2024.1359109.
- Grilo M.L., Santos C.S., Robalo J., Oliveira M.: The potential of *Aeromonas* spp. from wildlife as antimicrobial resistance indicators in aquatic environments. *Ecol Indic.* 2020;115:106396. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106396.
- Hayatgheib N., Calvez S., Fournel C., Pineau L., Pouliquen H., Moreau E.: Antimicrobial susceptibility profiles and resistance genes in genus *Aeromonas* spp. isolated from the environment and rainbow trout of two fish farms in France. *Microorganisms.* 2021;9(6):1201. doi:10.3390/microorganisms9061201.
- Jones D.C., LaMartina E.L., Lewis J.R., et al.: One Health and Global Health View of Antimicrobial Susceptibility through the „Eye” of *Aeromonas*: Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Antimicrob Agents.* 2023;62(2):106848. doi:10.1016/j.ijantimicag.2023.106848.
- Kim S.G., Kim B.E., Lee J.H., Kim D.W.: Novel Qnr families as conserved and intrinsic quinolone resistance determinants in *Aeromonas* spp. *J Microbiol Biotechnol.* 2024;34(6):1276-1286. doi:10.4014/jmb.2403.03043.

- Labitt R.N., Ren J., Marquis H.: Emergence of phenotypic and genotypic resistance in the intestinal microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed long-term to sub-inhibitory concentrations of sulfamethoxazole. *Ecotoxicology*. 2021;30(10):2043-2054. doi:10.1007/s10646-021-02480-9.
- Michael I., Rizzo L., McArdell C.S., et al.: Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: a review. *Water Res.* 2013;47(3):957-995. doi:10.1016/j.watres.2012.11.027.
- Mitrowska K.: Nowe wytyczne dotyczące kontroli pozostałości barwników i innych substancji farmakologicznie czynnych w rybach. XLVIII Szkolenie-konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 12-13 października 2023, Gdynia, 98-110
- Mitrowska K., Tkaczyk-Wliżło A., Kaczkowski Z.: Występowanie barwników farmakologicznie czynnych w rybach wolno żyjących, osadach dennych i wodzie z wybranych polskich jezior i rzek. XLVII Szkolenie-konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 13-14 października 2022, Gdynia, 102-112
- Roh H.J., Kannimuthu D.: Comparative resistome analysis of *Aeromonas* species in aquaculture reveals antibiotic resistance patterns and phylogeographic distribution. *Environ Res.* 2023;239(Pt 2):117273. doi:10.1016/j.envres.2023.117273.
- Sagas D., Hershko Y., Levitskyi K., et al.: Phenotypic and genotypic analysis of antimicrobial resistance and population structure of gastroenteritis-related *Aeromonas* isolates. *Ann Clin Microbiol Antimicrob.* 2024;23(1):45. doi:10.1186/s12941-024-00706-2.
- Tkaczyk-Wliżło A., Mitrowska K.: Occurrence and ecotoxicological risk assessment of pharmacologically active dyes in the environmental water of Poland. *Chemosphere* 2023; 313; 137432.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137432
- Woo S.J., Kim M.S., Jeong M.G., Do M.Y., Hwang S.D., Kim W.J.: Establishment of epidemiological cut-off values and the distribution of resistance genes in *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas veronii* isolated from aquatic animals. *Antibiotics (Basel)*. 2022;11(3):343. doi:10.3390/antibiotics11030343.



Rysunek 1. Częstość występowania fenotypowej oporności na poszczególne substancje przeciwdrobnoustrojowe wśród izolatów *Aeromonas* spp. pochodzących z Gospodarstwa I (n = 63) i Gospodarstwa II (n = 35).



Rysunek 2. Odsetek izolatów *Aeromonas* spp. wykazujących oporność na co najmniej jedną substancję przeciwdrobnoustrojową (ARB) oraz wielolekooporność (MDR) w poszczególnych punktach poboru próbek w Gospodarstwie I i Gospodarstwie II. A – doływ wody do gospodarstwa; B – wylot wody z basenów narybkowych; C – odpływ wody z gospodarstwa do rzeki za laguną.

Od zgodności do odporności: Bioasekuracja 2.0 w hodowli ryb łososiowatych.

Jak wykorzystać wymogi Prawa o zdrowiu zwierząt do ograniczania strat klimatycznych i epizootycznych

Karolina Duk

Weterynaryjne Laboratorium Diagnostyczne ALAB bioscience

ALAB sp. z o.o.

00-739 Warszawa, ul. Stępińska 22/30, karolina.duk@alab.com.pl

1.1. Bioasekuracja jako obowiązek, koszt i nadmiarowa dokumentacja

Bioasekuracja jest często postrzegana przez producentów akwakultury przede wszystkim jako obowiązek administracyjny. Kojarzy się z koniecznością opracowania planu, prowadzenia rejestrów, przygotowania procedur oraz wykazywania ich podczas kontroli. W takim ujęciu łatwo sprowadzić ją do dokumentacji, która ma potwierdzić zgodność gospodarstwa z wymaganiami prawa, ale niekoniecznie wpływa na sposób podejmowania codziennych decyzji produkcyjnych.

Takie postrzeganie bioasekuracji nie jest niezrozumiałe. Wdrożenie niektórych środków wymaga czasu, dodatkowej pracy, przeszkolenia personelu, zakupu wyposażenia albo zmiany organizacji gospodarstwa. Korzyść jest natomiast często niewidoczna, ponieważ ma postać zdarzenia, które nie wystąpiło, choroby, która nie rozprzestrzeniła się na kolejną jednostkę, albo śnięć, których udało się uniknąć. Koszt zakupu urządzenia, preparatu lub dodatkowego wyposażenia jest łatwy do wskazania. Znacznie trudniej oszacować wartość zachowanej biomasy, nieutraconego przyrostu, unikniętego przestoju lub dodatkowego czasu uzyskanego na reakcję.

Problem pojawia się wtedy, gdy samo przygotowanie dokumentu zostaje uznane za zakończenie wdrożenia. Plan bioasekuracji może być formalnie kompletny, a jednocześnie nie odpowiadać rzeczywistemu przebiegowi pracy. Może nie uwzględniać sezonowego spadku przepływu wody, wspólnego wykorzystywania sprzętu, obecności ptaków, rozproszonych części gospodarstwa, zależności od jednego pracownika albo braku możliwości pełnej kwarantanny nowej partii ryb. Procedura może istnieć, ale nie działać w sobotę w nocy, podczas fali upałów, awarii zasilania albo gwałtownego wzrostu śnięć.

Bioasekuracja rozumiana wyłącznie jako dokument pozostaje obciążeniem. Bioasekuracja rozumiana jako sposób ograniczania prawdopodobieństwa i skutków niepożądanych zdarzeń staje się narzędziem zarządzania. Różnica nie polega na liczbie formularzy, lecz na tym, czy informacje zawarte w dokumentacji pomagają wcześniej

zauważyć problem, podjąć właściwą decyzję i ograniczyć straty (Scarfe & Palić, 2020; World Organisation for Animal Health [WOAH], n.d.).

Bioasekuracja 2.0 jest autorską, rozszerzoną koncepcją zarządzania ryzykiem. Nie wszystkie opisane elementy są obowiązkami bioasekuracyjnymi wynikającymi z prawa. Część stanowi dobrą praktykę lub działania zwiększające odporność operacyjną gospodarstwa.

1.2. Dlaczego formalna zgodność nie gwarantuje skuteczności

Formalna zgodność oznacza spełnienie określonych przepisami wymagań. Jest niezbędnym punktem wyjścia, ale nie stanowi gwarancji, że gospodarstwo jest przygotowane na rzeczywiste zdarzenie. Bezpieczeństwo produkcji zależy bowiem nie tylko od tego, czy ustanowiono określone zasady, ale także od tego, czy są one właściwie zaprojektowane, konsekwentnie wykonywane i okresowo sprawdzane (Ahmed et al., 2025; Aly & Fathi, 2024).

Można posiadać punkt dezynfekcyjny, lecz nie kontrolować stężenia, czasu kontaktu ani stopnia zanieczyszczenia roztworu. Można prowadzić rejestr gości, ale nie zbierać informacji o ich wcześniejszym kontakcie z rybami lub innymi gospodarstwami. Można dysponować alarmem tlenowym, ale nie określić, kto ma odebrać powiadomienie i jakie działanie powinno zostać podjęte. Można mieć agregat prądotwórczy, którego nigdy nie uruchomiono przy rzeczywistym obciążeniu. W każdym z tych przypadków rozwiązanie formalnie istnieje, ale jego praktyczna wartość pozostaje nieznana.

Dlatego w praktyce należy rozróżnić kilka kolejnych etapów wdrożenia środka bioasekuracyjnego:

1. rozwiązanie zostało opisane w planie;
2. zapewniono niezbędne zasoby;
3. pracownicy znają sposób postępowania;
4. rozwiązanie jest konsekwentnie stosowane;
5. jego skuteczność jest sprawdzana;
6. wynik sprawdzenia prowadzi do poprawy systemu.

Dopiero przejście przez wszystkie te etapy pozwala mówić o dojrzałym rozwiązaniu. Samo zaznaczenie odpowiedzi „tak” w liście kontrolnej nie informuje, czy środek działa w praktyce.

Formalna zgodność może również dawać fałszywe poczucie bezpieczeństwa, jeżeli plan nie jest aktualizowany wraz ze zmianami w gospodarstwie. Zmiana dostawcy materiału biologicznego, przebudowa obiektu, zwiększenie biomasy, wprowadzenie nowego gatunku, zmiana organizacji pracy, pogorszenie jakości wody albo wzrost częstości

okresów suszy zmieniają profil ryzyka. Plan, który nie uwzględnia tych zmian, stopniowo przestaje opisywać rzeczywisty obiekt.

Celem Bioasekuracji 2.0 nie jest zatem zastąpienie wymagań prawnych kolejnym zestawem obowiązków. Chodzi o wykorzystanie istniejących wymagań jako podstawy systemu, który jest użyteczny również wtedy, gdy nie trwa kontrola. Dokumentacja powinna wspierać decyzje, procedury powinny odpowiadać przebiegowi pracy, a stosowane środki powinny być proporcjonalne do zagrożeń właściwych dla danego gospodarstwa.

1.3. Bioasekuracja jako element systemu zarządzania gospodarstwem

Bioasekuracja nie jest całym systemem zarządzania gospodarstwem. Nie zastępuje planu produkcyjnego, programu zarządzania zdrowiem stada, strategii żywieniowej, kontroli jakości wody, utrzymania infrastruktury ani planowania finansowego. Łączy jednak te elementy wokół wspólnego celu: ograniczenia możliwości wprowadzenia, rozwoju i szerzenia się zagrożeń oraz zmniejszenia ich konsekwencji (Scarfe & Palić, 2020; WOA, n.d.).

W praktyce zdrowie ryb jest wynikiem interakcji gospodarza, czynnika chorobotwórczego i środowiska. Na przebieg procesu wpływają również działania człowieka. Ta sama ekspozycja może mieć odmienne skutki zależnie od temperatury, poziomu tlenu, zagęszczenia, wieku ryb, żywienia, stresu związanego z sortowaniem albo wcześniejszych problemów zdrowotnych. Z tego powodu nie można oddzielać bioasekuracji od jakości prowadzenia produkcji.

Przykładowo skuteczna kontrola materiału zarybieniowego ogranicza ryzyko wprowadzenia patogenu, ale nie zabezpiecza ryb przed skutkami hipoksji. Rezerwowe natlenianie ogranicza konsekwencje spadku tlenu, ale nie zapobiega mechanicznemu przeniesieniu czynnika przez wspólny sprzęt. Diagnostyka może umożliwić rozpoznanie problemu, ale nie ograniczy jego szerzenia, jeżeli ryby, ludzie i sprzęt nadal przemieszczają się między jednostkami. Żaden pojedynczy środek nie zapewnia więc odporności gospodarstwa.

W praktyce bioasekuracja obejmuje organizację produkcji i podział na jednostki epidemiologiczne, zarządzanie źródłami wody i jej jakością, kontrolę wprowadzania ryb, ikry, sprzętu, pojazdów i osób, nadzór nad zdrowiem, zachowaniem i wynikami produkcyjnymi ryb, dostęp do lekarza weterynarii i diagnostyki laboratoryjnej, przygotowanie na awarie oraz inne zdarzenia nagłe, szkolenie personelu i jednoznaczny podział odpowiedzialności oraz analizę zdarzeń i doskonalenie zastosowanych rozwiązań.

Tak rozumiana bioasekuracja nie jest odrębnym dodatkiem do produkcji. Staje się sposobem organizowania jej w taki sposób, aby problem można było ograniczyć możliwie blisko miejsca powstania. Jeżeli dojdzie do wprowadzenia zagrożenia, gospodarstwo

powinno być zdolne do ograniczenia liczby jednostek objętych jego skutkami. Jeżeli pogorszą się warunki środowiskowe, system powinien umożliwić wcześniejsze wykrycie, zmniejszenie obciążenia i uruchomienie rezerw. Jeżeli wystąpią śniecia, powinna istnieć ustalona ścieżka od pierwszej obserwacji do decyzji weterynaryjnej.

1.4. Pięć zdolności odpornego gospodarstwa

Odporność gospodarstwa można zdefiniować jako zdolność do przygotowania się na zagrożenia, ograniczenie ich skutków, utrzymania najważniejszych funkcji produkcyjnych oraz odbudowania zdolności działania. Nie oznacza całkowitego braku chorób, awarii lub strat. Oznacza natomiast, że pojedyncze zdarzenie nie musi automatycznie przekształcić się w kryzys obejmujący całe gospodarstwo.

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto autorski model pięciu wzajemnie powiązanych zdolności gospodarstwa, stanowiący syntezę zasad zarządzania ryzykiem, bioasekuracji i odporności organizacyjnej: (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023; Scarfe & Palić, 2020)

1. **zapobiegać**, czyli ograniczać prawdopodobieństwo wprowadzenia zagrożenia oraz jego szerzenia między jednostkami;
2. **wykrywać**, czyli odpowiednio wcześniej rozpoznawać odchylenia w zachowaniu ryb, wynikach produkcyjnych i parametrach środowiska;
3. **reagować**, czyli podejmować właściwe działania na podstawie przygotowanych progów, odpowiedzialności i ścieżek decyzyjnych;
4. **utrzymywać ciągłość produkcji**, czyli zabezpieczać funkcje krytyczne i ograniczać skalę przestoju;
5. **odbudować się i wyciągać wnioski**, czyli analizować przyczyny, poprawiać rozwiązania i zmniejszać ryzyko powtórzenia zdarzenia.

Pierwsza zdolność obejmuje klasyczne elementy bioasekuracji, takie jak kontrola materiału biologicznego, wody, ludzi, sprzętu, pojazdów i zwierząt dzikich. Obejmuje również strefowanie, kohortowanie, czyszczenie i dezynfekcję oraz kontrolę przemieszczania wewnątrz gospodarstwa.

Druga zdolność opiera się na obserwacji ryb, monitorowaniu jakości wody, analizie śnieć, pobierania paszy i innych parametrów produkcyjnych. Jej celem nie jest samodzielne, natychmiastowe ustalenie przyczyny każdej zmiany, ale możliwie wczesne rozpoznanie, że funkcjonowanie stada albo gospodarstwa odbiega od typowego wzorca.

Trzecia zdolność wymaga ustalenia, kto podejmuje decyzję, co można zrobić natychmiast, kiedy należy włączyć lekarza weterynarii, w jaki sposób zabezpieczyć materiał do badań i kiedy uruchomić działania awaryjne. Reakcja powinna być adekwatna do problemu i nie może ograniczać się do przypadkowego stosowania kolejnych środków.

Czwarta zdolność dotyczy funkcji, których utrata może szybko doprowadzić do poważnych konsekwencji. Są to przede wszystkim dopływ wody, natlenianie, zasilanie, obsługa alarmów, dostęp do personelu i możliwość ograniczenia obciążenia systemu. Ciągłość produkcji zależy zarówno od wyposażenia, jak i od organizacji. Urządzenie rezerwowe bez przeszkolonej osoby i procedury uruchomienia nie stanowi pełnego zabezpieczenia.

Piąta zdolność zamyka cykl. Po zdarzeniu należy ustalić nie tylko jego bezpośrednią przyczynę, ale również przyczyny systemowe. Trzeba sprawdzić, dlaczego bariera nie zadziałała, dlaczego sygnał nie został zauważony albo dlaczego reakcja była opóźniona. Działanie korygujące powinno zostać przypisane konkretnej osobie, mieć termin i zostać ponownie ocenione.

Pięć zdolności pozwala oceniać bioasekurację przez pryzmat efektu. Gospodarstwo odporne nie musi posiadać najdroższych rozwiązań. Musi natomiast wiedzieć, jakie zagrożenia są dla niego najważniejsze, gdzie znajdują się jego słabe punkty, jakie funkcje są krytyczne i co należy zrobić po pojawieniu się pierwszego sygnału.

1.5. Obowiązek prawny, dobra praktyka i inwestycja w odporność

W rozmowie o bioasekuracji należy jasno rozdzielić trzy poziomy działań. Pierwszym jest obowiązek prawny, drugim dobra praktyka, a trzecim inwestycja w odporność. Rozdzielenie tych poziomów zapobiega zarówno bagatelizowaniu wymagań, jak i przedstawianiu każdej rekomendacji technicznej jako działania nakazanego przez prawo (FAO, 2023; Aly & Fathi, 2024).

Obowiązek prawny wyznacza minimalny poziom postępowania. Obejmuje między innymi odpowiedzialność podmiotu za zdrowie utrzymywanych zwierząt, stosowanie odpowiednich środków bioasekuracji, prowadzenie wymaganej dokumentacji, nadzór nad zdrowiem zwierząt, identyfikowalność oraz zgłaszanie określonych podejrzeń. Zakres obowiązków zależy od rodzaju gospodarstwa, statusu prawnego, utrzymywanych gatunków i prowadzonej działalności.

Dobra praktyka oznacza sposób realizacji obowiązku, który zwiększa jego skuteczność i niezawodność. Prawo może wymagać prowadzenia zapisów dotyczących śnięć, ale dobrą praktyką będzie analiza śnięć dla poszczególnych jednostek i porównywanie ich z wartością bazową. Obowiązek stosowania środków bioasekuracji można realizować poprzez ogólną procedurę, ale dobrą praktyką będzie przypisanie sprzętu do stref, określenie kierunku pracy oraz weryfikacja skuteczności czyszczenia i dezynfekcji.

Inwestycja w odporność wykracza poza minimalną zgodność i zwiększa zdolność gospodarstwa do ograniczenia przyszłych strat. Może obejmować monitoring ciągły, system alarmowy, rezerwowe natlenianie, dodatkowe źródło zasilania, przebudowę

ruchu pojazdów, retencję wody, podział obiektu na bardziej niezależne jednostki albo cyfrową integrację danych środowiskowych i produkcyjnych.

Nie każda inwestycja jest jednak potrzebna w każdym gospodarstwie. Jej zasadność powinna wynikać z oceny ryzyka. Automatyczny monitoring tlenu może mieć szczególnie dużą wartość w obiekcie o wysokiej biomasie i małym marginesie czasowym na reakcję. W innym gospodarstwie większą poprawę może przynieść uporządkowanie ruchu sprzętu, zabezpieczenie dodatkowego ujęcia wody albo stworzenie rezerwy personelu. Ważne jest także zachowanie właściwej kolejności. W pierwszej kolejności należy usunąć błędy organizacyjne, ustalić odpowiedzialności, zdefiniować progi działania i zapewnić realistyczne procedury. Następnie można inwestować w rozwiązania techniczne tam, gdzie ryzyko pozostaje wysokie. Najdroższe urządzenie nie zbuduje odporności, jeżeli nikt nie reaguje na jego alarm lub jeżeli jest ono testowane.

Przejście od obowiązku do odporności nie polega więc na zastępowaniu wymagań prawnych dobrowolnymi działaniami. Polega na budowaniu kolejnych poziomów: *Obowiązek określa, co musi zostać zapewnione. Dobra praktyka sprawia, że rozwiązanie działa. Inwestycja zwiększa jego niezawodność i ogranicza konsekwencje przyszłych zdarzeń.* W ten sposób plan bioasekuracji przestaje być dokumentem przygotowanym wyłącznie na potrzeby kontroli. Staje się jednym z narzędzi zarządzania ryzykiem, zdrowiem ryb, ciągłością produkcji i odpornością ekonomiczną gospodarstwa.

2. Bioasekuracja jako zarządzanie ryzykiem

Bioasekuracja nie powinna być jednakową listą zabezpieczeń stosowaną we wszystkich gospodarstwach. Powinna być procesem zarządzania ryzykiem, dostosowanym do konkretnego obiektu, jego otoczenia, sposobu produkcji oraz zdolności reagowania. Plan bioasekuracji powinien wynikać z charakteru produkcji, lokalizacji gospodarstwa, źródła wody, utrzymywanych gatunków i grup wiekowych, organizacji przemieszczania ryb oraz możliwych konsekwencji wystąpienia choroby. Zarządzanie ryzykiem nie wymaga, aby wszystkie gospodarstwa stosowały identyczne rozwiązania techniczne. Wymaga natomiast uporządkowanego sposobu identyfikowania zagrożeń, oceny ich znaczenia, wybierania środków ograniczających ryzyko i sprawdzania, czy zastosowane rozwiązania rzeczywiście działają. Nie każde zagrożenie ma takie samo znaczenie, nie każda droga transmisji jest równie prawdopodobna i nie każda jednostka produkcyjna poniesie takie same konsekwencje. Punktem wyjścia nie jest zatem pytanie: „Jakie procedury powinniśmy posiadać?”, lecz: „Jakie zagrożenia są istotne w danym gospodarstwie, które mogą się przemieszczać i gdzie możemy najskuteczniej przerwać ich drogę?” (FAO, 2023; WOA, 2026).

Podejście oparte na zarządzaniu ryzykiem pozwala kierować ograniczone zasoby tam, gdzie mogą przynieść największy efekt. W pierwszej kolejności należy zajmować się zdarzeniami, które są prawdopodobne, mogą wywołać poważne straty, dotyczą funkcji krytycznych albo mogą szybko objąć większą część gospodarstwa. Ocena taka nie zawsze musi mieć postać rozbudowanego modelu matematycznego. W wielu przypadkach wystarczy uporządkowana analiza jakościowa przeprowadzona wspólnie przez właściciela, kierownika produkcji, pracowników i lekarza weterynarii.

2.1. Zagrożenie, ekspozycja, podatność i konsekwencja

W codziennej praktyce pojęcia „zagrożenie” i „ryzyko” są często używane zamiennie, jednak nie oznaczają tego samego. Zagrożeniem może być czynnik chorobotwórczy, wysoka temperatura, niedobór tlenu, zanieczyszczenie wody, awaria zasilania albo wprowadzenie do gospodarstwa ryb o nieznanym statusie zdrowotnym. Ryzyko określa natomiast możliwość wystąpienia szkody oraz jej potencjalną wielkość w warunkach konkretnego gospodarstwa. Samo istnienie zagrożenia nie przesądza więc o poziomie ryzyka. Znaczenie mają także możliwość kontaktu z zagrożeniem, podatność ryb i systemu produkcyjnego, czas potrzebny do zauważenia problemu oraz zdolność ograniczenia jego skutków.

Praktyczna ocena ryzyka powinna uwzględniać cztery powiązane elementy: zagrożenie, ekspozycję, podatność i konsekwencję. Elementy te nie powinny być analizowane niezależnie. Zagrożenie o dużym potencjale szkodliwości może mieć niewielkie znaczenie, jeżeli nie istnieje realna droga kontaktu z rybami. Z kolei czynnik występujący powszechnie i uznawany za umiarkowanie niebezpieczny może powodować wysokie ryzyko, jeżeli ekspozycja jest ciągła, ryby znajdują się w stanie zwiększonej podatności, a problem może objąć kilka połączonych jednostek produkcyjnych (Scarfe & Palić, 2020; WOA, n.d.).

Tabela 1. Podstawowe elementy praktycznej oceny ryzyka

Element	Znaczenie	Pytanie praktyczne
Zagrożenie	Czynnik, zdarzenie lub sytuacja mogące spowodować szkodę	Co może się wydarzyć?
Ekspozycja	Możliwość, częstotliwość, czas i intensywność kontaktu z zagrożeniem	W jaki sposób zagrożenie może dotrzeć do ryb?
Podatność	Cechy ryb i gospodarstwa wpływające na zdolność przeciwstawienia się skutkom ekspozycji	Dlaczego ta populacja lub ten system mogą szczególnie ucierpieć?
Konsekwencja	Przewidywana wielkość szkody biologicznej, produkcyjnej, ekonomicznej lub organizacyjnej	Co może zostać utracone, jeżeli zdarzenie wystąpi?

Zagrożenia w gospodarstwie akwakultury mogą mieć charakter biologiczny, środowiskowy, techniczny albo organizacyjny. Do zagrożeń biologicznych należą wirusy, bakterie, grzyby, pasożyty, a także organizmy mogące pełnić funkcję rezerwuarów lub wektorów. Źródłem zagrożenia biologicznego może być również materiał o nieznanym statusie zdrowotnym, woda pochodząca ze zlewni połączonej z innymi populacjami ryb oraz sprzęt przemieszczany pomiędzy obiektami lub jednostkami produkcyjnymi. Zagrożenia środowiskowe obejmują przede wszystkim wysoką temperaturę, hipoksję, gwałtowne zmiany parametrów wody, suszę, ograniczenie przepływu, spływ zanieczyszczeń ze zlewni, zwiększone obciążenie materią organiczną oraz działanie substancji toksycznych. Zagrożenia techniczne wynikają z możliwości awarii zasilania, pomp, urządzeń natleniających, systemów alarmowych, czujników, zabezpieczeń ujęcia lub infrastruktury doprowadzającej i odprowadzającej wodę. Zagrożenia organizacyjne obejmują natomiast niejasny podział odpowiedzialności, brak zastępstw, opóźnione zgłaszanie odchyłeń, niewłaściwą kolejność pracy, niekontrolowane przemieszczanie sprzętu oraz brak przygotowanej ścieżki kontaktu z lekarzem weterynarii i laboratorium. Podział na cztery kategorie porządkuje analizę, ale nie oznacza, że poszczególne zagrożenia występują niezależnie. Awaria urządzenia może doprowadzić do pogorszenia warunków środowiskowych, zwiększyć podatność ryb i stworzyć warunki sprzyjające rozwojowi procesu zakaźnego. Podobnie niejasna odpowiedzialność organizacyjna może nie być bezpośrednią przyczyną pogorszenia stanu ryb, ale może opóźnić reakcję na alarm i znacząco zwiększyć konsekwencje zdarzenia. W praktyce istotne jest zatem nie tylko wskazanie zagrożenia pierwotnego, lecz również rozpoznanie możliwego łańcucha następujących po sobie zdarzeń.

Ekspozycja. Samo występowanie zagrożenia w otoczeniu nie oznacza jeszcze, że ryby zostaną na nie narażone. Ekspozycja wymaga istnienia drogi łączącej źródło zagrożenia z podatną populacją. Ocena ekspozycji powinna więc określać lokalizację źródła, mechanizm przemieszczania, punkt wejścia do gospodarstwa lub jednostki, częstotliwość i czas trwania kontaktu, możliwą intensywność narażenia oraz liczbę jednostek, które mogą zostać objęte skutkami. Należy również sprawdzić, jakie bariery znajdują się na tej drodze oraz czy są one rzeczywiście niezależne, czy też ich skuteczność zależy od jednego urządzenia, działania albo pracownika. Przykładem może być występowanie czynnika chorobotwórczego w zlewni. Informacja ta opisuje zagrożenie, ale nie pozwala jeszcze ocenić ryzyka dla konkretnego gospodarstwa. Znaczenie zależy od tego, czy woda ze wskazanego obszaru trafia do gospodarstwa, jaki jest jej udział w doptywie, czy istnieją możliwości ograniczenia kontaktu, w jakich okresach prawdopodobieństwo ekspozycji jest największe i czy woda przepływa następnie kolejno przez kilka jedno-

stek. Jeżeli jednostki są połączone sekwencyjnym przepływem, początkowo lokalna ekspozycja może szybko przekształcić się w zdarzenie dotyczące większej części produkcji. Ekspozycja może być jednorazowa, powtarzalna albo ciągła. Dostawa ryb lub ikry jest zdarzeniem ograniczonym w czasie, ale może mieć duże znaczenie, jeżeli materiał trafia bezpośrednio do kilku połączonych jednostek i nie może zostać funkcjonalnie odseparowany. Korzystanie z wody powierzchniowej oznacza natomiast ekspozycję ciągłą, której intensywność zmienia się zależnie od pory roku, przepływu, temperatury, opadów i sytuacji w zlewni. W praktyce należy zatem oceniać nie tylko prawdopodobieństwo pojedynczego kontaktu, lecz także możliwość kumulowania się narażenia i zmianę jego intensywności w czasie.

Podatność opisuje zdolność ryb i gospodarstwa do przeciwstawienia się skutkom ekspozycji. Nie jest cechą stałą ani właściwością zależną wyłącznie od gatunku. Zmienia się wraz z wiekiem, stadium rozwoju, pochodzeniem, kondycją i wcześniejszą historią zdrowotną ryb. Wpływają na nią również temperatura, dostępność tlenu, jakość wody, zagęszczenie, żywienie, stan skóry i skrzel, transport, sortowanie oraz inne manipulacje. Równoczesne działanie kilku umiarkowanych obciążeń może zwiększyć podatność bardziej niż pojedynczy parametr rozpatrywany w oderwaniu od pozostałych. Znaczenie podatności jest szczególnie widoczne podczas pogorszenia warunków środowiskowych. Ryby utrzymywane blisko granic tolerancji mają mniejszy margines fizjologiczny umożliwiający odpowiedź na zakażenie, transport albo kolejną manipulację. To samo narażenie biologiczne może zatem przebiegać odmiennie w chłodnej, dobrze natlenionej wodzie oraz w okresie wysokiej temperatury, niskiego przepływu i dużej biomasy. Ocena ryzyka nie powinna więc ograniczać się do prawdopodobieństwa wprowadzenia czynnika, lecz musi uwzględniać aktualną zdolność ryb do kompensowania jego działania. Podatność dotyczy również gospodarstwa jako systemu technicznego i organizacyjnego. Gospodarstwo staje się bardziej podatne na skutki zdarzenia, jeżeli wszystkie jednostki są połączone wspólnym przepływem, używają tego samego sprzętu, zależą od jednego źródła zasilania albo od wiedzy jednej osoby. Brak rezerwy technicznej, niewystarczająca identyfikowalność i niejasne uprawnienia decyzyjne nie zwiększają podatności biologicznej pojedynczej ryby, ale zwiększają podatność całego systemu na utratę kontroli nad sytuacją. Praktyczna analiza powinna zatem obejmować zarówno podatność biologiczną populacji, jak i podatność techniczną oraz organizacyjną gospodarstwa.

Konsekwencja oznacza przewidywany rozmiar szkody po wystąpieniu zdarzenia. Nie należy ograniczać jej do liczby śniętych ryb. Pełna ocena powinna uwzględniać również pogorszenie dobrostanu, utratę przyrostu, gorsze wykorzystanie paszy, konieczność ograniczenia żywienia, dodatkowe koszty pracy, diagnostyki i leczenia, czyszczenie

i dezynfekcję, czasowe wyłączenie jednostki, opóźnienie sprzedaży oraz utratę elastyczności produkcyjnej. W określonych sytuacjach konsekwencje mogą obejmować ograniczenia dotyczące przemieszczania ryb, wpływ na inne gospodarstwa i populacje dzikie, skutki administracyjne lub handlowe oraz utratę zaufania odbiorców. Wielkość konsekwencji zależy od biomasy, wieku ryb, etapu cyklu produkcyjnego, wartości i podatności danej partii, liczby jednostek połączonych wspólnymi drogami oraz czasu dostępnego na reakcję. To samo zdarzenie może mieć ograniczone skutki w jednej funkcjonalnie wydzielonej jednostce, ale doprowadzić do poważnego kryzysu w obiekcie, w którym wspólna woda, sprzęt i personel łączą całą produkcję. Z tego powodu ocena konsekwencji powinna uwzględniać nie tylko prawdopodobną stratę bezpośrednią, lecz także możliwość rozszerzenia problemu oraz utratę funkcji krytycznych.

Wykrywalność nie jest jednym z czterech podstawowych elementów definicyjnych, ale ma zasadnicze znaczenie dla praktycznego zarządzania ryzykiem. Zagrożenie, które można szybko zauważyć i ograniczyć, może wywołać mniejsze straty niż proces rozwijający się przez dłuższy czas bez wyraźnych objawów. Znaczenie ma również czas pomiędzy pojawieniem się pierwszego sygnału a rozpoczęciem skutecznego działania. Monitoring nie usuwa zagrożenia, ale może skrócić czas ekspozycji, zmniejszyć liczbę objętych jednostek i ograniczyć konsekwencje zdarzenia. Przy ocenie wykrywalności należy ustalić, czy istnieje wczesny i możliwy do obserwowania sygnał, czy określono wartość bazową oraz próg działania, kto otrzymuje informację i jak szybko może rozpocząć reakcję. Sam pomiar nie zwiększa odporności gospodarstwa, jeżeli jego wynik nie prowadzi do decyzji. Podobnie alarm techniczny nie stanowi skutecznej bariery, jeżeli nie ma przypisanego odbiorcy, zastępstwa albo przygotowanego działania. Wykrywalność powinna być zatem oceniana jako cały łańcuch: od pojawienia się odchylenia, przez jego rozpoznanie i przekazanie informacji, do wykonania czynności ograniczającej czas lub intensywność narażenia.

Tabela 2. Pytania porządkujące praktyczną ocenę ryzyka

Obszar analizy	Pytania
Zagrożenie	Co może spowodować szkodę i gdzie znajduje się jego źródło?
Droga ekspozycji	Jak zagrożenie może dotrzeć do ryb i które jednostki może objąć?
Intensywność i czas	Jak często występuje kontakt, jak długo trwa i czy jego natężenie zmienia się sezonowo?
Podatność	Jakie cechy ryb, środowiska lub organizacji zwiększają możliwość wystąpienia szkody?
Wykrywalność	Jaki jest pierwszy możliwy sygnał i ile czasu upływa od jego pojawienia się do działania?
Konsekwencja	Jak duża biomasa, część produkcji lub liczba funkcji może zostać objęta skutkami?

Obszar analizy	Pytania
Bariery	Co obecnie ogranicza ryzyko i na podstawie jakiego dowodu uznaje się, że rozwiązanie działa?
Ryzyko rezydualne	Co pozostaje po zastosowaniu zabezpieczeń i czy ten poziom jest akceptowalny?

Praktyczna ocena ryzyka nie musi prowadzić do precyzyjnego wyniku liczbowego. Powinna natomiast umożliwić uporządkowaną odpowiedź na pytania: co może się wydarzyć, którędy zagrożenie może dotrzeć do ryb, jakie warunki zwiększają podatność, jak szybko problem zostanie zauważony, jakie mogą być jego konsekwencje oraz które bariery rzeczywiście ograniczają ryzyko. Dopiero takie zestawienie pozwala ustalić priorytety i dobrać działania proporcjonalne do charakteru konkretnego gospodarstwa.

2.2. Drogi wprowadzania, szerzenia i uwalniania zagrożeń

Ocena ryzyka wymaga prześledzenia pełnej drogi, jaką zagrożenie może pokonać od źródła do podatnej populacji. Sama lista chorób, patogenów albo potencjalnych wektorów nie wskazuje jeszcze, gdzie należy zastosować zabezpieczenie. Użyteczny opis powinien łączyć źródło zagrożenia, mechanizm jego przemieszczania, punkt wejścia, narażoną populację oraz warunki umożliwiające dalsze szerzenie (Center for Food Security and Public Health [CFSPH], 2025; WOA, n.d.).

W gospodarstwie akwakultury należy rozpatrywać trzy kierunki przemieszczania się zagrożeń:

1. wprowadzanie zagrożeń do gospodarstwa;
2. szerzenie zagrożeń pomiędzy jednostkami wewnątrz gospodarstwa;
3. uwalnianie zagrożeń z gospodarstwa do środowiska, innych obiektów lub populacji dzikich.

Pierwszy kierunek jest przedmiotem bioasekuracji zewnętrznej. Drugi odpowiada bioasekuracji wewnętrznej. Trzeci dotyczy odpowiedzialności gospodarstwa za ograniczanie zagrożeń, które mogą opuszczać obiekt z wodą, rybami, śniętymi osobnikami, sprzętem, pojazdami, odpadami lub produktami ubocznymi.

2.3. Cztery warstwy ochrony gospodarstwa

Rozpoznanie dróg przemieszczania się zagrożeń pokazuje, którędy problem może dotrzeć do ryb i jak może szerzyć się w gospodarstwie. Model czterech warstw pokazuje natomiast, na jaki element ryzyka gospodarstwo może oddziaływać.

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto również autorski model czterech uzupełniających się warstw ochrony, stanowiący syntezę bioasekuracji zewnętrznej i wewnętrznej, zarządzania podatnością ryb oraz ograniczania konsekwencji zdarzeń: (Aly & Fathi, 2024; Scarfe & Palić, 2020)

1. ograniczenie ekspozycji;
2. ograniczenie transmisji wewnętrznej;
3. zmniejszenie podatności ryb;
4. ograniczenie konsekwencji zdarzenia.

Pierwsze dwie warstwy oddziałują przede wszystkim na drogę przemieszczania się zagrożenia. Trzecia dotyczy zdolności ryb i systemu produkcyjnego do przeciwstawienia się ekspozycji. Czwarta obejmuje wykrywanie, reakcję i ograniczanie szkody.

Warstwy działają równolegle, ponieważ oddziałują na różne elementy ryzyka. Ograniczanie konsekwencji nie zastępuje zapobiegania, lecz zwiększa zdolność gospodarstwa do działania po przekroczeniu wcześniejszych barier. Nakładanie warstw zmniejsza zależność od pojedynczej procedury, urzędnika lub osoby, jednak monitoring, diagnostyka i rezerwy nie mogą zastąpić ograniczania ekspozycji i transmisji.

2.4. Ryzyko rezydualne i proporcjonalność działania

Żaden plan bioasekuracji nie eliminuje całego ryzyka. Część zagrożeń może pozostać poza bezpośrednią kontrolą gospodarstwa, niektóre bariery mogą być skuteczne tylko w określonych warunkach, a każda procedura lub instalacja może zostać osłabiona przez awarię, błąd wykonania albo nieprzewidzianą zmianę sytuacji. Ryzyko pozostające po zastosowaniu środków ochronnych określa się jako ryzyko rezydualne. Jego obecność nie oznacza automatycznie, że zastosowany system jest nieskuteczny. Oznacza natomiast, że gospodarstwo powinno świadomie ocenić, w jakim stopniu ryzyko zostało ograniczone, co nadal pozostaje poza kontrolą oraz czy pozostały poziom ryzyka można zaakceptować (FAO, 2023; WOA, n.d.).

Ocena ryzyka rezydualnego wymaga odniesienia zastosowanego środka do konkretnego mechanizmu. Siatki mogą ograniczać dostęp ptaków, ale nie zapewnią całkowitego wyeliminowania kontaktu, zwłaszcza jeżeli są uszkodzone albo nie obejmują wszystkich jednostek. Kwalifikacja dostawcy i dokumentacja zdrowotna zmniejszają prawdopodobieństwo wprowadzenia czynnika chorobotwórczego z materiałem biologicznym, ale nie zapewniają absolutnej pewności dotyczącej statusu każdej partii. Rezerwowy agregat ogranicza konsekwencje awarii zasilania, lecz sam może nie uruchomić się na czas, mieć niewystarczającą moc albo pozostawać zależny od paliwa, przyłączy i przeszkolonego pracownika. Każda z tych barier ma więc określoną funkcję, zakres skuteczności i możliwy sposób niepowodzenia.

Po wdrożeniu środka należy zatem ustalić, jaki element ryzyka został ograniczony, na ile bariera jest skuteczna w rzeczywistych warunkach oraz jakie zagrożenie pozostaje mimo jej stosowania. Następnie trzeba ocenić, czy pozostałe ryzyko jest akceptowalne w odniesieniu do wielkości możliwej szkody, czasu dostępnego na reakcję i obecności

innych, niezależnych zabezpieczeń. Jeżeli potencjalne konsekwencje są poważne, a pojedyncza bariera może łatwo zawieść, konieczne jest dodanie kolejnej warstwy ochrony, zwiększenie zdolności wczesnego wykrywania albo przygotowanie działań ograniczających skutki zdarzenia.

Tabela 3. Elementy oceny ryzyka.

Etap oceny	Pytanie zarządcze	Oczekiwany rezultat
Funkcja bariery	Jaki mechanizm lub drogę zagrożenia ogranicza środek?	Jasno określony cel działania
Skuteczność	Skąd wiadomo, że bariera działa w rzeczywistych warunkach?	Miernik, test, zapis albo obserwacja
Ograniczenia	W jakich warunkach bariera może być nieskuteczna?	Rozpoznane sposoby niepowodzenia
Ryzyko rezydualne	Co pozostaje mimo zastosowanego środka?	Opis pozostałej ekspozycji lub konsekwencji
Akceptowalność	Czy pozostałe ryzyko można zaakceptować?	Uzasadniona decyzja zarządcza
Dalsze działanie	Czy potrzebna jest kolejna, niezależna warstwa ochrony?	Redukcja ryzyka, przygotowanie reakcji albo świadoma akceptacja

Proporcjonalność działania oznacza dobór zabezpieczeń do rzeczywistego profilu ryzyka gospodarstwa, a nie stosowanie jednakowego zestawu środków w każdym obiekcie. Znaczenie mają rodzaj produkcji, źródło wody, układ jednostek, utrzymywane gatunki i grupy wiekowe, wielkość biomasy, częstotliwość przemieszczania ryb, dostępność diagnostyki oraz możliwy zasięg zdarzenia. Gospodarstwo korzystające z otwartego przepływu wody może wymagać szczególnie rozwiniętego nadzoru nad zlewnią, parametrów ostrzegawczych i zdolności ograniczania konsekwencji. W obiekcie o większej kontroli nad wodą priorytetem może być natomiast integralność barier technicznych, kontrola materiału biologicznego i zabezpieczenie funkcji zależnych od energii.

Proporcjonalność nie oznacza wyboru rozwiązania najłatwiejszego ani najtańszego. Oznacza zastosowanie środka, którego koszt, złożoność i wymagania organizacyjne pozostają uzasadnione przez prawdopodobieństwo oraz potencjalne konsekwencje zdarzenia. Przy zagrożeniu o niewielkich skutkach wystarczające może być rozwiązanie organizacyjne i okresowa kontrola. Jeżeli jednak niepowodzenie jednej bariery może w krótkim czasie zagrozić dużej biomase, zatrzymać funkcję krytyczną albo objąć kilka jednostek, potrzebne są zabezpieczenia niezależne, regularnie testowane i zdolne do ograniczenia skutków nawet wtedy, gdy działanie podstawowe zawiedzie.

Ostatecznym celem nie jest więc osiągnięcie pozornego stanu „braku ryzyka”, lecz doprowadzenie ryzyka rezydualnego do poziomu świadomie ocenionego i możliwego do zarządzania. Gospodarstwo powinno wiedzieć, czego nie udało się całkowicie wy-

eliminować, jakie sygnały mogą wskazywać na niepowodzenie bariery, kto podejmuje decyzję oraz jakie zasoby zostaną uruchomione, jeżeli pozostałe ryzyko przekształci się w rzeczywiste zdarzenie.

2.5. Od wdrożenia do potwierdzonej skuteczności

Ocena bioasekuracji za pomocą odpowiedzi „tak” albo „nie” jest wygodna, ale może prowadzić do błędnych wniosków. Dwa gospodarstwa mogą deklarować posiadanie tej samej procedury, chociaż w jednym jest ona konsekwentnie stosowana i sprawdzana, a w drugim istnieje wyłącznie w dokumentacji. Sama obecność środka, urządzenia lub instrukcji potwierdza więc jedynie formalne wdrożenie. Nie dowodzi jeszcze, że rozwiązanie jest dostępne w chwili potrzeby, prawidłowo wykonywane i zdolne do ograniczenia wskazanego ryzyka (Ahmed et al., 2025).

Dobrym przykładem jest dezynfekcja sprzętu. Ocena jej skuteczności wymaga sprawdzenia, czy sprzęt został wcześniej oczyszczony z materii organicznej, preparat jest odpowiedni do celu, zastosowano właściwe stężenie i czas kontaktu, a roztwór jest wymieniany z wymaganą częstotliwością. Znaczenie mają również warunki przechowywania sprzętu po zakończeniu procesu, dokumentowanie wykonania oraz przestrzeganie procedury podczas intensywnej pracy. Jeżeli którykolwiek z tych elementów zostanie pominięty, formalnie wdrożony środek może nie przerwać drogi transmisji.

Podobnie obecność systemu alarmowego nie przesądza o zdolności gospodarstwa do szybkiego reagowania. Skuteczność zależy od prawidłowego umieszczenia i kalibracji czujnika, niezawodności przekazywania sygnału, dostępności odbiorcy oraz czasu potrzebnego na rozpoczęcie działania. Osoba odbierająca alarm musi rozumieć znaczenie przekroczenia progu, mieć dostęp do odpowiednich zasobów i posiadać uprawnienie do podjęcia decyzji. Alarm bez przygotowanej reakcji informuje o rozwijającym się problemie, ale sam nie ogranicza czasu ekspozycji ani jej konsekwencji.

Dojrzałość rozwiązania można oceniać jako przechodzenie przez kolejne poziomy (Tabela 4): od braku zabezpieczenia, przez działanie nieformalne i zależne od wiedzy pojedynczej osoby, do rozwiązania formalnie wdrożonego, a następnie regularnie monitorowanego, testowanego i doskonalonego. Przejście na wyższy poziom wymaga nie tylko zapisania procedury, lecz także zapewnienia zasobów, odpowiedzialności i zastępstw, potwierdzenia jej stosowania w codziennej pracy oraz wykazania, że osiąga zamierzony efekt. Ocena dojrzałości nie dotyczy zatem liczby posiadanych dokumentów, ale stopnia, w jakim rozwiązanie uniezależniono od przypadku i pojedynczych osób.

Tabela 4. Poziomy dojrzałości rozwiązania bioasekuracyjnego.

Poziom	Charakterystyka	Pytanie kontrolne
0	Brak rozwiązania	Czy zagrożenie zostało rozpoznane i objęte zabezpieczeniem?
1	Rozwiązanie nieformalne, oparte na zwyczaju lub wiedzy pojedynczej osoby	Czy działanie zostanie wykonane podczas nieobecności kluczowego pracownika?
2	Rozwiązanie formalnie wdrożone, z określonymi zasobami i odpowiedzialnością	Czy procedura jest wykonywana konsekwentnie w codziennej pracy?
3	Rozwiązanie monitorowane, testowane i doskonałe	Czy istnieje dowód skuteczności, a wynik prowadzi do korekty systemu?

Najwyższy poziom zostaje osiągnięty wtedy, gdy wyniki pomiarów, testów i ćwiczeń prowadzą do poprawy systemu. Nieskuteczna dezynfekcja, opóźniona reakcja na alarm, pominięcie etapu procedury albo trudność ujawniona podczas ćwiczenia powinny skutkować ustaleniem przyczyny, wdrożeniem działania korygującego i ponownym sprawdzeniem rozwiązania. Bioasekurację należy więc oceniać według zdolności do ograniczania ryzyka w rzeczywistych warunkach funkcjonowania gospodarstwa, a nie według liczby procedur, preparatów lub urządzeń.

3. Prawo i odpowiedzialność

3.1. Prawo o zdrowiu zwierząt jako punkt wyjścia

Podstawowym unijnym aktem prawnym jest rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 w sprawie przenośnych chorób zwierząt, określane jako Prawo o zdrowiu zwierząt. Rozporządzenie reguluje między innymi odpowiedzialność za zdrowie zwierząt, wczesne wykrywanie chorób, powiadamianie i sprawozdawczość, nadzór, gotowość, zwalczanie chorób, rejestrację i zatwierdzanie zakładów, identyfikowalność oraz przemieszczanie zwierząt wodnych. Przepisy rozporządzenia stosuje się od 21 kwietnia 2021 r (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429, 2016).

W art. 10 rozporządzenia ustanowiono odpowiedzialność podmiotów za zdrowie utrzymywanych zwierząt, racjonalne i odpowiedzialne stosowanie produktów leczniczych weterynaryjnych oraz podejmowanie odpowiednich środków bioasekuracji. Odpowiedzialność ta nie jest ograniczona do wykonania polecenia właściwego organu lub przygotowania dokumentacji na potrzeby kontroli. Dotyczy codziennego sposobu prowadzenia produkcji i ograniczania ryzyka rozprzestrzeniania się chorób (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429, 2016, art. 10).

Art. 11 wymaga, aby podmioty i osoby zawodowo zajmujące się zwierzętami posiadały wiedzę odpowiednią do wykonywanych zadań. Wiedza ta powinna obejmować choroby zwierząt, zasady bioasekuracji, związek między zdrowiem zwierząt, dobrostanem i zdrowiem ludzi, dobre praktyki hodowlane oraz podstawowe zasady dotyczące odporności na środki przeciwdrobnoustrojowe. W praktyce oznacza to, że samo udostępnienie procedury pracownikowi nie jest wystarczające. Należy zapewnić zrozumienie jej celu i umiejętność prawidłowego działania (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429, 2016, art. 11).

Art. 24 nakłada na podmioty obowiązek obserwowania zdrowia i zachowania zwierząt pozostających pod ich odpowiedzialnością. Obserwacja powinna obejmować również zmiany zwykłych parametrów produkcji, które mogą wskazywać na obecność choroby. Przepis ten tworzy podstawę do traktowania pobierania paszy, zachowania ryb, śnięć, przyrostów i innych danych produkcyjnych jako elementów nadzoru, a nie wyłącznie informacji technologicznych (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429, 2016, art. 24).

3.2. Odpowiedzialność podmiotu i wymagania dla zakładów akwakultury

Szczegółowe wymagania odnoszące się do zakładów akwakultury i przewoźników zwierząt wodnych zostały rozwinięte w rozporządzeniu delegowanym Komisji (UE) 2020/691. Akt ten uzupełnia Prawo o zdrowiu zwierząt w zakresie rejestracji i zatwierdzania zakładów, dokumentacji, nadzoru opartego na ryzyku, środków bioasekuracji oraz wymagań dotyczących obiektów i wyposażenia (Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/691, 2020).

Zakres obowiązków zależy od rodzaju prowadzonej działalności i statusu zakładu. Nie każdy obiekt podlega identycznym wymaganiom, ponieważ różny jest poziom ryzyka związany z gatunkami, systemem produkcji, przemieszczaniem zwierząt, połączeniami z innymi gospodarstwami oraz możliwością uwalniania czynników chorobotwórczych.

Plan bioasekuracji powinien być właściwy dla konkretnego zakładu. Oznacza to, że musi uwzględniać rzeczywiste drogi wprowadzania, szerzenia i uwalniania zagrożeń. Powinien określać nie tylko stosowane bariery, ale również sposób ich wykonywania, odpowiedzialność pracowników oraz zasady postępowania po stwierdzeniu odchylenia.

Plan opracowany przez skopiowanie dokumentu z innego gospodarstwa może spełniać wymagania formalne, a mimo to pozostawać nieadekwatny do rzeczywistego ryzyka. W gospodarstwie przepływowym szczególnego znaczenia nabierają woda, zlewnia i połączenia pomiędzy jednostkami. W wylęgarni większy nacisk może być wymagany w odniesieniu do ikry, drobnego sprzętu, personelu i separacji partii. W RAS istotna bę-

dzie integralność systemu, kontrola wszystkich elementów wprowadzanych do obiektu oraz niezawodność funkcji technicznych.

3.3. Obserwacja, dokumentacja i identyfikowalność

Dokumentacja pełni trzy podstawowe funkcje. Po pierwsze, umożliwia wykazanie zgodności z wymaganiami prawa. Po drugie, zapewnia identyfikowalność zwierząt, przemieszczania, zdarzeń i działań. Po trzecie, dostarcza danych potrzebnych do zarządzania zdrowiem i ryzykiem. Jeżeli dokumentacja służy wyłącznie potwierdzaniu wykonania czynności, jej wartość praktyczna jest ograniczona. Zapis powinien umożliwiać odtworzenie przebiegu zdarzenia i udzielenie odpowiedzi na pytania: co się wydarzyło, gdzie, kiedy, jakiej populacji dotyczyło, jakie czynniki mogły poprzedzać problem, kto podjął decyzję i jaki był wynik działania.

Przykładem jest rejestr śnięć. Sama dobowo liczba ryb usuniętych z całego gospodarstwa może być niewystarczająca. Znacznie większą wartość ma przypisanie śnięć do jednostki produkcyjnej, partii, grupy wiekowej i czasu. Dopiero taki zapis pozwala zauważyć trend, porównać jednostki i powiązać zmiany z temperaturą, tlenem, żywieniem, transportem lub zabiegiem. Podobnie rejestr przemieszczania ryb powinien umożliwiać odtworzenie kontaktów pomiędzy jednostkami. Rejestr dezynfekcji powinien wskazywać nie tylko datę wykonania czynności, ale również przedmiot, zastosowany preparat, stężenie, czas kontaktu i osobę odpowiedzialną. Rejestr alarmów powinien natomiast umożliwiać ocenę czasu od pojawienia się sygnału do rozpoczęcia działania.

3.4. Polska ustawa o zdrowiu zwierząt i właściwość organów

Rozporządzenie (UE) 2016/429 obowiązuje bezpośrednio w państwach członkowskich, ale jego stosowanie wymaga określenia między innymi właściwości krajowych organów, zasad postępowania oraz krajowych mechanizmów nadzoru i zwalczania chorób. W Polsce funkcję tę pełni ustawa z 21 listopada 2025 r. o zdrowiu zwierząt, ogłoszona 17 grudnia 2025 r. i obowiązująca zasadniczo od 18 marca 2026 r. Ustawa określa między innymi właściwość organów w zakresie stosowania rozporządzenia 2016/429 i aktów wydanych na jego podstawie, a także krajowe zasady zwalczania chorób w zakresie pozostawionym państwu członkowskiemu (Ustawa z dnia 21 listopada 2025 r. o zdrowiu zwierząt, 2025).

Dla hodowcy najważniejsze jest rozumienie, że odpowiedzialność za codzienną obserwację i bioasekurację pozostaje po stronie podmiotu, natomiast działania urzędowe należą do właściwych organów Inspekcji Weterynaryjnej. W przypadku podejrzenia choroby podlegającej obowiązkowi powiadomienia nie należy czekać na pełne potwierdzenie etiologii przed uruchomieniem przewidzianej prawem ścieżki. Plan gospodarstwa powinien zatem zawierać aktualne dane kontaktowe, określać osobę odpowiedzialną

za komunikację oraz wskazywać, w jaki sposób zabezpieczyć informacje i materiał bez opóźniania zgłoszenia. Pracownik nie musi samodzielnie rozstrzygać, czy podejrzenie zostanie potwierdzone. Powinien wiedzieć, jakie odchylenia wymagają niezwłocznego przekazania lekarzowi weterynarii i właścicielowi lub kierownikowi gospodarstwa.

3.5. Łańcuch odpowiedzialności: od obserwacji do decyzji

Skuteczne zarządzanie zdrowiem stada wymaga współpracy hodowcy, pracowników gospodarstwa, lekarza weterynarii, laboratorium oraz, w sytuacjach określonych prawem, właściwego organu. Uczestnicy tego procesu korzystają z różnych informacji i posiadają odmienne kompetencje, dlatego zakres ich działań nie jest identyczny (Tabela 5). Łańcuch odpowiedzialności powinien zapewniać ciągłość od pierwszej obserwacji odchylenia, przez ocenę stada i wykonanie badań, do podjęcia decyzji, wdrożenia działania oraz monitorowania jego efektu.

Tabela 5. Podział odpowiedzialności w zarządzaniu zdrowiem stada

Uczestnik	Podstawowa odpowiedzialność	Oczekiwany rezultat
Hodowca i pracownicy	Obserwacja ryb, rejestrowanie danych, wczesne zgłoszenie i działania zabezpieczające	Szybkie rozpoznanie odchylenia i uruchomienie właściwej ścieżki
Lekarz weterynarii	Ocena stada, rozpoznanie różnicowe, dobór badań, leczenie i profilaktyka	Spójny plan zarządzania przypadkiem
Laboratorium	Jakość badania, wynik i interpretacja laboratoryjna	Wiarygodna informacja diagnostyczna
Właściwy organ	Nadzór i działania wynikające z przepisów	Kontrola zagrożeń objętych regulacjami

Hodowca i pracownicy zazwyczaj jako pierwsi zauważają zmianę zachowania ryb, pobierania paszy, liczby śnieć lub parametrów wody. Odpowiadają za systematyczną obserwację, zebranie wiarygodnych danych, wykonanie ustalonych działań zabezpieczających i szybkie przekazanie informacji. Nie powinni natomiast samodzielnie ustalać etiologii na podstawie nieswoistych objawów ani podejmować decyzji diagnostycznych lub terapeutycznych wykraczających poza ich kompetencje.

Lekarz weterynarii prowadzący gospodarstwo ocenia stan zdrowia ryb, formułuje rozpoznanie kliniczne i różnicowe, dobiera badania oraz podejmuje decyzje dotyczące leczenia i profilaktyki. Łączy obraz kliniczny i sekcyjny z dynamiką śnieć, parametrami środowiska, historią partii i wcześniejszymi interwencjami, a następnie formułuje zalecenia, za które ponosi odpowiedzialność zawodową (Ustawa z dnia 21 grudnia 1990 r. o zawodzie lekarza weterynarii i izbach lekarsko-weterynaryjnych, 1990/2026).

Laboratorium odpowiada za prawidłowe wykonanie badania, jakość metody, przedstawienie wyniku i jego interpretację w granicach badanego materiału oraz kompetencji

laboratoryjnych. Wynik dodatni nie zawsze dowodzi podstawowego znaczenia przyczynowego wykrytego czynnika, a wynik ujemny nie wyklucza choroby, jeżeli materiał lub moment pobrania były niewłaściwe albo wcześniejsze interwencje ograniczyły wartość badania. Niezgodność wyniku z obrazem stada wymaga ponownej oceny przypadku.

Decyzja dotycząca postępowania powstaje przez połączenie obserwacji gospodarstwa, oceny weterynaryjnej, danych środowiskowych i wyniku laboratoryjnego. Laboratorium dostarcza informację diagnostyczną, a lekarz weterynarii przekształca ją w rozpoznanie i plan zarządzania zdrowiem stada. Przy podejrzeniu choroby objętej obowiązkiem powiadomienia uruchamiana jest właściwa ścieżka urzędowa, dlatego plan gospodarstwa powinien określać zasady przekazywania informacji i zabezpieczania danych.

4. Zmiany klimatyczne jako mnożnik ryzyka

4.1. Temperatura, metabolizm i tlen

Temperatura wpływa na większość procesów biologicznych zachodzących u ryb. Wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się tempo metabolizmu i zapotrzebowanie organizmu na tlen. Jednocześnie zmniejsza się ilość tlenu, którą może utrzymać woda. Powstaje więc podwójne obciążenie: ryby potrzebują więcej tlenu w warunkach, w których jego dostępność może być mniejsza. Znaczenie temperatury nie ogranicza się do przekroczenia wartości krytycznej. Problemy mogą rozwijać się wcześniej, szczególnie gdy wzrost temperatury współwystępuje z dużą biomasą, ograniczonym przepływem, nocnym spadkiem tlenu albo zwiększoną ilością materii organicznej. W takich warunkach zmniejsza się fizjologiczny margines bezpieczeństwa ryb. Parametry, które w chłodniejszej wodzie nie powodowały widocznych problemów, mogą stać się niewystarczające podczas upału (Crozier & Siegel, 2023; Sandrelli & Gamperl, 2023).

Tolerancja termiczna i tolerancja hipoksji nie są jedną stałą wartością właściwą dla całego gatunku. Zależą od warunków aklimatyzacji, stanu ryb, sposobu prowadzenia pomiaru oraz charakteru ekspozycji. Badania łososia atlantyckiego pokazują, że wyniki dotyczące granic temperaturowych i odpowiedzi na niedotlenienie mogą różnić się zależnie od metody badania i warunków, w których znajdują się ryby. Oznacza to, że wartości z literatury powinny być traktowane jako punkt odniesienia, a nie jako uniwersalny próg bezpieczeństwa dla każdego gospodarstwa. W praktyce większą wartość niż pojedyncza wartość graniczna ma obserwowanie zależności między temperaturą, tlenem, przepływem, biomasą, porą doby i zachowaniem ryb. Gospodarstwo powinno znać typowy dobowy profil tlenu w poszczególnych jednostkach, a nie opierać się wyłącznie

na pomiarze wykonywanym o stałej, dogodnej godzinie. Pomiar w środku dnia może nie ujawnić minimum występującego przed świtem (Sandrelli & Gamperl, 2023).

4.2. Susza, niski przepływ i jakość wody

Susza wpływa na gospodarstwo nie tylko przez zmniejszenie ilości dostępnej wody. Ograniczony przepływ może zmniejszać wymianę, pogarszać usuwanie metabolitów i utrudniać utrzymanie właściwego natlenienia. Jednocześnie może wzrastać temperatura, stężenie zawiesin lub zanieczyszczeń oraz znaczenie każdego dodatkowego obciążenia systemu. Spadek przepływu zmienia również relację pomiędzy biomasą a zdolnością środowiska do jej utrzymania. Biomasa bezpieczna w typowych warunkach może okazać się zbyt duża podczas długotrwałego minimum hydrologicznego. Dlatego maksymalna obsada powinna być oceniana nie tylko na podstawie średnich warunków, ale także z uwzględnieniem okresów, w których dopływ jest najniższy, temperatura najwyższa, a możliwość technicznego wsparcia najbardziej ograniczona (Galappaththi et al., 2020; Maulu et al., 2021).

W warunkach suszy zwiększa się znaczenie priorytetyzacji jednostek. Gospodarstwo powinno wcześniej ustalić, które grupy ryb są najbardziej podatne, które jednostki mają najmniejszy margines bezpieczeństwa oraz gdzie dostępne zasoby techniczne przyniosą największy efekt. Decyzje te są trudniejsze, jeżeli podejmuje się je dopiero podczas zdarzenia, pod presją czasu i bez aktualnych danych o biomasie oraz przepływie.

Susza może również zmieniać sytuację poza gospodarstwem. Ograniczona ilość wody może prowadzić do koncentracji dzikich ryb, ptaków i innych zwierząt w miejscach zapewniających dostęp do wody i pokarmu. Wzrasta wtedy liczba kontaktów pomiędzy populacjami dzikimi i hodowlanymi oraz znaczenie zabezpieczeń ujęć, siatek przeciw ptakom i szybkiego usuwania śniętych ryb.

4.3. Gwałtowne opady i spływ ze zlewni

Gwałtowne opady mogą krótkotrwale zwiększyć przepływ, ale nie zawsze poprawiają jakość wody. Po okresie suszy pierwsza fala spływu może przenosić osady, materię organiczną, środki ochrony roślin, nawozy, zanieczyszczenia komunalne oraz mikroorganizmy zgromadzone w zlewni. Zmiana może być szybka i obejmować kilka parametrów jednocześnie (Galappaththi et al., 2020; Maulu et al., 2021).

Ryzyko zależy od sposobu użytkowania terenu powyżej gospodarstwa, charakteru dopływów i możliwości zatrzymywania materiału niesionego przez wodę. Dlatego znajomość zlewni powinna obejmować nie tylko lokalizację innych gospodarstw rybackich, ale także pola uprawne, drogi, oczyszczalnie, zakłady przemysłowe, zbiorniki retencyjne i cieki okresowe.

Skutki intensywnego opadu mogą obejmować gwałtowną zmianę temperatury, pH, mętności, zawartości zawiesiny i ilości tlenu. Duża ilość materiału organicznego może dodatkowo zwiększać zapotrzebowanie tlenowe wody. Osady mogą podrażniać lub uszkadzać skrzela, ograniczając zdolność ryb do wymiany gazowej dokładnie w okresie, w którym warunki środowiskowe są niestabilne.

Plan działania powinien uwzględniać obserwację prognoz i sytuacji w zlewni, ale również praktyczne wskaźniki dostępne w gospodarstwie. Nagła zmiana barwy, zapachu, mętności, ilości materiału na kratkach albo zachowania ryb może być pierwszym sygnałem problemu. Jeżeli takie sygnały nie są formalnie częścią obchodu i ścieżki zgłaszania, mogą zostać uznane za chwilową niedogodność zamiast wczesnego ostrzeżenia.

4.4. Presja patogenów, rezerwuarów i wektorów

Wpływ klimatu na choroby jest złożony, ponieważ równocześnie może zmieniać gospodarza, czynnik chorobotwórczy i środowisko. Wyższa temperatura może przyspieszać namnażanie części mikroorganizmów i skracać przebieg niektórych etapów rozwojowych pasożytów, ale efekt zależy od gatunku patogenu, gospodarza i zakresu temperatury. Nie należy więc przyjmować prostego założenia, że każda choroba będzie częstsza wraz ze wzrostem temperatury (Crozier & Siegel, 2023; Rowley et al., 2024).

Zmiana warunków środowiskowych może modyfikować rozmieszczenie patogenów, rezerwuarów i wektorów. Może też wydłużać okres, w którym transmisja jest możliwa, albo umożliwiać pojawienie się zagrożeń dotychczas rzadkich w danym regionie. Przeglądy dotyczące chorób organizmów wodnych wskazują, że zmieniający się klimat może równocześnie wpływać na stan gospodarza, właściwości patogenu i warunki środowiskowe, sprzyjając częstszym, intensywniejszym lub bardziej rozległym zdarzeniom chorobowym.

Wzrost presji chorobowej nie zawsze oznacza pojawienie się nowego czynnika. Może wynikać z większego znaczenia patogenów oportunistycznych obecnych wcześniej w gospodarstwie lub środowisku. Jeżeli ryby są osłabione przez wysoką temperaturę, niedotlenienie, uszkodzenie skrzeli albo długotrwały stres, czynnik dotychczas kontrolowany może stać się częścią procesu chorobowego.

Klimat wpływa również na zwierzęta przenoszące materiał biologiczny. Susza, zmiana poziomu wody, ograniczenie dostępności naturalnego pokarmu lub zmiana tras przemieszczania mogą zwiększać obecność ptaków i innych zwierząt w pobliżu gospodarstwa. Dlatego kontrola wektorów musi mieć charakter sezonowy. Zabezpieczenie wystarczające przez większą część roku może wymagać wzmocnienia w okresie zwiększonej presji.

4.5. Fizjologiczny margines bezpieczeństwa ryb

Ryby funkcjonują prawidłowo w określonym zakresie warunków środowiskowych. Im bardziej warunki zbliżają się do granic tolerancji, tym mniej zasobów organizmu pozostaje na odpowiedź na dodatkowe obciążenie. Margines bezpieczeństwa można rozumieć jako różnicę między aktualnymi warunkami a poziomem, przy którym zdolność kompensacji zaczyna być niewystarczająca (Crozier & Siegel, 2023; Sandrelli & Gamperl, 2023).

Margines ten zależy od gatunku, wieku, kondycji, wcześniejszej aklimatyzacji i historii zdrowotnej ryb. Nie jest jednak właściwością wyłącznie biologiczną. Zależy również od obsady, intensywności żywienia, przepływu, jakości wody, dostępności urządzeń rezerwowych i czasu potrzebnego personelowi na rozpoczęcie działania. Oznacza to, że gospodarstwo może zwiększać margines bezpieczeństwa zarówno przez poprawę warunków utrzymania, jak i przez lepszą organizację reakcji.

Wysoka temperatura, niski poziom tlenu, zwiększona ilość zawieszin i duża obsada nie muszą od razu wywołać widocznych śnięć. Mogą jednak stopniowo zmniejszać zdolność ryb do tolerowania transportu, sortowania, szczepienia, zmiany paszy lub kontaktu z czynnikiem chorobotwórczym. W takich warunkach zabieg bezpieczny w typowym okresie może stać się elementem prowadzącym do przekroczenia zdolności kompensacji.

Zarządzanie marginesem wymaga podejmowania decyzji przed osiągnięciem granicy krytycznej. Próg ostrzegawczy powinien pozostawiać czas na ograniczenie żywienia, zmianę przepływu, uruchomienie natleniania albo odroczenie manipulacji. Jeżeli alarm występuje dopiero wtedy, gdy ryby wykazują znaczne zaburzenia zachowania, gospodarstwo działa już w warunkach ograniczonego czasu i mniejszej liczby dostępnych możliwości.

4.6. Zdarzenia złożone

Poważne straty rzadko wynikają wyłącznie z jednego czynnika. Częściej są skutkiem nałożenia się kilku obciążeń, z których każde osobno mogłoby zostać skompensowane przez ryby i gospodarstwo. Wysoka temperatura może zbiec się z niskim przepływem, nocnym minimum tlenu, dużą biomasą, planowanym sortowaniem oraz obecnością czynnika oportunistycznego. Dopiero ich współdziałanie prowadzi do utraty równowagi (Sajid et al., 2024).

Przeglądy dotyczące masowych śnięć w hodowli łososia wskazują, że zdarzenia takie zwykle nie wynikają z pojedynczego czynnika, lecz ze współdziałania elementów środowiskowych, biologicznych, żywieniowych i związanych z zarządzaniem obiektem. Modele przyczynowe podkreślają znaczenie wzajemnych powiązań pomiędzy czynnika-

mi oraz potrzebę działań podejmowanych przed zdarzeniem, podczas niego i po jego zakończeniu.

Zdarzenie złożone może rozwijać się etapami. Początkowo obserwowany jest spadek przepływu i stopniowy wzrost temperatury. Następnie pogarsza się pobieranie paszy, wzrasta obciążenie skrzeli lub pojawiają się niewielkie śnięcia. Jeżeli te sygnały są oceniane oddzielnie, każdy z nich może zostać uznany za niewystarczający do działania. Tymczasem ich wspólny trend może wskazywać, że system zbliża się do granicy stabilności.

Dlatego monitoring nie powinien ograniczać się do pojedynczych parametrów i osobnych progów. Potrzebna jest ocena kontekstu. Wartość tlenu, która zwykle nie budzi obaw, może być istotna przy rosnącej temperaturze, dużej biomasie i nieprawidłowym zachowaniu ryb. Niewielki wzrost śnięć może wymagać szybszej reakcji, jeżeli występuje równocześnie w kilku jednostkach połączonych wspólną wodą.

4.7. Sezonowy profil ryzyka

Profil ryzyka nie jest stały przez cały rok. Zmieniają się warunki środowiskowe, biomasa, intensywność produkcji, liczba transportów, presja ptaków, dostępność personelu oraz możliwości prowadzenia zabiegów. Dlatego plan bioasekuracji powinien zawierać element sezonowy.

Wiosną istotne mogą być gwałtowne zmiany przepływu, spływ ze zlewni, uruchamianie infrastruktury po zimie, wprowadzanie nowych partii i intensyfikacja przemieszczeń. Latem priorytetem stają się temperatura, tlen, susza, niski przepływ, zdarzenia burzowe i zwiększona podatność ryb na dodatkowe manipulacje. Jesień może łączyć sortowanie, transport, przygotowanie do sprzedaży, obsadzanie jednostek i zmiany warunków środowiskowych. Zimą zagrożeniem mogą być awarie, lód, utrudniony dostęp do infrastruktury i mniejsza dostępność personelu.

Ocena sezonowa powinna obejmować nie tylko rodzaj zagrożenia, ale również gotowość gospodarstwa. Należy ustalić, czy urządzenia rezerwowe zostały przetestowane, czy zapasy są wystarczające, czy lista kontaktów jest aktualna, czy zastępstwa są dostępne i czy plan produkcyjny pozostawia margines na zdarzenie niekorzystne.

Przygotowanie należy zakończyć przed rozpoczęciem okresu ryzyka. Test natleniania wykonany po pierwszym epizodzie hipoksji nie jest działaniem przygotowawczym. Podobnie aktualizacja procedury po wystąpieniu śnięć nie zastępuje wcześniejszego ćwiczenia. Sezonowy profil powinien prowadzić do wyprzedzających działań, a nie tylko zwiększać świadomość zagrożenia.

5. Od zasad i narzędzi do praktyki

5.1. Test oceny dojrzałości gospodarstwa

Szybki test służy do wstępnej oceny pięciu zdolności gospodarstwa: zapobiegania, wczesnego wykrywania, reagowania, utrzymywania ciągłości oraz odbudowy i uczenia się. Nie jest audytem zgodności prawnej ani narzędziem do tworzenia rankingu gospodarstw. Jego celem jest ujawnienie obszarów, które wymagają dokładniejszej analizy (CFSPH, 2025; FAO, 2023).

Test powinien być wykonywany przez co najmniej dwie osoby reprezentujące różne role, na przykład właściciela lub kierownika oraz pracownika bezpośrednio obsługującego ryby. Jeżeli jest to możliwe, warto włączyć lekarza weterynarii prowadzącego gospodarstwo. Różnice pomiędzy ocenami są ważną informacją. Mogą wskazywać, że procedura jest znana kierownictwu, ale nie pracownikom, albo że działanie odbywa się w praktyce, ale nie zostało formalnie opisane.

Nie należy rozpoczynać od uzgadniania jednej wspólnej punktacji. Każda osoba powinna najpierw przeprowadzić ocenę samodzielnie. Dopiero później porównuje się wyniki i omawia przyczyny rozbieżności. Rozmowa nad odpowiedziami ma często większą wartość niż wynik całkowity, ponieważ ujawnia różnice w rozumieniu odpowiedzialności, dostępności zasobów i rzeczywistym sposobie pracy.

5.2. Mapa dróg zagrożeń

Mapa dróg transmisji łączy plan sytuacyjny gospodarstwa z oceną ryzyka. Jej celem nie jest stworzenie estetycznego schematu, lecz pokazanie, w jaki sposób zagrożenie może dotrzeć do ryb, przemieszczać się pomiędzy jednostkami i opuścić gospodarstwo (CFSPH, 2025; WOA, n.d.).

Mapa powinna powstawać na planie rzeczywistego obiektu. Należy zaznaczyć ujęcia i odpływy, kierunki przepływu, jednostki produkcyjne, miejsca przemieszczania ryb, drogi pracowników i pojazdów, magazyny sprzętu, miejsca przyjmowania dostaw, punkty dezynfekcyjne oraz obszary przechowywania śniętych ryb i odpadów. Jeżeli część gospodarstwa znajduje się w innej lokalizacji, również powinna zostać uwzględniona wraz z drogami transportu.

Najpierw zaznacza się aktywne drogi zagrożeń, a dopiero później istniejące bariery. Odwrócenie kolejności może prowadzić do koncentrowania się na stosowanych środkach i pomijania dróg, dla których nie ustanowiono zabezpieczenia.

5.3. Obowiązek, dobra praktyka i inwestycja

Macierz trzech poziomów pomaga uporządkować rekomendacje i uniknąć przedstawiania wszystkich działań jako obowiązków prawnych. Rozróżnia ona minimum wy-

nikające z przepisów, sposób zwiększający skuteczność jego realizacji oraz dodatkowe rozwiązania zwiększające odporność gospodarstwa.

Obowiązek prawny odpowiada na pytanie, co musi zostać zapewnione. Dobra praktyka pokazuje, w jaki sposób zrealizować ten obowiązek skuteczniej i bardziej wiarygodnie. Inwestycja zwiększa niezawodność, skraca czas reakcji albo ogranicza konsekwencje przyszłych zdarzeń.

Granice pomiędzy poziomami mogą zależeć od rodzaju zakładu i jego statusu. Rozwiązanie będące dobrowolnym ulepszeniem w jednym obiekcie może należeć do wymagań dotyczących innego rodzaju zakładu. Dlatego przed przypisaniem konkretnego działania do poziomu obowiązku należy sprawdzić aktualne przepisy i warunki dotyczące danego gospodarstwa.

Macierz może być również używana podczas planowania budżetu. Najpierw należy sprawdzić, czy spełniono wymagania podstawowe i usunięto luki organizacyjne. Następnie wybiera się dobre praktyki o dużym wpływie i relatywnie małym koszcie. Inwestycje techniczne powinny koncentrować się na ryzyku, którego nie można wystarczająco ograniczyć działaniem organizacyjnym.

5.4. Karta pierwszych 60 minut – przygotowanie reakcji na zdarzenie

Karta pierwszych 60 minut jest skróconym narzędziem operacyjnym. Powinna wskazywać najważniejsze działania dla kilku podstawowych scenariuszy, ale nie zastępować pełnej procedury awaryjnej. Jej celem jest ograniczenie improwizacji w okresie, gdy czas ma największe znaczenie.

Karta powinna być dostępna w miejscu pracy, odporna na warunki środowiskowe i zrozumiała bez dodatkowego wyjaśnienia. Musi zawierać aktualne dane kontaktowe, podział ról, lokalizację podstawowych zasobów oraz działania, które można rozpocząć bez oczekiwania na dodatkową decyzję. W przypadku decyzji wymagających konsultacji weterynaryjnej lub urzędowej karta powinna wskazywać właściwą ścieżkę kontaktu.

Liczba czynności na karcie powinna być ograniczona. Jeżeli dokument zawiera wszystkie możliwe warianty, przestaje pełnić funkcję szybkiej pomocy. Szczegółowe instrukcje mogą znajdować się w planie awaryjnym, natomiast karta powinna koncentrować się na potwierdzeniu zdarzenia, zabezpieczeniu ryb, ograniczeniu zasięgu, komunikacji i dokumentowaniu.

Karta powinna być ćwiczona. Jeżeli podczas próby pracownik nie może znaleźć zaworu, podłączyć urządzenia albo skontaktować się z osobą odpowiedzialną, problem dotyczy systemu, a nie samego dokumentu. Po każdej próbie i rzeczywistym zdarzeniu kartę należy przejrzeć oraz uprościć tam, gdzie jej zapis nie odpowiadał rzeczywistemu przebiegowi działania.

5.5. Cykl doskonalenia

Narzędzia Bioasekuracji 2.0 przynoszą największą wartość wtedy, gdy tworzą jeden cykl zarządzania ryzykiem. Ocena dojrzałości wskazuje zdolności wymagające poprawy, natomiast mapa dróg zagrożeń pomaga ustalić przyczyny stwierdzonych luk, możliwe mechanizmy ekspozycji oraz punkty kontroli. Na tej podstawie gospodarstwo wybiera rozwiązanie proporcjonalne do ryzyka, określa odpowiedzialność i przygotowuje sposób postępowania na wypadek niepowodzenia bariery. Poszczególne narzędzia nie powinny być zatem stosowane jako niezależne formularze, lecz jako kolejne elementy prowadzące od rozpoznania problemu do uzasadnionej decyzji (FAO, 2020, 2023).

Wdrożenie działania nie kończy procesu. Jego skuteczność należy sprawdzić za pomocą metody odpowiadającej charakterowi rozwiązania, na przykład ćwiczenia awaryjnego, kontroli stężenia preparatu, próby urządzenia pod obciążeniem, przeglądu zapisów albo pomiaru czasu reakcji. Wynik testu powinien prowadzić do utrzymania rozwiązania, jego korekty lub zastąpienia innym działaniem. Dopiero ponowna ocena pozwala potwierdzić, że stwierdzona luka została ograniczona, a poziom dojrzałości gospodarstwa rzeczywiście wzrósł.

Cykl należy powtarzać przed okresem podwyższonego ryzyka, po zmianie technologii, źródła wody, dostawcy, infrastruktury lub organizacji pracy, a także po istotnym zdarzeniu zdrowotnym albo technicznym. Dzięki temu plan bioasekuracji pozostaje zgodny z rzeczywistym sposobem funkcjonowania gospodarstwa, a wyniki obserwacji, testów i zdarzeń prowadzą do jego systematycznej poprawy. Bioasekuracja przestaje wówczas być jednorazowo przygotowaną dokumentacją i staje się procesem ciągłego doskonalenia.

6. Podsumowanie

6.1. Prawo wyznacza minimum

Prawo określa podstawowy poziom odpowiedzialności za zdrowie ryb, obserwację zwierząt, identyfikowalność, dokumentację oraz stosowanie środków bioasekuracji odpowiednich do ryzyka. Spełnienie tych wymagań jest punktem wyjścia, ale nie gwarantuje jeszcze skuteczności systemu. Procedura, rejestr, punkt dezynfekcyjny, alarm lub urządzenie rezerwowe ograniczają ryzyko tylko wtedy, gdy odpowiadają rzeczywistym warunkom gospodarstwa, są możliwe do zastosowania w codziennej pracy i działają również podczas zdarzenia. Formalna zgodność powinna zatem tworzyć podstawę zarządzania, a nie jego ostateczny rezultat.

6.2. Gospodarstwo powinno rozwijać pięć zdolności

Odporność gospodarstwa zależy od jego zdolności do zapobiegania wprowadzaniu i szerzeniu zagrożeń, odpowiednio wczesnego wykrywania odchyłeń, szybkiego i adekwatnego reagowania, utrzymywania funkcji krytycznych oraz odbudowy po zdarzeniu i wyciągania wniosków. Zdolności te tworzą kolejne etapy jednego procesu i wzajemnie się uzupełniają. Zapobieganie bez monitoringu nie pozwala rozpoznać niepowodzenia bariery, szybkie wykrycie bez przygotowanej reakcji nie ogranicza konsekwencji, a opóźnianie zdarzenia bez analizy jego przyczyn prowadzi do odtworzenia wcześniejszych słabości systemu.

6.3. Skuteczność wymaga dopasowania do ryzyka

Środki bioasekuracji powinny wynikać z oceny zagrożenia, dróg ekspozycji, podatności ryb i gospodarstwa oraz możliwych konsekwencji zdarzenia. Model czterech warstw porządkuje działania przez ograniczanie ekspozycji, transmisji wewnętrznej, podatności ryb oraz konsekwencji niepowodzenia wcześniejszych zabezpieczeń. Warstwy powinny funkcjonować równolegle, ponieważ żadna pojedyncza bariera nie eliminuje całego ryzyka. Dobór rozwiązań musi uwzględniać system produkcji, źródło wody, układ jednostek, biomasę, zmienność sezonową i czas dostępny na reakcję.

6.4. System powinien odpowiadać rzeczywistemu funkcjonowaniu gospodarstwa

Bioasekuracja staje się systemem dopiero wtedy, gdy jest powiązana z codziennym przebiegiem pracy, odpowiedzialnością, zastępstwami, dostępnością zasobów i uprawnieniami decyzyjnymi. Skuteczność rozwiązań wymaga monitorowania, testowania i poprawiania na podstawie wyników. Dokumentacja ma wartość, jeżeli umożliwia zauważenie trendu, odtworzenie zdarzenia, ocenę czasu reakcji albo potwierdzenie działania bariery. Celem nie jest stworzenie idealnego planu ani osiągnięcie maksymalnej punktacji, lecz rozpoznawanie najważniejszych luk, wdrażanie wykonalnych rozwiązań i sprawdzanie, czy rzeczywiście ograniczają ryzyko.

6.5. Żadne gospodarstwo nie jest samotną wyspą

Ryzyko może przekraczać granice gospodarstwa wraz z wodą, materiałem biologicznym, transportem, sprzętem, personelem i usługodawcami. Odporność pojedynczego obiektu powinna być zatem uzupełniana współpracą w obrębie zlewni i łańcucha produkcyjnego. Dalszym etapem może być opracowanie przez SPRŁ dobrowolnego pakietu narzędzi wspierających samoocenę, mapowanie dróg zagrożeń, reagowanie i analizę zdarzeń. Rozwiązania branżowe powinny zostać dostosowane do polskich warunków, skonsultowane z producentami, lekarzami weterynarii i laboratoriami oraz sprawdzone podczas pilotażu w różnych typach gospodarstw.

Piśmiennictwo

Akty prawne i dokumenty urzędowe

- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/691 z dnia 30 stycznia 2020 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 w odniesieniu do przepisów dotyczących zakładów akwakultury i przewoźników zwierząt wodnych. (2020). Dz. Urz. UE L 174 z 3.06.2020, s. 345–378.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie przenośnych chorób zwierząt oraz zmieniające i uchylające niektóre akty w dziedzinie zdrowia zwierząt („Prawo o zdrowiu zwierząt”). (2016). Dz. Urz. UE L 84 z 31.03.2016, s. 1–208.
- Ustawa z dnia 21 grudnia 1990 r. o zawodzie lekarza weterynarii i izbach lekarsko-weterynaryjnych. (1990/2026). Tekst jednolity: Dz.U. z 2026 r. poz. 125.
- Ustawa z dnia 21 listopada 2025 r. o zdrowiu zwierząt. (2025). Dz.U. z 2025 r. poz. 1795.

Standardy, przewodniki i opracowania instytucjonalne

- Center for Food Security and Public Health. (2025). Aquaculture biosecurity: Resources for land-based aquaculture farms and hatcheries. Iowa State University College of Veterinary Medicine. <https://www.cfsph.iastate.edu/biosecurity/aquaculture/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Progress towards development of the Progressive Management Pathway for improving aquaculture biosecurity (PMP/AB): Highlights of 2019 activities. <https://doi.org/10.4060/cb0560en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). The Progressive Management Pathway for Aquaculture Biosecurity. <https://doi.org/10.4060/cc6858en>
- World Organisation for Animal Health. (n.d.). Biosecurity for aquaculture establishments. In Aquatic Animal Health Code (Chap. 4.1). Retrieved August 11, 2026, from <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access/>

Publikacje naukowe

- Ahmed, F., Luyten, W., & Paeshuyse, J. (2025). Disease management and biosecurity adoption status in finfish aquaculture: Insights from Bangladesh. *Aquaculture International*, 33(3), Article 184. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01857-5>
- Aly, S. M., & Fathi, M. (2024). Advancing aquaculture biosecurity: A scientometric analysis and future outlook for disease prevention and environmental susta-

- inability. *Aquaculture International*, 32, 8763–8789. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01589-y>
- Crozier, L. G., & Siegel, J. E. (2023). A comprehensive review of the impacts of climate change on salmon: Strengths and weaknesses of the literature by life stage. *Fishes*, 8(6), Article 319. <https://doi.org/10.3390/fishes8060319>
 - Galappaththi, E. K., Ichien, S. T., Hyman, A. A., Aubrac, C. J., & Ford, J. D. (2020). Climate change adaptation in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2160–2176. <https://doi.org/10.1111/raq.12427>
 - Maulu, S., Hasimuna, O. J., Haambiya, L. H., Monde, C., Musuka, C. G., Makorwa, T. H., Munganga, B. P., Phiri, K. J., & Nsekanabo, J. D. (2021). Climate change effects on aquaculture production: Sustainability implications, mitigation, and adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Article 609097. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.609097>
 - Rowley, A. F., Baker-Austin, C., Boerlage, A. S., Caillon, C., Davies, C. E., Duperret, L., Martin, S. A. M., Mitta, G., Pernet, F., Pratoomyot, J., Shields, J. D., Shinn, A. P., Songsunthong, W., Srijuntongsiri, G., Sritunyalucksana, K., Vidal-Dupiol, J., Uren Webster, T. M., Taengchaiyaphum, S., Wongwaradechkul, R., & Coates, C. J. (2024). Diseases of marine fish and shellfish in an age of rapid climate change. *iScience*, 27(9), Article 110838. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110838>
 - Sajid, Z., Gamperl, A. K., Parrish, C. C., Colombo, S. M., Santander, J., Mather, C., Neis, B., Holmen, I. M., Filgueira, R., McKenzie, C. H., Cavalli, L. S., Jeebhay, M., Gao, W., López Gómez, M. A., Ochs, C., Lehnert, S., Couturier, C., Knott, C., Romero, J. F., . . . Singh, G. G. (2024). An aquaculture risk model to understand the causes and consequences of Atlantic salmon mass mortality events: A review. *Reviews in Aquaculture*, 16(4), 1674–1695. <https://doi.org/10.1111/raq.12917>
 - Sandrelli, R. M., & Gamperl, A. K. (2023). The upper temperature and hypoxia limits of Atlantic salmon (*Salmo salar*) depend greatly on the method utilized. *Journal of Experimental Biology*, 226(18), jeb246227. <https://doi.org/10.1242/jeb.246227>
 - Scarfe, A. D., & Palić, D. (2020). Aquaculture biosecurity: Practical approach to prevent, control, and eradicate diseases. In F. S. B. Kibenge & M. D. Powell (Eds.), *Aquaculture health management* (pp. 75–116). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813359-0.00003-8>

Efektywność szczepionek autogenicznych (autoszczepionek) stosowanych w kąpielach oraz w karmieniu – wyniki badań

Agnieszka Pękala-Safińska, Marta Rybska, Małgorzata Pomorska-Mól

Katedra Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych, Wydział Medycyny
Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
60-637 Poznań, Wołyńska 35, agnieszka.pekala-safinska@up.poznan.pl

1. Wstęp

Współczesne zarządzanie zdrowiem zwierząt polega na podejściu procesowym, u podstaw którego leży utrzymanie wysokiego statusu zdrowotnego ryb, skutkując ograniczeniem występowania zaburzeń zdrowotnych. Cel ten jest możliwy do osiągnięcia różnymi metodami, wykorzystując znane lub wdrażając zupełnie nowe technologie, umożliwiające znaczne podniesienie efektywności produkcji ryb, uwzględniając aktualne zagrożenia związane m. in. z zanieczyszczeniem środowiska, ocieplaniem klimatu, nowo diagnozowanymi czynnikami chorobotwórczymi lub też zwiększeniem zjadliwości znanych już patogenów (Kowalski, 2019; Pękala i wsp., 2016; Siwicki, 2022). W nurt opisywanych działań wpisują się projekty związane m. in. z dobrostanem ryb, podnoszeniem efektywności i parametrów hodowli. Jako przykład postawić może projekt Salmocross, którego celem było opracowanie technologii hodowli nowej odmiany pstrąga, określonej jako pstrąg wielkopolski, będącej hybrydą pstrąga tęczowego i źródlanego. Ryba ta cechuje się obiecującymi parametrami hodowlanymi, wyrażonymi m.in. szybkim przyrostem masy ciała. Ponadto ma wykazywać wrodzoną odporność na najgroźniejsze dla ryb łososiowatych jednostki chorobowe, tj. wirusową posocznicę krwotoczną ryb łososiowatych (VHS) oraz zakaźną martwicę układu krwiotwórczego (IHN), powodujące masowe śnięcia, a co za tym idzie, bardzo poważne straty ekonomiczne. Nowa odmiana pstrąga okazała się jednak bardzo wrażliwa na infekcje bakteryjne, szczególnie na wrzodzenie ryb łososiowatych wywołaną przez *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* (Kowalski i wsp., 2022, badania własne).

W przypadku wystąpienia choroby bakteryjnej, przy nasilających się śnięciach ryb, konieczne staje się wdrożenie szybkiej, celowanej antybiotykoterapii. Wiadomym jest, iż podjęcie terapii w przypadku chorób ryb jest z różnych względów niezmiernie trudne. Dlatego też jedną z alternatyw dla nowoczesnego zarządzania zdrowiem ryb jest możliwość wdrożenia celowanej immunoprofilaktyki swoistej opartej na uzyskaniu

i utrzymaniu wysokiego statusu immunologicznego pstrągów, dzięki czemu byłyby one niepodatne na infekcje bakteryjne.

Celem podjętych działań stało się więc opracowanie strategii stymulacji układu odpornościowego pstrągów wielkopolskich poprzez wdrożenie szczepień ochronnych ryb. Zabiegi takie mają umożliwić sprawowanie kontroli nad chorobami bakteryjnymi, minimalizując, czy wręcz niwelując konieczność stosowania środków przeciwdrobnoustrojowych w hodowli ryb. Niedosięgniętym przykładem państwa, które z sukcesem wdrożyło i utrzymuje prezentowany powyżej model walki z chorobami bakteryjnymi ryb, jest Norwegia. W tym kraju szczepienia spowodowały prawie całkowitą eliminację zakażeń bakteryjnych u ryb, przez co zasadniczo zredukowano zużycie antybiotyków (Hjeltnes, 2013). Ma to fundamentalne znaczenie wobec narastającego problemu rozwijającej się antybiotykoodporności wśród obecnie izolowanych szczepów bakterii. Ponadto, przedstawione powyżej cele wpisują się bezpośrednio w obszar zainteresowania unijnych inicjatyw strategicznych, takich jak, m. in. strategia „od pola do stołu”, w której dąży się do ograniczania stosowania substancji przeciwdrobnoustrojowych w leczeniu zwierząt, zobowiązując jednocześnie państwa członkowskie Unii Europejskiej do zmniejszenia sprzedaży środków przeciwdrobnoustrojowych przeznaczonych dla zwierząt utrzymywanych w warunkach hodowlanych i w akwakulturze o 50% do 2030 r. (https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en).

Kluczowym elementem koncepcji zaplanowanych badań było zaprojektowanie skutecznej szczepionki autogenicznej, której efekt działania będzie widoczny zarówno w mierzalnych wybranych parametrach immunologicznych oznaczanych u ryb, jak i w przeprowadzonych testach obciążeniowych.

2. Metodologia

W celu przygotowania szczepionki autogenicznej przeprowadzono badania bakteriologiczne pstrągów wielkopolskich wykazujących objawy charakterystyczne dla wrzodzenia. Pobrano próbki narządów wewnętrznych, które posiewano na odpowiednie podłoża: agar odżywczy z dodatkiem 5% krwi końskiej (BA), agar tryptozowo-sojowy (TSA) oraz agar Coomassie z błękitem brylantowym (CBB) (Austin i Austin, 2016; Butler, 2014; Cipriano i Bertolini 1988). Po inkubacji posiewów, czyste kultury bakteryjne identyfikowano na podstawie ich morfologii oraz właściwości biochemicznych. Scharakteryzowane szczepy *A. salmonicida* subsp. *salmonicida* posłużyły do przygotowania szczepionek autogenicznych.

W zależności od drogi aplikacji preparatu (w kąpielach czy w karmie) ustalano odpowiednie stężenie antygenów w konfiguracji z adekwatnym do metody immunizacji

adiuwantem (substancją wchodzącą w skład szczepionki, zwiększającą jej skuteczność). Przed zastosowaniem, szczepionki poddawano kontroli czystości i jałowości (Kościńska i Pękala, 2012). W zależności od wielkości ryb, immunizację (szczepienie) przeprowadzano:

- imersyjnie (w kąpieli): narybek o masie ok. 2,5 g immunizowano w roztworze 1:50 przez 60-90 s (temp. wody 10-12°C i 16-18°C) oraz 1:5000 przez 1 godz. (temp. wody 10-12°C);
- doustnie wraz z karmą: ryby o masie ok. 150-200 g skarmiano w wariantach 5/5/5 (5 dni szczepienia, 5 dni przerwy, 5 dni szczepienia), 3/8/3 (3 dni szczepienia, 8 dni przerwy, 3 dni szczepienia) oraz 7 (7 dni szczepienia); (temp. wody 8-12°C i 12-16°C).

Dwa miesiące po wykonaniu szczepień oceniano ich skuteczność. Od pstrągów wielkopolskich pobierano krew z żyły ogonowej w celu pozyskania surowicy. Z niej wykonywano analizy laboratoryjne, oznaczając wartości wybranych, kluczowych dla układu immunologicznego, parametrów, takich jak: białka ostrej fazy (stężenie haptoglobiny, fibrynogenu, surowiczego amyloidu A (SAA)), stężenie białka szoku cieplnego 70, Complement Factor H Like 1 (CFHL-1), katelicydyny, C1q-podobnego białka 3 (C1q-LP3) oraz IgM w surowicy ryb. Oznaczano również kortyzol. Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem ilościowych, gatunkowo swoistych, komercyjnych testów ELISA, według instrukcji producenta. Wykonywano ponadto testy obciążeniowe na rybach, zakażając je szczepem bakterii homologicznym względem szczepionki. Uzyskane wyniki analiz laboratoryjnych poddano analizie statystycznej. Obliczano również względny stopień przeżywalności ryb (RPS), świadczący o realnej skuteczności immunizacji. Badania obejmowały także grupy kontrolne.

Badania na zwierzętach prowadzono za zgodą Lokalnej Komisji Etycznej.

3. Wyniki i omówienie

Wyniki przeprowadzonych szczepień ryb, wykonanych zarówno w kąpieli, jak i doustnie, wykazały pobudzenie układu immunologicznego pstrągów wielkopolskich. Po szczepieniu w kąpieli, w temp. 10-12°C odnotowano istotny statystycznie wzrost stężenia fibrynogenu, białka CFHL-1 oraz katelicydyny, przy czym korzystniejsze wskaźniki występowały po imersji ryb w szczepionce rozcieńczonej do stężenia 1:50 (Tabela 1). Dla wyjaśnienia, fibrynogen jest białkiem ostrej fazy, a jego poziom rośnie przy stanach zapalnych oraz infekcjach; CFHL-1 (Complement Factor H-like protein 1) to białko będące częścią układu odpornościowego, odpowiadające za reakcje nieswoiste (wrodzone), biorące udział w obronie przed patogenami; związek ten reguluje odpowiedź immunologiczną w celu uniknięcia nadmiernego stanu zapalnego. Katelicydyna to peptyd prze-

ciwdrobnoustrojowy odgrywający kluczową rolę w odporności wrodzonej, stanowiąc pierwszą linię obrony przed patogenami. Wzrost wartości tych związków wiąże się z pobudzeniem układu immunologicznego.

Szczepienie ryb w kąpeli przy temperaturze wody 16-18°C spowodowało podwyższenie poziomu immunoglobulin IgM, podobnie jak stężenia kortyzolu, co świadczy o reakcji stresogennej wynikającej zapewne z wysokiej temperatury wody (Tabela 2). Immunoglobulina M (IgM) u ryb jest głównym izotypem przeciwciał zarówno w odporności ogólnoustrojowej, jak i śluzówkowej, pełniąc rolę kluczowego składnika zarówno wrodzonych, jak i nabytych mechanizmów obronnych.

Tabela 1. Parametry immunologiczne oznaczone z surowicy pstrągów wielkopolskich – uśrednione wartości po szczepieniu imersyjnym w temp. wody 10-12°C.

Parametr	Grupa kontrolna	Stężenie szczepionki 1: 50	Stężenie szczepionki 1:5000
Haptoglobina (ng/ml)	<0,625	<0,625	<0,625
Fibrynogen (µg/ml)	<1,56*	349,96*	148,44*
CFHL-1 (µg/ml)	4,58*	7,77*	2,31*
C1q-LP3 (ng/ml)	161,55	41,35	175,80
IgM (ng/ml)	13,11	7,29	6,64
SAA (ng/ml)	<1,56	<1,56	<1,56
Katelicydyna (ng/ml)	509,30*	1857,66*	5414,92*
Białko szoku cieplnego 70 (pg/ml)	51,36	54,36	54,34
Kortyzol (ng/ml)	50,76	37,81	36,60

Tabela 2. Parametry immunologiczne oznaczone z surowicy pstrągów wielkopolskich – uśrednione wartości po szczepieniu imersyjnym w temp. wody 16-18°C.

Parametr	Grupa kontrolna	Stężenie szczepionki 1: 50
Haptoglobina (ng/ml)	25,02	<0,625
Fibrynogen (µg/ml)	2962,81	255,57
CFHL-1 (µg/ml)	23,35	11,06
C1q-LP3 (ng/ml)	735,04	<1,56
IgM (ng/ml)	3,26*	6,99*
SAA (ng/ml)	132,03	15,79
Katelicydyna (ng/ml)	3130,02	<0,625
Białko szoku cieplnego 70 (pg/ml)	37,24	45,03
Kortyzol (ng/ml)	6,83*	12,13*

Immunizacja ryb drogą doustną spowodowała statystycznie istotny wzrost wartości IgM oraz katelicydyny, niezależnie od temperatury wody oraz metodyki podania preparatu (Tabela 3 i 4). Oba wymienione wskaźniki mogą być zatem określone jako markery pobudzenia układu odpornościowego hybrydy pstrąga tęczowego i źródlanego,

a ich oznaczanie może posłużyć do określenia odpowiedniego momentu immunizacji ryb. Analizując schematy aplikacji szczepionek, jako najbardziej korzystne w odniesieniu do stymulacji układu immunologicznego należy wskazać modele 5/5/5 lub 7.

Ponadto, na baczność uwagę zasługuje fakt, iż pobudzony układ immunologiczny po szczepieniu doustnym świadczy o efektywności działania testowanego nowego adiuwantu - MONTANIDE™ GR firmy Seppic. Wykazano więc możliwość potencjalnego użycia tego związku do przygotowania szczepionek doustnych dla ryb łososiowatych. Wyniki tych badań są, naszym zdaniem, niezmiernie obiecujące. Wskazujemy więc na zasadności konieczność kontynuowania prac badawczych, rozszerzając je o analizy w terenie, w gospodarstwach hodowli ryb.

Tabela 3. Wyniki oznaczanych parametrów immunologicznych w surowicy pstrągów wielkopolskich - średnie uzyskanych wartości po szczepieniu doustnym w temp. Wody 8-12°C.

Parametr	Grupa kontrola	5/5/5
Haptoglobina (ng/ml)	281,36	<0,625
Fibrynogen (µg/ml)	4320,40	957,765
CFHL-1 (µg/ml)	20,47	16,09
C1q-LP3 (ng/ml)	632,79	35,11
IgM (ng/ml)	1,36*	7,61*
SAA (ng/ml)	76,86	45,39
Katelicydyna (ng/ml)	<0,625*	88,33*
Białko szoku cieplnego 70 (pg/ml)	25,52*	43,05*
Kortyzol (ng/ml)	14,36761	27,36231

Tabela 4. Wyniki oznaczanych parametrów immunologicznych w surowicy pstrągów wielkopolskich - średnie uzyskanych wartości po szczepieniu doustnym w temp. wody 12-16°C.

Parametr	Grupa kontrolna	5/5/5	3/8/3	7
Haptoglobina (ng/ml)	256,1	73,9	132,3	86,0
Fibrynogen (µg/ml)	55,8	17,1	36,2	27,5
CFHL-1 (µg/ml)	22,2	22,6	24,3	19,0
C1q-LP3 (ng/ml)	22,6	8,5	61,8	115,2
IgM (ng/ml)	43,5*	23,4*	35,7	24,2*
SAA (ng/ml)	4,3	10,8	5,3	5,7
Katelicydyna (ng/ml)	251,1*	644,7*	483,1*	2546,3*
Białko szoku cieplnego 70 (pg/ml)	55,1*	45,8*	46,9*	41,8*
Kortyzol (ng/ml)	85,3*	59,2*	58,4*	22,8*

Przeprowadzone badania wskazały wysoki wskaźnik RPS wynoszący 85% w przypadku szczepienia w imersji oraz 74% w przypadku szczepienia doustnego.

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu zapewnia sprawnie działający układ odpornościowy, który wykształcił szereg mechanizmów, zarówno wrodzonych, jak i nabytych,

swoistych oraz nieswoistych. Wymienione składowe wspólnie i na różnych poziomach przeciwdziałają wniknięciu czynników chorobotwórczych i rozwojowi choroby w organizmie. Mechanizmy odpornościowe obejmują więc kompleksową ochronę wyrażoną w obecności barier anatomicznych oraz funkcjonowaniu układu immunologicznego, który u ryb działa podobnie jak u innych kręgowców wyższych, z tą różnicą, iż przeważają w nim reakcje nieswoiste, silnie zależne od wielu czynników, m.in. temperatury otoczenia (Antychowicz i Siwicki, 1993; Lieschke i Trede, 2009).

Pierwszą linią obrony przeciwdrobnoustrojowej jest bariera anatomiczna, którą u ryb tworzą skóra, śluz, nabłonek skrzel, przewodu pokarmowego i nozdrzy. Skrzela, oprócz roli w oddychaniu, osmoregulacji i regulacji pH, pełnią funkcję wydalniczą w odniesieniu do produktów przemian azotowych; są również wtórnym narządem limfoidalnym, w którym inicjowana jest swoista odpowiedź immunologiczna. Jest to swoisty, odrębny, skrzelowy układ odpornościowy, mający kluczowe znaczenie dla immunizacji ryb techniką kąpeli (Evans i wsp., 2005). Szczepienia immersyjne polegają na zanurzeniu ryb w wodzie zawierającej antygeny, które wchłaniane są przez skrzela, jak również przez skórę, linię boczną lub/i jelita. Pobrane do krwi antygeny, zostają przetworzone przez elementy układu odpornościowego organizmu w celu wytworzenia odpowiedzi immunologicznej (Du i wsp., 2022). Właśnie tak, w dużym skrócie wygląda zasada działania szczepień ochronnych.

Odporność wrodzona zależy przeważnie od temperatury otoczenia, wykazując większą aktywność w jej niższych zakresach, od 5 do 10 - 12°C, przy czym zabiegi wykonywane w temperaturze wynoszącej około 2°C nie gwarantują efektywności ochrony przeciwbakteryjnej. Szczepienia wykonywane z kolei w temperaturze powyżej 15°C powodują krótkotrwałą protekcję. Uzyskane przez nas wyniki wskazują, że szczepienia wykonane w temperaturze 16-18°C wywołują reakcję stresową, nie powodując wzrostu wskaźników układu immunologicznego, czyli nie stymulując go.

Odporność nabyta charakteryzuje się swoistą reakcją przeciwko danemu czynnikowi chorobotwórczemu, w której, po jego rozpoznaniu, następuje rozwój komórek pamięci umożliwiający ich szybką proliferację po powtórnej kontakcie z patogenem. To właśnie odporność nabyta odgrywa kluczową rolę w procesie szczepienia ryb (Makesh i Rajendran, 2022). Wykorzystaliśmy to w naszych badaniach, przeprowadzając szczepienie ryb o średniej masie jednostkowej wynoszącej około 2,5 g, w kąpielach. Jak podaje literatura, najlepszy czas wykonania takiego zabiegu, pozwalający na osiągnięcie maksymalnego okresu protekcji, to immunizacja ryb o masie jednostkowej wynoszącej od 2 do 4 g. Ten rodzaj aplikacji szczepionki daje krótkotrwałą odporność, a czas wytworzenia odporności w zależności od gatunku ryby, waha się od 3 do maksymalnie

8 miesięcy (Makesh i Rajendran, 2022). W przypadku naszych badań ochrona została udowodniona do 2-3 miesięcy po immunizacji.

W procesie immunizacji kluczowe znaczenie ma wybór sposobu immunizacji ryb, który powinien być adekwatny do ich wielkości. Immunizacja doustna, czyli podanie rybom szczepionki wraz z paszą, jest metodą najbardziej optymalną, mogącą zyskać z wielu powodów, miano szczepienia idealnego. Jednakże, ten rodzaj immunoprofilaktyki swoistej niesie ze sobą wiele problematycznych zagadnień, poczynwszy od procesu produkcji szczepionki, na skuteczności preparatu w odniesieniu do anatomii ryb skończywszy. Przewód pokarmowy ryb wyścielony jest błoną śluzową, którą w części jelitowej pokrywa śluz jelitowy. W żołądku ryb łososiowatych śluz wydziela enzymy trawienne o silnym proteolitycznym działaniu, ustanawiając tym samym kwaśne środowisko. Niektóre ryby, np. karpowate, nieposiadające prawidłowego żołądka, nie mają tym samym regionu o niskim pH. Aspekt ten ma kluczowe znaczenie w immunizacji ryb drogą doustną. Ze względu na destrukcyjne działanie kwaśnego środowiska w żołądkach ryb łososiowatych, niezabezpieczony antygen obecny w szczepionkach ulega inaktywacji, przez co skuteczność preparatów podawanych doustnie jest niska. Doustna aplikacja takich preparatów skutkuje znacznie skróconym czasem stymulacji układu odpornościowego z powodu degradacji antygenu oraz niskiego współczynnika przeniesienia antygenów ze światła jelita do komórek immunologicznie reaktywnych.

Kwaśne środowisko panujące w żołądku i jelicie przednim u ryb łososiowatych w poważny sposób limituje proces projektowania preparatów immunologicznych, które z wymienionych względów powinny być wchłaniane w tylnym odcinku przewodu pokarmowego. Łatwy proces wchłaniania ma miejsce u ryb karpowatych. W ostatnich latach poczyniono postępy w zakresie sposobu zabezpieczenia antygenów przed ich inaktywacją przez niskie pH, osłaniając je, dzięki czemu możliwe staje się powolne ich uwalnianie dopiero w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego. Przeprowadzone przez nas badania wykazały, że testowany w szczepionce doustnej adiuwant MONTANIDE™ GR firmy Seppic okazał się skuteczny w stymulacji układu immunologicznego pstrąga wielkopolskiego i może być z powodzeniem wykorzystywany jako komponent szczepionki doustnej.

Przeprowadzone badania wykazały skuteczność i zasadność stosowania szczepionek autogenicznych stosowanych w kąpieli i doustnie, w walce z wrzodźnicą ryb łososiowatych, w temperaturach 10-12°C. Wstępne wyniki wskazują, że katelicydyna oraz IgM mogą stanowić potencjalne markery wskazujące na status układu odpornościowego, umożliwiając nawet przyżyciowe jego oznaczanie. Ponadto, należy wskazać na konieczność prowadzenia dalszych badań w tym zakresie, walidując powyższe wnioski. Jako nie-

zwykle istotną wartość prowadzonych badań należy wskazać możliwość zastosowania adjuwantu MONTANIDE™ GR w przygotowaniu skutecznej szczepionki doustnej.

Źródło finansowania

Praca naukowa dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa II” nr projektu NdS-II/SP/0356/2024/01 kwota dofinansowania 961 707,00 zł całkowita wartość projektu 961707,00 zł.

Piśmiennictwo:

- Antychowicz J., Siwicki A. (1993) Podstawy immunologii ryb. Wyd. PIWet. Puławy.
- Austin B., Austin D. (2016) Bacterial fish pathogens. Diseases of farmed and wild fish. Sixth edition. Springer.
- Buller N.B. (2014) Bacteria and fungi from fish and other aquatic animals: A practical identification manual. 2nd edition. CABI.
- Cipriano R. C., Bertolini (1988) Selection for virulence in the fish pathogen *Aeromonas salmonicida*, using Coomassie Brilliant Blue agar. J Wildl Dis 24(4):672–678.
- Du Y., Hu X., Miao L., Chen J. (2022) Current status and development prospects of aquatic vaccines. Front Immunol., Nov 10, 13:1040336.
- Evans D. H., Piermarini P. M., Choe C. P. (2005) The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid–base regulation, and excretion of nitrogenous waste. Physiol Rev., 85, 97–177.
- Hjeltnes B. (2013) Current and emerging diseases – cold water fish farming. Caring for health and welfare of fish: a critical success factor for aquaculture. Conference of Federation of Veterinarians of Europe, Brussels, 16-17 May, 2013, 7.
- https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
- Kowalski R. (2019) Globalne ocieplenie a przyszłość produkcji ryb łososiowatych w Polsce. W: Materiały szkoleniowe pod red. A. Kowalskiej i R. Kowalskiego, XLV Szkolenie-Konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 17-18 października 2019, Gdynia, 93-99.
- Kowalski R., Pirtań Z., Jóźwiak W., Ocalewicz K. (2022) Salmocross – opracowanie technologii nowej odmiany pstrąga. W: Materiały szkoleniowe pod red. R. Kowalskiego, XLVII Szkolenie-Konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 13-14 października 2022, Gdynia, 139-151.

- Kozińska A., Pękala A. (2012) Porównanie efektywności dwóch autoszczepionek przeciwko jersiniozie u pstrągów tęczowych (*Oncorhynchus mykiss*). Komunikaty Rybackie, 5(130), 8-12.
- Lieschke G. J., Trede N. S. (2009) Fish immunology. Curr Biol., 19, 16.
- Makesh M., Rajendran K. V. (2022) Fish immune system and vaccines. Springer.
- Pękala A., Paździor E., Głowacka H., Bernad A. (2016) Nowe bakteryjne zagrożenia dla stanu zdrowia ryb. W: Materiały szkoleniowe pod red. A. Kowalskiego i R. Kowalskiego, XLI Szkolenie-Konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 13-14 października 2016, Gdynia, 81-92.
- Salinas I. (2015) The mucosal immune system of teleost fish. Biology, , 4, 525-539.
- Siwicki A.K. (2022) Wpływ zmian klimatycznych na stan kondycyjny i zdrowotny ryb łososiowatych. W: Materiały szkoleniowe pod red. R. Kowalskiego, XLVII Szkolenie-Konferencja Hodowców Ryb Łososiowatych, 13-14 października 2022, Gdynia, 135-138

**Choroby skrzeli ryb łososiowatych.
Nowe obserwacje, doświadczenia i wyzwania.**

Krzysztof Duchiewicz

Przychodnia Weterynaryjna TIKWET
84-252 Orle, Pomorska 36, ichtico@gmail.com

1. Wstęp

W Polsce jest hodowanych wiele gatunków ryb łososiowatych. Najpopularniejsze z nich to: pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*), pstrąg źródlany (*Salvelinus fontinalis*), pstrąg alpejski (*Salvelinus alpinus*), troć wędrowna (*Salmo trutta m.trutta*), hybrydy.

Problemy skrzelowe ryb łososiowatych mogą mieć różną etiologię.

Należą do nich:

- czynniki środowiskowe i toksyczne, m.in. nieprawidłowe pH, podwyższone stężenie CO₂, amoniaku lub azotynów, zawiesina i niedobór tlenu;
- pasożyty i pierwotniaki, m.in. *Ichthyophthirius multifiliis*, *Gyrodactylus* spp. i *Ichthyobodo* spp.;
- choroby bakteryjne, w tym BGD;
- zakażenia grzybicze;
- choroby i zespoły związane z występowaniem ameb, NGD, AGI,
- choroby układowe, które mogą również przebiegać z zaburzeniami oddychania, w tym VHS i IHN.

Choroby skrzeli ryb łososiowatych są bardzo dużym problemem w hodowli. Powodują spowolnienie wzrostu i podwyższoną śmiertelność lub nawet masowe śnięcia, które to zjawiska powodują spadek wartości ekonomicznej przedsięwzięcia.

Na przestrzeni ostatnich kilku lat w swojej praktyce weterynaryjnej zauważyłem, że najwięcej problemów w hodowlach sprawia nakładanie się kilku jednostek chorobowych i czynników środowiskowych:

BGD (Bacterial Gill Disease) Bakteryjna Choroba Skrzeli.

Czynnik chorobotwórczy: bakteria *Flavobacterium branchiophilum*.

Mechanizm działania bakterii przebiega następująco:

Bakterie przywierają do śluzu wydzielanego przez skrzela ryb, na którym bardzo intensywnie się namnażają. Doprowadzają do przerostu nabłonka oddechowego

(„zwiększona bariera oddechowa”), przerostu blaszek i zlepiania się ich, co prowadzi do zmniejszenia powierzchni czynnej skrzelu, a co za tym idzie do niedotlenienia organizmu, zaburzeń metabolicznych (kwasicy) i do śmierci.

Śnięcia zależą od stopnia zaawansowania choroby wynoszą od kilku procent do kilkunastu procent stada. W ciężkich przypadkach obserwowanych w praktyce śmiertelność może być bardzo wysoka, sięgając nawet kilkudziesięciu procent obsady.

Objawy obserwowane w praktyce:

W początkowych stadiach choroby ryby zachowują się normalnie, objawem mogącym występować jest krwawienie ze skrzelu przy manipulacjach.

W praktyce klinicznej zauważono wzrost śmiertelności w godzinach nocnych oraz po ostatnim karmieniu. W początkowych stadiach choroby w dzień jest w miarę normalnie. Ryby podchodzą do lustra wody, zaczynają rysować lustro wody są niespokojne, łatwo się płoszą. Następnie ryby zaczynają szukać tlenu, ustawiają się przy dopływie, natleniaczach, aeratorach, nadal żerują, ale po karmieniach zwiększają się śnięcia. Następnie rozwijają się ostre objawy niedotlenienia apatia, letarg, stanie pod powierzchnią, rysowanie wody, otwarte wieczka skrzelowe, brak pobierania pokarmu, wzrost śmiertelności. Na kracie odpływowej pojawiają się jasne ryby z przejrzystą rogówką i dużą zawartością śluzu w skrzelach. Po wyczyszczeniu stawu bardzo szybko pojawiają się śnięcia. Podczas czyszczenia dna stawu spotykamy charakterystyczne miejsca zalegania śniętych ryb, tj. dopływ, natleniacze, aeratory.

Zmiany pośmiertne:

Ryby dopiero co padłe mają czerwone skrzelu czasami z przejaśnieniami na końcówkach listków skrzelowych, listki skrzelowe zlepione, ilość śluzu w skrzelach zwiększa się z rozwojem choroby. Wraz z upływem czasu od śmierci następuje blednięcie skrzelu, pojawia się coraz więcej śluzu, autoliza tkanek skrzelu, ryby zmieniają barwę z właściwej na jasną z bardzo dużą ilością śluzu w skrzelach.

Czynnikami predysponującymi są warunki środowiskowe:

Niska jakość wody, duża zawartość zawiesiny, amoniaku, glonów, niska zawartość tlenu, zbyt duża biomasa w stawie, zalegająca pasza, zalegające osady dennie i padłe ryby, które są doskonałą pożywką dla bakterii. Choroba rozwija się w temperaturze wody od niskiej 3-5 °C do wysokiej 20 °C i dotyczy wszystkich grup produkcyjnych i systemów hodowli (otwarte, RAS).

Postępowanie terapeutyczne powinno obejmować poprawę warunków hodowlanych oraz kąpiele, jednak dobór preparatu, stężenia, czasu ekspozycji oraz liczby zabiegów powinien uwzględniać rozpoznanie, gatunek i stan ryb, temperaturę oraz jakość

wody, a także aktualny status prawny preparatu. Leczenie powinno być prowadzone zgodnie z zaleceniami lekarza weterynarii

AGI (Amoebic Gill Infestation) Amebowa Choroba Skrzeli.

Czynnik chorobotwórczy:

- *Neoparamoeba perurans*

NGD (Nodular Gill Disease), Guzkowata Choroba Skrzeli.

Czynnik chorobotwórczy:

- *Acanthamoeba*,
- *Vermamoeba* ,
- *Naegleria* ,
- *Protacanthamoeba*,
- *Vannella*,
- *Ripella*,
- *Saccamoeba*,
- *Mycamoeba*,

Ameby są czynnikiem atakującym skrzela ryb i rozmnażającym się przez podział komórek. Zakażenie powoduje zrastanie się nabłonka oddechowego, tworzenie międy blaszkowych cyst i pęcherzyków, a to powoduje zmniejszenie powierzchni czynnej skrzeli, co w zależności od stopnia zaawansowania prowadzi do niedotlenienia, kwasicy, i śmierci.

Przebieg chorób i zespołów amebowych jest silnie zależny od temperatury oraz innych warunków środowiskowych. W praktyce klinicznej autora przypadki obserwowano również przy temperaturach 3–5°C oraz 18–20°C, przy czym wyższa temperatura może sprzyjać szybszemu przebiegowi części zakażeń.

Objawy AGI:

W początkowym okresie choroby występują tylko białe zmiany na listkach skrzelowych, ryby zachowują się normalnie wręcz wzorcowo, następnie pojawiają się niewielkie śnięcia , ryby zaczynają szukać tlenu, ustawiają się przy dopływie, natleniaczach , aeratorach, nadal żerują. Po karmieniach zwiększają się śnięcia, następnie rozwijają się ostre objawy niedotlenienia (apatia , letarg, stanie pod powierzchnią , rysowanie wody, brak pobierania pokarmu, śmiertelność).

Postępowanie terapeutyczne powinno obejmować poprawę warunków hodowlanych oraz kąpiele, jednak dobór preparatu, stężenia, czasu ekspozycji oraz liczby zabiegów powinien uwzględniać rozpoznanie, gatunek i stan ryb, temperaturę oraz jakość

wody, a także aktualny status prawny preparatu. Leczenie powinno być prowadzone zgodnie z zaleceniami lekarza weterynarii.

ICH Ichtioftirioza

Czynnik chorobotwórczy: *Ichthyophthirius multifiliis* kolorzések

Objawy:

Białe kropki na ciele, płetwach i skrzelach, płoszenie się ryb, ocieranie się ryb o ściany i dno, wyskakiwanie z wody, duża ilość śluzu w skrzelach, duszności, apatia, brak apetytu i gromadzenie się ryb przy dopływach świeżej wody.

Pasożyt rozwija się na rybie, następnie dojrzałe stadia opuszczają gospodarza i rozmnażają się w środowisku. Powstające stadia inwazyjne ponownie zakażają ryby. Z tego względu pojedynczy zabieg nie przerywa całego cyklu rozwojowego pasożyta, a skuteczność postępowania zależy m.in. od temperatury wody i odpowiedniego powtarzania zabiegów.

Wprowadzenie pasożyta do populacji wcześniej niewystawionej na zakażenie może prowadzić do gwałtownego przebiegu choroby. Szczególne znaczenie ma to w systemach o wysokiej obsadzie oraz tam, gdzie warunki umożliwiają utrzymanie cyklu pasożyta.

Postępowanie terapeutyczne powinno obejmować poprawę warunków hodowlanych oraz kąpiele, jednak dobór preparatu, stężenia, czasu ekspozycji oraz liczby zabiegów powinien uwzględniać rozpoznanie, gatunek i stan ryb, temperaturę oraz jakość wody, a także aktualny status prawny preparatu. Leczenie powinno być prowadzone zgodnie z zaleceniami lekarza weterynarii.

Podejrzenie problemu skrzelowego – co sprawdzić w pierwszej kolejności?

- przepływ wody
- jakość wody
- temperaturę wody
- zawartość tlenu
- zachowanie ryb
- rozmieszczenie ryb w stawie
- porę śnięć
- miejsce śnięć
- dynamikę śnięć
- wygląd padłych ryb
- rodzaj zmian na skrzelach

„Spleśniałe ryby” – przyczyny, mechanizmy i możliwości zwalczania saprolegniozy

**Agnieszka Pękała-Safińska, Dominik Łagowski,
Marta Rybska, Aleksandra Biegniewska**

Katedra Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych, Wydział Medycyny
Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
60-637 Poznań, Wołyńska 35, agnieszka.pekala-safinska@up.poznan.pl

1. Wstęp

Mówiąc „spleśniałe ryby” nasuwa się skojarzenie związane z popularną, znaną od lat, jednostką chorobową o nazwie pleśniawka, wiązaną przeważnie z rybami akwariowymi. Jej czynnikiem etiologicznym jest organizm grzybopodobny, tzw. lęgnowiec (*Oomycota*), reprezentowany przez *Saprolegnia* i *Achlya* (Antychowicz, 2007; Buller, 2014). Oba patogeny występują na całym świecie, jednak ich względna równowaga wydaje się zmieniać w zależności od regionu geograficznego, związanego bezpośrednio z temperaturą wody. Gatunki z rodzaju *Saprolegnia* dominują w słodkich, chłodnych wodach Europy, podczas gdy *Achlya* jest najczęściej izolowana z wód tropikalnych (Willoughby, 1994). Jednym z przedstawicieli rodziny *Saprolegniaceae* jest *Saprolegnia parasitica*, powodująca saprolegniozę, wyniszczającą chorobę zarówno ryb dzikich, jak i hodowlanych. Biorąc pod uwagę wielkość strat finansowych powodowanych przez tę jednostkę chorobową w hodowlach ryb, plasuje się ją na równi z zakażeniami bakteryjnymi lub bezpośrednio po nich (Buller, 2014).

W ciągu ostatniej dekady zakażenia *Saprolegnia parasitica* powodowały corocznie masową śmiertelność dzikich łososi i troci wędrownych w rzekach wpływających do Morza Bałtyckiego z terenów Szwecji, Polski, Łotwy czy Finlandii (SaproBal, 2024). Patogen atakuje w okresie największej wrażliwości ryb, m. in. w czasie tarła, przyczyniając się do masowych śnięć tarlaków, zanim zdążą się rozmnożyć. Ma to zasadniczy wpływ na regenerację zasobów rybnych i może powodować poważne, długotrwałe konsekwencje. Ciężkie infekcje coraz częściej notowane są także w hodowlach komercyjnych ryb łososiowych.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy z zakresu występowania saprolegniozy na terenie naszego kraju, wskazując na drogi rozprzestrzeniania się choroby oraz możliwości jej zapobiegania.

2. Metodologia

Próbki do badań pobrane zostały w latach 2022-2025, w ramach rutynowych procedur lekarsko-weterynaryjnych. W Tabeli 1 przedstawiono charakterystykę materiału poddanego analizom laboratoryjnym.

Tabela 1. Opis próbek pobranych do badań.

Gatunek i liczba ryb	Objawy kliniczne i zmiany anatomopatologiczne; wystąpienie śnięć	Pobrany materiał
Łosoś wylęg 30 ryb	obrzęk głowy w okolicy czołowej (Fot. 1), nerwowe ruchy, masowe śnięcia	mózg, całe ryby
Troć wędrowna 20 ryb	ogniskowa depigmentacja skóry, ubytek łusek, zmiany grzybicopodobne (watowate naloty) na skórze (Fot. 2), śnięcia	wymazy/zeskrobiny ze skóry, ikra
Pstrąg tęczowy 30 ryb	ogniskowa depigmentacja skóry, ubytek łusek, zmiany grzybicopodobne (watowate naloty) na skórze, śnięcia	wymazy/zeskrobiny ze skóry
Jesiotr 30 ryb	ogniskowa depigmentacja skóry, zmiany grzybicopodobne (watowate naloty) na skórze (Fot. 3), masowe śnięcia, kawerny w mięśniach, liza mięśni	wymazy ze skóry i mięśni



Fot. 1



Fot. 2



Fot. 3

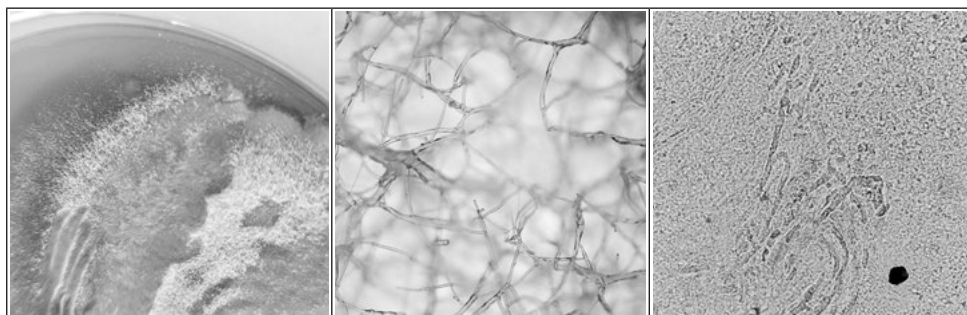
Wszystkie pobrane próbki posiewano na podłoże agarowe zawierające ekstrakt drożdżowy z dodatkiem glukozy i chloramfenikolu (YGC) (Oxoid, UK) oraz na agar odżywczy z dodatkiem 5% krwi końskiej (BA) (Grasso, PL). Płytki inkubowano w temp. 17°C ± 1°C przez 10-14 dni, codziennie sprawdzając potencjalny wzrost białej, bawełnianopodobnej grzybni. Wyrostą grzybnię oceniano morfologicznie, zwracając uwagę na budowę strzępek. W tym celu z pobranego fragmentu grzybni sporządzano preparaty świeże i/ lub barwione roztworem o stężeniu 0,1% barwnika Chlorazolu Black E (Sigma-Aldrich, USA), które obserwowano przy powiększeniu 200x z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego. Z wypreparowanych mózgów wylęgu łososi przygotowywano miazdżone preparaty bezpośrednie – świeże oraz barwione, wg metodyki opisanej powyżej (Buller, 2014; Willoughby, 1994).

Całe ziarna ikry posiewano na podłoże YGC i inkubowano, jak opisano powyżej. Część ziaren ikry dezynfekowano, tj. ich powierzchnię traktowano etanolem o stężeniu 70%, a następnie jałową igłą przekuwano ikrę i pobierano zawartość ziarna w celu przeprowadzenia badania techniką real-time PCR.

Wszystkie rodzaje próbek, a więc fragment pobranej skóry, mózgi, ikrę oraz jej zawartość, a także grzybnie wyrosłą na podłożu YGC, poddano badaniom molekularnym z zastosowaniem techniki real-time PCR (Korkea-Aho i wsp., 2022).

3. Wyniki i dyskusja

W wyniku inkubacji próbek na podłożu YGC uzyskano wzrost *S. parasitica*. Charakteryzował się on białymi, bawełnianymi koloniami przypominającymi grzybnie (Fot. 4). W preparatach gniecionych obserwowanych pod mikroskopem świetlnym widoczne były cienkie, puste w środku (pozbawione poprzecznych ścian), silnie rozgałęziające się strzępki (Fot. 5). Podobne strzępki zaobserwowano w preparatach gniecionych sporządzonych z mózgu wylęgu łososi (Fot. 6).



Fot. 4

Fot. 5

Fot. 6

Badania molekularne przeprowadzone techniką real-time PCR wykazały, że we wszystkich badanych próbkach pobranych zarówno ze skóry, ikry, w tym jej zawartości, mózgu łososi, a także wyrosłych na podłożu YGC kolonii, obecny był materiał genetyczny *S. parasitica*.

Zdecydowana większość pobranych do badań próbek pochodziła od ryb łososiowatych wykazujących zaburzenia zdrowotne, w tym masowe śnięcia: łososia, pstrąga tęczowego i troci. Dane literaturowe potwierdzają, że ta właśnie grupa zwierząt jest najbardziej podatna na infekcję *S. parasitica*, powodując śnięcia zarówno dzikich populacji łososiowatych, jak i ryb hodowlanych. Wśród podatnych gatunków wymienia się również sumy (Dieguez-Uribeondo i in., 2007; Van West, 2006). Chorobę, określaną jako zimowa saprolegnioza, diagnozowano także u hodowlanego okonia srebrzystego w Australii (Rowland i in., 2007). W opisywanym przypadku, zimowa saprolegnioza występowała

przy gwałtownym spadku temperatury wody poniżej 16°C. Podobna sytuacja została opisana w USA, gdzie wystąpienie saprolegniozy u sumika kanałowego związane było z gwałtownym spadkiem temperatury z 22°C do 10°C. Jak wiadomo, tak gwałtowne wahania termiczne wpływają na mechanizmy obronne ryb, powodując osłabienie ich odporności. W przypadku ryb badanych przez nasz zespół wszystkie pochodziły ze środowisk, w których temperatura wody mieściła się w zakresie 8-15°C, bez znacznych i gwałtownych wahań.

S. parasitica została również opisana jako przyczyna śnięć węgorza europejskiego hodowanego w Szkocji (Copland i Willoughby, 1982). Łęgnowiec był także czynnikiem etiologicznym grzybiczego zapalenia błony śluzowej żołądka u ryb ayu w Japonii (Wada i in., 1993), które objawiało się zaczerwienieniem okolicy odźwiernika. W tym obszarze zdiagnozowano strzępki łęgnowca, które penetrowały do tkanki tłuszczowej okołonarządowej, trzustki, śledziony, nerki, wątroby i pęcherza pławnego. Co ciekawe, nie stwierdzono ich w mięśniach. Zmiany w mięśniach natomiast odnotowaliśmy w przypadku badania anatomopatologicznego przeprowadzonego przy pobieraniu próbek do badań od jesiotrów.



Fot. 7

Charakteryzowały się one obecnością kawern wypełnionych kremowo-żółtą substancją, najprawdopodobniej zlizowaną tkanką mięśniową (Fot. 7). Ujścia kawern przeświecały przez otrzewną ścienną w postaci żółtych, drobnych ognisk. Zmian takich nie opisano w dostępnej literaturze ani w odniesieniu do patologii saprolegniozy, ani do objawów infekcji u jesiotrów. Doniesienia literaturowe wskazują wprawdzie na izolację *S. parasitica* od jesiotra azjatyckiego w Iranie czy Rosji, dotyczą jednak ikry (Anokhina i in., 2023; Ghiasi i in., 2010). Nasze badania wykazały bardzo poważne zagrożenie, jakie łęgnowiec może powodować w hodowlach jesiotra syberyjskiego i rosyjskiego, rozszerzając tym samym wachlarz gatunków wrażliwych na *S. parasitica* nie tylko w kontekście zagrożeń dla procesu inkubacji ikry.

Ciekawy objaw kliniczny zaobserwowano u badanego wylęgu łososia oraz wylęgu pstrąga tęczowego, tj. deformacji główek ryb, podobnej do wodogłowie, będącej zapewne konsekwencją obrzęku mózgu. Tłumaczyłoby to obserwowane objawy nerwowe kończące się masowymi śnięciami. Warto zaznaczyć, że analogiczny objaw kliniczny u wylęgu pstrąga tęczowego opisany został przez prof. Antychowicza, jednak powiązano

go z zakażeniem wirusem IHN. Nie wspomniano o badaniach w kierunku saprolegniozy (Antychowicz, 2007).

W aspekcie opisanych powyżej zmian klinicznych, zastanawiający jest moment zakażenia u tak młodej ryby. Z jednej strony należy brać pod uwagę infekcję na etapie inkubacji ikry, jednak wiadomym jest, iż w tym okresie ikra zaatakowana przez Saprolegnię obumiera. Nie dochodzi więc do rozwoju larwy i wylęgu. Nasze badania wykonane zarówno techniką hodowlaną (podłoże YGC), jak i real-time PCR wykazały obecność łęgnowca na ikrze. Wykonaliśmy dodatkowe analizy polegające na detekcji materiału genetycznego *S. parasitica* w materiale pobranym z wnętrza ziarna ikry po uprzedniej dezynfekcji jego powierzchni – wynik okazał się pozytywny. W świetle zaprezentowanych wyników badań nie należy wykluczać możliwości transmisji choroby drogą wertykalną. Na poparcie tej hipotezy nadmienimy, iż ikrę pobierano jałowo, bezpośrednio z jam ciała samic troci i łososia, u których obserwowano typowe i zaawansowane kliniczne objawy saprolegniozy.

Uszkodzenie powłok ciała przez *S. parasitica* jest bardzo groźne dla ryb łososiowatych, gdyż dochodzi do załamania mechanizmów osmoregulacji. Woda wnika do organizmu, rozcieńczając płyny wewnątrzustrojowe, prowadząc do drastycznego spadku ciśnienia osmotycznego krwi. Skutkiem tego stanu rzeczy jest spadek stężenia jonów sodowych i chlorkowych w surowicy krwi, co bezpośrednio prowadzi do śnięcia ryby (Willoughby, 1992). Dlatego tak ważną kwestią jest terapia saprolegniozy.

W przeszłości stosowano różne metody leczenia, głównie wykorzystując zieleń malachitową. Środek ten został zakazany ze względu na jego kancerogenność, mutagenność i teratogenność (Sudova i in., 2007). Obecnie, najczęściej stosowane są kąpiele terapeutyczne ryb w roztworze formaliny, czyli 37-procentowego roztworu formaldehydu (Gieseke i in., 2006; Walser i Phelps, 1994), soli (NaCl) (Ali, 2005), jodoforów (Walser i Phelps, 1994), kwasu borowego (Ali i in., 2014), nadtlenu wodoru (Barnes i in., 1998; Mustafa, 2019) oraz siarczanu miedzi (Sun i in., 2014).

Efekt terapeutyczny formaliny na zakażenie saprolegniozą narybku pstrąga tęczowego badano w schemacie obejmującym jednogodzinną kąpiel wykonywaną co 2 dni, w stężeniach 50, 100 oraz 150 ppm (Gieseke i in., 2006). Otrzymane wyniki wskazały na śmiertelność ryb wynoszącą odpowiednio 35%, 29% i 40%, przy średniej śnięć grupy kontrolnej (nieleczonej) wynoszącej 67%. Dawkę 150 ppm uznano za toksyczną, stąd zauważalny wzrost śmiertelności ryb do 40% (Gieseke i in., 2006). Porównawcze badania efektów terapeutycznych formaliny i jodu przeprowadzono również na ikrze sumika kanatowego (Walser i Phelps, 1994). Formalinę podawano dwa razy dziennie w kąpiele, w stężeniach 100, 200 lub 400 mg/l wykazując jej najskuteczniejsze działanie w stę-

żeniu 400 mg/l, przy odsetku przeżywalności wylęgu wynoszącym 93,7%. Równolegle przeprowadzono badania nad możliwością zastosowania jodu, który podawano dwa razy dziennie w kąpeli, w stężeniach 50, 100 oraz 200 mg/l. Wykazano, że stężenie 200 mg/l zwiększyło odsetek przeżywalności wylęgu jedynie o 28% w porównaniu z grupą kontrolną, a objawy saprolegniozy były widoczne na ikrze wystawionej na działanie wszystkich dawek jodu. Dlatego też formalinę wskazano jako skuteczniejszy środek w zwalczaniu saprolegniozy (Walser i Phelps, 1994). Istnieją jednak obawy dotyczące wpływu formaliny na środowisko i personel obsługujący hodowlę. Obecnie związek ten jest klasyfikowany jako czynnik rakotwórczy 1B przez Komisję Europejską (KE, 2014), co wskazuje, że może zostać zakazany jako środek leczniczy (Lindholm-Lehto i Pyllkkö, 2024).

Spośród obecnie stosowanych metod najmniej szkodliwa jest sól, niemniej jest ona skuteczna tylko w wysokich stężeniach, co praktycznie uniemożliwia stosowanie w systemach stódkowodnych. Woda morska o stężeniu 29 g/l oraz roztwór NaCl o stężeniu 15 g/l wykazywały działanie letalne wobec *Saprolegnia* spp., skutecznie zwalczając saprolegniozę (Pickering, 1994). Ali wskazał, że wysokie stężenia soli (0,07 i 0,1 M) hamowały wzrost i powodowały zaburzenia struktur rozrodczych u łęgniowców (Ali, 2005). Analizowano również synergistyczne działanie soli i kwasu askorbinowego (witaminy C) oraz samego kwasu. Wykazano, że witamina C w niskich stężeniach nie miała wpływu na tworzenie się narządów rozrodczych łęgniowców, natomiast wysokie stężenia całkowicie hamowały ich powstawanie. Synergistyczne działanie z solą znacząco zwiększało produkcję sporangiów (zarodni). Tylko dwa najwyższe stężenia NaCl podawane z 5,68 mM kwasu askorbinowego hamowały tworzenie sporangiów. Reasumując, wzrost *S. parasitica* zmniejszał się wraz ze wzrostem stężeń NaCl i kwasu askorbinowego do 0,14 M (Ali, 2005).

W warunkach in vitro oraz in vivo testowano możliwość zastosowania kwasu borowego. W środowisku laboratoryjnym stężenia powyżej 0,2 g/l zmniejszyły aktywność zarodników *Saprolegnia* przy równoczesnym zahamowaniu wzrostu grzybni; przy stężeniu 0,8 g/l kwas borowy całkowicie hamował kiełkowanie i wzrost grzybni. W eksperymentach in vivo na zaoczkowanej ikrze łososa atlantyckiego testowano stężenia związku od 0,2 do 1,4 g/l podczas ciągłej ekspozycji na jego działanie. Podobny efekt uzyskano podczas ekspozycji przerywanej dla stężeń w zakresie od 1,0 do 4,0 g/l. Analogiczne wyniki odnotowano dla wylęgu leżącego łososa, który był stale narażony na działanie kwasu borowego w stężeniu 0,5 g/l podczas naturalnego zakażenia saprolegniozą (Ali i in., 2014). Należy wspomnieć, że nadmierna ilość kwasu borowego wpływa na integralność DNA, ograniczając wzrost ryb (Öz i in., 2018).

Kolejnym testowanym środkiem polecanym w zwalczaniu saprolegniozy, o minimalnym wpływie na środowisko, był nadtlenek wodoru. Działanie tego związku testowano w czasie inkubacji ikry pstrąga tęczowego poprzez przeprowadzanie codziennych kąpiei trwających 15 min., w stężeniach: 250, 500 i 1000 mg nadtlenu wodoru/l. Wyniki badań wskazały, że dawka 1000 mg/l zapewniała zwalczanie łęgniowców na poziomie podobnym do codziennego stosowania formaliny w dawce 1667 mg/l przez 15 minut (Barnes i in., 1998). Należy ponadto pamiętać, że nadtlenek wodoru może wywoływać niepożądane skutki uboczne, takie jak zahamowanie wzrostu ryb i uszkodzenie skrzel (Mustafa, 2019).

Sun i współpracownicy wykazali skuteczność siarczanu miedzi wobec grzybni i zoospor *S. parasitica* zarówno w badaniach in vitro, jak i in vivo (Sun i in., 2014). Wykazano, że związek ten w stężeniu $\geq 0,5$ mg/l hamował wzrost grzybni, a przy stężeniu $\geq 1,0$ mg/l łęgniowiec nie uwalniał żadnych zoospor. Określono, że 0,5 mg/l siarczanu miedzi może zmniejszyć wskaźnik zakażenia *S. parasitica* w badaniu in vivo. Przedstawione wyniki dowodzą skuteczności działania siarczanu miedzi w zwalczaniu zakażenia *S. parasitica* rekomendując jego stosowanie do walki z saprolegniozą w akwakulturach.

Podsumowanie

Kluczowe znaczenie ma dalsze poszerzanie wiedzy na temat różnorodności genetycznej izolatów *S. parasitica*, ich zjadliwości oraz dróg szerzenia się, ponieważ informacje te są niezbędne do skutecznego zarządzania chorobą. Pomimo przeprowadzenia wielu badań i obserwacji, wciąż niewiele wiemy na temat tego patogenu. Ponadto borykamy się z bardzo poważnymi problemami związanymi z niską skutecznością efektywnej terapii. Przetestowano wiele związków, ale bezpieczny i skuteczny model leczenia saprolegniozy wciąż pozostaje do opracowania. Formalina jest szeroko stosowana, ale nie jest wystarczająco skuteczna, aby kontrolować zakażenia grzybicze u ryb i ikry. Do zwalczania saprolegniozy stosowano także sól, kwas borowy, siarczan miedzi oraz nadtlenek wodoru. Wiele z tych związków budzi obawy dotyczące bezpieczeństwa zarówno ryb, jak i środowiska. Z uwagi na ich drażniące czy wręcz żrące działanie mogą powodować uszkodzenia tkanek. Nie są one także obojętne dla środowiska. Jeśli natomiast nie wpływają znacząco na parametry wody, substancje te wymagają zastosowania w dużych dawkach, co staje się zupełnie niepraktyczne i nieoptyczne. Znalezienie skutecznego i nietoksycznego środka leczniczego jest niezwykle ważne i niezmiernie trudne.

Piśmiennictwo:

- Ali E. H.: Morphological and biochemical alterations of oomycete fish pathogen *Saprolegnia parasitica* as affected by salinity, ascorbic acid and their synergistic action. *Mycopathologia*, 2005, 159, 231– 243.
- Ali S.E., Thoen E., Evensen O., Skaar I.: Boric acid inhibits germination and colonization of *Saprolegnia* spores in vitro and in vivo. *PLoS One*, 2014, 9, e91878.
- Anokina E.P., Tolkacheva A.A., Pryakhina N.A., Syromyatnikov M.Y., Korneeva O.S.: Isolation and identification of *Saprolegnia* spp. from infected sturgeon caviar. *Acta Biol. Sibirica* 2023, 9, 13-21. doi: 10.5281/zenodo.7679902
- Antychowicz J.: Choroby ryb śródlądowych. PWRiL, 2007.
- Barnes, M. E., Ewing, D. E., Cordes, R. J., Young G. L.: Observations on hydrogen peroxide control of *Saprolegnia* spp. during rainbow trout egg incubation. *The Progressive Fish- Culturist*, 1998, 60, 67– 70.
- Buller N.B.: Bacteria and fungi from fish and other aquatic animals. 2nd edition. CABI, 2014.
- Copland J.W., Willoughby L.G.: The pathology of *Saprolegnia* infections of *Anguilla anguilla* L. elvers. *Journal of Fish Diseases*, 1982, 5, 421–428.
- Diéguez-Uribeondo J., Fregeneda-Grandes J.M., Cerenius L., Pérez-Iniesta E., Aller-Gancedo J.M., Tellería M.T., Söderhäll K., Martín M.P.: Re-evaluation of the enigmatic species complex *Saprolegnia diclina*–*Saprolegnia parasitica* based on morphological, physiological and molecular data. *Fungal Genetics and Biology*, 2007, 44(7), 585–601.
- Ghiasi M., Khosravi A.R., Soltani M., Binaii M., Shokri H., Tootian Z., Rostamibashman M., Ebrahimzademosavi H.: Characterization of *Saprolegnia* isolates from Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) eggs based on physiological and molecular data. *Journal de Mycologie Médicale/Journal of Medical Mycology*, 2010, 20(1), 1–7.
- Gieseke C.M., Serfling S.G., Reimschuessel R.: Formalin treatment to reduce mortality associated with *Saprolegnia parasitica* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 2006, 253, 120– 129.
- Korkea-Aho T., Wiklund T., Engblom C., Vainikka A., Viljamaa-Dirks S.: Detection and quantification of the oomycete *Saprolegnia parasitica* in aquaculture environments. *Microorganisms* 10,2186, 2022. doi: 10.3390/microorganisms10112186.
- Lindholm-Lehto P.C., Pylkkö P.: Saprolegniosis in aquaculture and how to control it?. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2024, 4, e200. <https://doi.org/10.1002/aff2.200>

- Mustafa S.: Assessment of hydrogen peroxide on histopathology and survival rate in common carp, *Cyprinus carpio* L. infected with saprolegniasis. The Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 50, 697–704. <https://doi.org/10.36103/ijas.v2i50.669>
- Öz M., Inanan B.E., Dikel S.: Effect of boric acid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance. Journal of Applied Animal Research, 2018, 46, 990–993. Available from: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1450258>
- SaproBal: Shared Approaches and Platform with Resources for Oomycetes diagnostics and surveillance in the Baltic Sea region. Projekt finansowany przez Swedish Institute (SI) w ramach programu Baltic Sea Neighbourhood Programme. 2024.
- Sudova E., Machova J., Svobodova Z., Vesely T.: Negative effects of malachite green and possibilities of its replacement in the treatment of fish eggs and fish: a review. Veterinarni Medicina- Praha, 2007, 52, 527– 539.
- Sun Q., Hu K., Yang X.L.: The efficacy of copper sulfate in controlling infection of *Saprolegnia parasitica*. Journal of the World Aquaculture Society, 2014, 45, 220– 225.
- Pickering A.D.: In Mueller, G.J. (Ed.) Factors which predispose salmonid fish to saprolegniasis. Portland, Oregon: US Department of Energy, Bonneville Power Administration, 1994.
- Rowland S.J., Landos M., Callinan R.B., Allan G., Read P., Misfud C., Nixon M., Boyd P., Tully P.: Development of a health management strategy for the silver perch aquaculture industry. FRDC Project Nos. 2000/267 and 2004/089. NSW Department of Primary Industries, 2010.
- Walser C.A., Phelps R.P.: The use of formalin and iodine to control *Saprolegnia* infections on channel catfish, *Ictalurus punctatus*, eggs. Journal of Applied Aquaculture, 1994, 3, 269– 278.
- Willoughby L.G.: Fungi and Fish. Pices Press, 1994
- Van West P.: *Saprolegnia parasitica*, an oomycete pathogen with a fishy appetite: new challenges for an old problem. Mycologist 2006, 20(3), 99–104.

**Dlaczego dobra pasza psuje wodę?
Rola jakości, pochodzenia i przyswajalności tłuszczów
w nowoczesnej akwakulturze**

Piotr Gomułka

Katedra Ichtiologii i Akwakultury
Wydział Bioinżynierii Zwierząt
Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie
10-701 Al. Warszawska 117A, pgomułka@uwm.edu.pl

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój akwakultury, a szczególnie intensyfikacja produkcji ryb łososiowatych, wymusza coraz bardziej precyzyjne zarządzanie zarówno żywieniem ryb, jak i jakością środowiska, w którym są one utrzymywane. W systemach recyrkulacyjnych (RAS) znaczenie tego problemu jest szczególnie duże, ponieważ ta sama woda jest wielokrotnie wykorzystywana, a składniki wprowadzane wraz z paszą pozostają w obiegu systemu, dopóki nie zostaną zatrzymane, usunięte lub przekształcone w procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych. Pasza jest zatem nie tylko podstawowym źródłem składników pokarmowych niezbędnych do wzrostu ryb, lecz także głównym źródłem materii wprowadzanej do systemu hodowlanego. Znaczenie sposobu żywienia dla ilości i charakteru powstających odpadów zostało wskazane już w pracach dotyczących ograniczania środowiskowych skutków akwakultury (Cho i Bureau, 2001; Amirkolaie, 2011). W przypadku RAS problem ten nabiera dodatkowego znaczenia, ponieważ obciążenie materią organiczną wpływa nie tylko na jakość wody, lecz również na funkcjonowanie poszczególnych etapów jej oczyszczania (Bao i in., 2019).

Efektywność wykorzystania paszy jest zatem jednocześnie zagadnieniem produkcyjnym i środowiskowym. Z punktu widzenia hodowcy istotne są przede wszystkim tempo wzrostu, współczynnik wykorzystania paszy (FCR), przeżywalność i kondycja ryb. Z punktu widzenia funkcjonowania systemu równie ważne jest jednak to, jaka część składników paszy zostaje zatrzymana w biomasie ryb, jaka jest wykorzystywana metabolicznie, a jaka opuszcza organizm wraz z odchodami lub w postaci produktów przemiany materii. Zmniejszenie strawności składników paszy może zwiększać ilość materii organicznej trafiającej do strumienia odpadów, natomiast niezjedzona pasza stanowi dodatkowe, bezpośrednie źródło obciążenia systemu. Z tego względu poprawa strawności

i właściwe bilansowanie paszy należą do podstawowych sposobów ograniczania ilości odpadów powstających w akwakulturze (Cho i Bureau, 2001; Amirkolaie, 2011). Stałe odpady akwakultury, obejmujące przede wszystkim niezjedzoną paszę, kał i inne cząstki organiczne, mogą wpływać na jakość wody, funkcjonowanie urządzeń oczyszczających oraz stabilność całego systemu produkcyjnego (Bao i in. 2019).

W tym kontekście szczególne miejsce zajmują lipidy. Tłuszcz jest jednym z najważniejszych składników energetycznych paszy dla ryb, a jego wysoka wartość energetyczna pozwala na ograniczenie wykorzystania białka jako źródła energii i tym samym sprzyja jego wykorzystaniu do syntezy tkanek. Lipidy są również źródłem niezbędnych kwasów tłuszczowych, składnikami błon komórkowych oraz prekursorami biologicznie aktywnych lipidów. Ich znaczenie żywieniowe nie ogranicza się zatem do dostarczania energii. Z tego względu skład i jakość frakcji lipidowej należą do najważniejszych elementów determinujących wartość biologiczną pasz dla ryb (Tocher, 2003; Glencross, 2009). W przypadku ryb łososiowatych szczególne znaczenie mają długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe, zwłaszcza kwasy z rodziny n-3, w tym EPA i DHA, których znaczenie dla metabolizmu i funkcjonowania organizmu ryb jest dobrze udokumentowane (Tocher, 2003; Glencross, 2009).

Jednocześnie określenie „tłuszcz surowy” obejmuje bardzo zróżnicowaną grupę składników. Olej rybny i oleje roślinne mogą dostarczać podobnej ilości energii, ale różnią się profilem kwasów tłuszczowych, stopniem nasycenia, udziałem długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz właściwościami fizykochemicznymi. Współczesne pasze wykorzystują również inne źródła lipidów, w tym tłuszcze zwierzęce, oleje z mikroalg i innych mikroorganizmów oraz różnego rodzaju produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego. Zastępowanie oleju rybnego alternatywnymi źródłami lipidów jest jednym z ważnych kierunków rozwoju współczesnych pasz, przede wszystkim ze względu na ograniczoną dostępność i koszt surowców pochodzenia morskiego. Jednocześnie zmiana źródła tłuszczu może modyfikować ich dostępność biologiczną oraz sposób ich wykorzystania przez ryby (Turchini i in., 2009; Tocher, 2015).

Sama zawartość tłuszczu w paszy nie jest jednak równoznaczna z ilością tłuszczu wykorzystanego przez rybę. O jego losie decydują między innymi właściwości fizykochemiczne lipidów, długość i stopień nasycenia łańcuchów kwasów tłuszczowych, forma chemiczna lipidów, temperatura wody oraz procesy zachodzące podczas trawienia i absorpcji.

Znaczenie źródła tłuszczu jest widoczne również w badaniach porównujących różne oleje stosowane w paszach dla ryb. Zastąpienie oleju rybnego olejami roślinnymi może prowadzić do zmian zarówno w strawności poszczególnych kwasów tłuszczowych, jak

i w ich odkładaniu w tkankach. Jednocześnie możliwość zastępowania oleju rybnego zależy od gatunku ryby, wieku, temperatury, poziomu lipidów w paszy oraz profilu kwasów tłuszczowych zastosowanego źródła (Turchini i in., 2009; Tocher, 2015). Oznacza to, że dwa źródła tłuszczu zastosowane w paszach o identycznej zawartości lipidów mogą mieć odmienne konsekwencje fizjologiczne, produkcyjne i środowiskowe.

Dla oceny rzeczywistego znaczenia tłuszczu w paszy konieczne jest zatem rozróżnienie co najmniej trzech wielkości: ilości tłuszczu podanego rybie, ilości tłuszczu strawionego i zaabsorbowanego oraz ilości tłuszczu, która pozostaje w strumieniu odpadów. Ta ostatnia frakcja może opuszczać przewód pokarmowy wraz z kałem, podczas gdy dodatkowym źródłem lipidów w wodzie może być niezjedzona pasza. Zależność między strawnością paszy a ilością i charakterystyką powstających odpadów stanowi jeden z podstawowych elementów środowiskowej oceny żywienia ryb (Cho i Bureau, 2001; Amirkolaie, 2011). W przypadku lipidów znaczenie tego mechanizmu jest szczególnie, ponieważ ich wysoka koncentracja energetyczna sprawia, że są one pożądanym składnikiem paszy, ale jednocześnie ich niewykorzystana część może stać się składnikiem organicznego strumienia odpadów.

W systemach recyrkulacyjnych znaczenie ma nie tylko ilość materii organicznej opuszczającej przewód pokarmowy, ale również jej postać i dalsze losy w systemie. Kał i niezjedzona pasza mogą ulegać rozpadowi, a ich składniki mogą być uwalniane do wody. Powstające drobne cząstki organiczne są szczególnie istotne, ponieważ ich usuwanie jest trudniejsze niż usuwanie większych cząstek stałych. W badaniach prowadzonych w RAS z pstrągiem tęczowym wykazano, że drobna materia organiczna i cząstki o małych rozmiarach stanowią dynamiczną frakcję systemu, której ilość zależy od dopływu materiału z paszy, jego przemian oraz skuteczności usuwania (Fernandes i in., 2017). Charakterystyka i skuteczne usuwanie stałych odpadów są zatem istotnymi elementami utrzymania stabilności jakości wody i sprawnego funkcjonowania systemów oczyszczania (Bao i in. 2019).

W przypadku lipidów sytuacja może być jeszcze bardziej złożona. Część tłuszczu znajdującego się w materiale kałowym może pozostawać związana z cząstkami stałymi, część może zostać uwolniona w trakcie rozpadu tych cząstek, a część może występować w postaci drobnych kropelek lub innych form rozproszonych w wodzie. Z punktu widzenia technologii oczyszczania wody istotne jest więc nie tylko to, ile lipidów trafia do systemu, ale również jaka jest ich fizyczna postać, stabilność oraz możliwość usunięcia w pierwszych etapach oczyszczania. W RAS szczególne znaczenie ma ograniczenie transportu drobnej materii organicznej do kolejnych elementów układu, ponieważ materiał ten może być dalej przekształcany biologicznie. Badania nad różnymi konfiguracjami

biofiltrów w RAS z pstrągiem wykazały, że sposób prowadzenia filtracji wpływa na akumulację materii organicznej, wielkość cząstek oraz parametry jakości wody (Fernandes i in., 2017; Attramadal i in., 2019).

Nie oznacza to, że tłuszcz należy traktować jako zanieczyszczenie wody analogiczne do azotu amonowego czy fosforu. Jego znaczenie środowiskowe jest bardziej złożone i wiąże się przede wszystkim z jego udziałem w strumieniu materii organicznej. Lipidy, podobnie jak inne związki organiczne, mogą stanowić substrat dla mikroorganizmów, a ich biologiczny rozkład wiąże się z zapotrzebowaniem na tlen. W systemach RAS szczególnie ważne są relacje pomiędzy mikroorganizmami heterotroficznymi i autotroficznymi zasiedlającymi biofiltry. Dostępność łatwo wykorzystywanego węgla organicznego może sprzyjać rozwojowi heterotrofów, które konkurują z mikroorganizmami nityfikacyjnymi o tlen i przestrzeń w biofilmie. W konsekwencji nadmierne obciążenie biofiltra materią organiczną może wpływać na przebieg nityfikacji (Ling i Chen, 2005; Pedersen i in., 2015).

Znaczenie tego mechanizmu znajduje potwierdzenie w badaniach prowadzonych w systemach RAS. Fernandes i in. (2017) wykazali, że biofiltry uczestniczą w przemianach i retencji drobnej materii organicznej, podkreślając znaczenie równowagi pomiędzy jej dopływem, transformacją i usuwaniem. W badaniach RAS z pstrągiem analizujących różne konfiguracje biofiltrów stwierdzono również różnice w akumulacji substancji organicznych i stężeniu całkowitego węgla organicznego w wodzie w zależności od typu zastosowanego bioreaktora (Attramadal i in., 2019). Szczególnie interesujące są najnowsze wyniki uzyskane w RAS eksploatowanym przy wysokim i niskim obciążeniu zawiesiną. Wysokie stężenie TSS wiązało się ze zwiększoną aktywnością bakterii, zmianami mikrobiomu wody i biofiltra oraz pogorszeniem efektywności nityfikacji, wskazując na znaczenie kumulacji materii organicznej dla stabilności procesów biologicznego oczyszczania (Fernandes i in., 2026).

Zależność pomiędzy składem paszy a jakością wody należy zatem rozpatrywać szerzej niż poprzez prostą ocenę zawartości poszczególnych składników pokarmowych. Istotne jest nie tylko to, ile tłuszczu znajduje się w paszy, ale jaki jest jego rodzaj, jakość, stabilność i strawność oraz jaki los spotyka jego niewykorzystaną część po opuszczeniu przewodu pokarmowego ryby. Właśnie w tym miejscu łączą się dwa obszary, które w praktyce hodowlanej często analizowane są oddzielnie: żywienie ryb oraz funkcjonowanie systemu oczyszczania wody.

Szczególnego znaczenia nabiera to w intensywnej hodowli ryb łososiowatych, gdzie wysoka koncentracja biomasy i duże tempo podawania paszy powodują szybki przepływ materii przez system. Nawet niewielka różnica w strawności składnika, wielokrotniona

przez wielkość produkcji i ilość podawanej paszy, może oznaczać istotny wzrost ilości materii organicznej trafiającej do urządzeń oczyszczających. Z tego względu ocena jakości tłuszczu powinna obejmować nie tylko jego wartość energetyczną i żywieniową, lecz również potencjalne konsekwencje jego wykorzystania lub niewykorzystania dla charakterystyki odchodów, obciążenia systemu mechanicznego usuwania cząstek oraz funkcjonowania biologicznych procesów oczyszczania.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zależności pomiędzy źródłem, jakością i przyswajalnością tłuszczu w paszach dla ryb a ilością i charakterem lipidów trafiających do środowiska wodnego, ze szczególnym uwzględnieniem warunków występujących w intensywniej hodowli ryb łososiowatych i systemach recyrkulacyjnych. Omówiono najważniejsze źródła tłuszczu stosowane w paszach, jego funkcje żywieniowe, kryteria jakości oraz czynniki determinujące jego strawność i wykorzystanie przez ryby. Szczególną uwagę poświęcono następnie losowi niewykorzystanej frakcji lipidowej w wodzie oraz jej potencjalnemu znaczeniu dla procesów mechanicznego i biologicznego oczyszczania wody. Takie ujęcie pozwala spojrzeć na tłuszcz nie tylko jako na wartościowy składnik paszy, lecz również jako na element całego bilansu materii w systemie produkcyjnym.

2. Źródła tłuszczu w paszach dla ryb

Tłuszcz obecny w paszy dla ryb może pochodzić zarówno z surowców, których podstawową funkcją jest dostarczanie lipidów, jak i ze składników, w których tłuszcz występuje naturalnie. W praktyce stosuje się przede wszystkim oleje rybne, oleje roślinne, tłuszcze zwierzęce, oleje i biomasy mikroalgowe oraz, coraz częściej, tłuszcze pochodzące z owadów. Poszczególne źródła różnią się przede wszystkim profilem kwasów tłuszczowych, a więc nie są wzajemnie równoważne z punktu widzenia funkcji żywieniowej. Znaczenie tego problemu wzrosło wraz z ograniczeniem dostępności oleju rybnego i rozwojem alternatywnych źródeł lipidów dla akwakultury (Turchini i in., 2009; Tocher, 2015).

W kontekście niniejszej pracy istotne jest jednak inne spojrzenie na źródła tłuszczu. Ryba otrzymuje bowiem nie „olej rybny”, „olej rzepakowy” czy „tłuszcz owadzi”, lecz określoną mieszaninę lipidów, która po spożyciu podlega trawieniu, absorpcji i metabolizmowi. Część lipidów zostaje wykorzystana przez organizm, natomiast część może pozostać w niestrawionej lub niewchłoniętej frakcji odchodów. Z punktu widzenia systemu RAS oznacza to, że wybór źródła tłuszczu może być jednym z czynników wpływających na charakter materii organicznej trafiającej do obiegu wody. Nie należy jednak utożsamiać tego potencjalnego związku z bezpośrednim dowodem, że określony olej „pogarsza

działanie biofiltra". Badania RAS wskazują natomiast, że zwiększone obciążenie systemu materią organiczną i zawiesiną może ograniczać wydajność biofiltracji i zmieniać strukturę mikrobiomu biofiltra (Keerthisinghe i in., 2019; Calabrese i in., 2026).

2.1. Olej rybny

Olej rybny jest tradycyjnym źródłem lipidów w paszach dla ryb i przez wiele lat stanowił podstawowy sposób dostarczania długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z rodziny n-3, przede wszystkim EPA (20:5n-3) i DHA (22:6n-3). Jego znaczenie w żywieniu ryb wynika więc nie tylko z wysokiej koncentracji energii, ale również z obecności kwasów tłuszczowych, których znaczenie fizjologiczne zostanie omówione w rozdziale 3 (Turchini i in., 2009; Tocher, 2015).

Pod względem właściwości fizycznych olej rybny jest w warunkach typowych dla hodowli ryb łososiowatych cieczą, co wynika przede wszystkim z dużego udziału nienasyconych kwasów tłuszczowych. W temperaturach stosowanych w hodowli pstrąga tęczowego, najczęściej około 7–16°C, typowe oleje rybne pozostają więc w stanie ciekłym, co odróżnia je od bardziej nasyconych tłuszczów o wyższej temperaturze krzepnięcia. Chemicznie oleje rybne składają się przede wszystkim z triacylogliceroli (TAG), w których zestryfikowane są kwasy tłuszczowe, w tym charakterystyczne dla olejów morskich długołańcuchowe PUFA. Mniejsze ilości stanowią fosfolipidy, sterole, wolne kwasy tłuszczowe oraz inne składniki niezmylejące się; ich udział zależy jednak od gatunku ryby i technologii pozyskiwania oraz oczyszczania oleju.

Oleje rybne nie stanowią jednorodnej grupy surowców. Ich właściwości zależą od gatunku ryb, z których są pozyskiwane, ich wieku, płci, sezonu i obszaru połowu, a w przypadku ryb hodowlanych również od składu stosowanej paszy. Szczególnie istotne są różnice w udziale długołańcuchowych kwasów tłuszczowych n-3, przede wszystkim EPA i DHA. Przykładowo, według specyfikacji Codex Alimentarius (Standard for Fish Oils, CXS 329-2017) zawartość EPA w oleju z sardeli może wynosić około 5–26% wszystkich kwasów tłuszczowych, a DHA 4–26,5%, podczas gdy dla oleju z łososia odpowiednie zakresy wynoszą około 6,5–11,5% i 6–14%. Różnice te pokazują, że określenie „olej rybny” nie definiuje jednoznacznie wartości ani właściwości surowca. Potwierdzają to również badania żywieniowe na pstrągu tęczowym, w których oleje z różnych gatunków ryb wykazywały odmienne współczynniki strawności i prowadziły do różnego odkładania kwasów tłuszczowych w tkankach (Caballero i in., 2002). W przypadku oleju z ryb hodowlanych dodatkowym źródłem zmienności jest skład paszy, czego dobrym przykładem jest olej pozyskiwany z hodowlanego pstrąga tęczowego, którego profil kwasów tłuszczowych zmieniał się wraz z wiekiem i płcią ryb (Satué i in., 1994).

Istotną cechą olejów pochodzenia morskiego jest również możliwość występowania w nich zanieczyszczeń lipofilnych. Suominen i in. (2011), analizując próbki mączki rybnej, oleju rybnego i pasz, wykryli m.in. PCDD/F, PCB, PBDE, związki organocynowe i PFAS; stężenia różniły się znacznie pomiędzy próbkami, co wskazywało na znaczenie pochodzenia i czystości surowców pochodzenia morskiego. W analizowanych próbkach poziomy PCDD/F i PCB były niższe od obowiązujących wówczas limitów. Jest to ważne rozróżnienie: obecność potencjalnych zanieczyszczeń nie oznacza automatycznie, że olej rybny stanowi zagrożenie, ale uzasadnia kontrolę jego pochodzenia i jakości (Suominen i in., 2011).

2.2 Oleje roślinne

Oleje roślinne stały się najważniejszą grupą alternatywnych źródeł lipidów stosowanych w paszach dla ryb. Ich znaczenie wynika przede wszystkim z dużej dostępności i możliwości produkcji na skalę przemysłową. Do najczęściej badanych i stosowanych należą oleje sojowy, rzepakowy, lniany, słonecznikowy, palmowy i oliwa z oliwek (Turchini i in., 2009; Tocher, 2015).

Oleje roślinne stosowane w paszach dla ryb chemicznie są również przede wszystkim mieszaninami triacylogliceroli (TAG), natomiast ich właściwości fizyczne i skład kwasów tłuszczowych mogą znacznie różnić się pomiędzy poszczególnymi źródłami. Oleje takie jak rzepakowy, sojowy, słonecznikowy czy lniany pozostają ciekłe w zakresie temperatur typowych dla hodowli pstrąga, co jest związane z wysokim udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych. Wyjątek stanowią oleje o większym udziale kwasów nasyconych, przede wszystkim olej palmowy, którego właściwości fizyczne są wyraźnie odmienne od olejów bogatych w PUFA. Różnice dotyczą również profilu kwasów tłuszczowych: olej rzepakowy jest stosunkowo bogaty w kwas oleinowy (18:1n-9) i zawiera zarówno kwas linolowy (18:2n-6), jak i α -linolenowy (18:3n-3), olej sojowy charakteryzuje się większym udziałem PUFA, szczególnie kwasu linolowego, natomiast olej lniany jest wyjątkowo bogaty w kwas α -linolenowy. Olej palmowy wyróżnia się natomiast większym udziałem kwasów nasyconych, przede wszystkim palmitynowego, co wpływa również na jego właściwości fizyczne w niskiej temperaturze. W typowych, rafinowanych olejach roślinnych frakcje inne niż TAG – przede wszystkim fosfolipidy, wolne kwasy tłuszczowe, mono- i diacyloglicerole, sterole oraz składniki niezmydlające się – występują w znacznie mniejszych ilościach, chociaż ich udział może się zwiększać w produktach ubocznych rafinacji lub olejach poddanych modyfikacji technologicznej.

Ng i in. (2003) badali wpływ udziału oleju palmowego w paszy oraz temperatury wody na strawność lipidów u pstrąga tęczowego. Zwierzęta otrzymywały diety zawierające 0, 5, 10 lub 20% oleju palmowego, a doświadczenia prowadzono przy temperaturze

7, 10 i 15°C. Strawność tłuszczu wzrastała wraz ze wzrostem temperatury i zmniejszeniem udziału oleju palmowego. Autorzy stwierdzili również, że strawność poszczególnych kwasów tłuszczowych zmniejszała się wraz ze wzrostem ich nasycenia i długości łańcucha. Zatem tłuszcze zawierające długołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe są gorzej przyswajane przez ryby szczególnie w niskich temperaturach

Zastąpienie oleju rybnego olejem bawełnianym, rzepakowym lub ich mieszaninami pozwalało utrzymać wyniki wzrostowe pstrąga, ale prowadziło do wyraźnego zmniejszenia zawartości wysoko nienasyconych kwasów tłuszczowych w tkankach. Dwunastotygodniowe ponowne żywienie paszą zawierającą olej rybny poprawiało zawartość EPA i DHA, ale pełna odbudowa wcześniejszego profilu n-3 HUFA wymagała dłuższego okresu (Yıldız i in., 2018).

Określenie „olej roślinny” nie oznacza zatem jednej funkcjonalnie równoważnej grupy lipidów: różnice w stopniu nasycenia, profilu kwasów tłuszczowych i właściwościach fizycznych mogą wpływać zarówno na sposób wykorzystania tłuszczu przez rybę, jak i na charakter frakcji, która pozostaje niewykorzystana.

2.3. Tłuszcze zwierzęce

Do alternatywnych źródeł lipidów należą również tłuszcze pochodzenia zwierzęcego, takie jak smalec, tój czy tłuszcz drobiowy. Ich zastosowanie w paszach wynika przede wszystkim z wysokiej koncentracji energii, dostępności i ceny surowca.

Tłuszcze zwierzęce stosowane w paszach są, podobnie jak oleje rybne i roślinne, zdominowane przez triacyloglicerole (TAG), jednak ich profil kwasów tłuszczowych jest na ogół przesunięty w kierunku kwasów nasyconych i jednonienasyconych. Właściwości fizyczne poszczególnych tłuszczów zależą przy tym od gatunku zwierzęcia i tkanki, z której są pozyskiwane. Łój wołowy, charakteryzujący się większym udziałem kwasów nasyconych, zwłaszcza palmitynowego (16:0) i stearynowego (18:0). Zaczyna krzepnąć w temperaturze około 40–48°C, a w pełni twardą, stałą postać uzyskuje poniżej 30°C. W temperaturach typowych dla hodowli pstrąga jest zatem ciałem stałym. Smalec wieprzowy zawiera więcej kwasów jednonienasyconych, przede wszystkim oleinowego (18:1n-9), dlatego jego temperatura topnienia jest niższa niż tój. Jeszcze bardziej nienasycony może być tłuszcz drobiowy, którego profil zależy w znacznym stopniu od gatunku ptaka oraz jego żywienia. W konsekwencji określenie „tłuszcz zwierzęcy” obejmuje surowce o bardzo różnym zachowaniu fizycznym w niskiej temperaturze. W porównaniu z olejem rybnym tłuszcze zwierzęce zawierają na ogół znacznie mniej EPA i DHA, dlatego ich zastosowanie w paszy pełni przede wszystkim funkcję wysokoenergetycznego źródła lipidów, a nie źródła długołańcuchowych PUFA n-3. W badaniach na pstrągu tęczowym zastąpienie części oleju rybnego smalcem pozwalało utrzymać wzrost ryb,

lecz zmieniało skład kwasów tłuszczowych tkanek; podobnie całkowite zastąpienie oleju z wątroby dorsza łojem wołowym, tłuszczem gęsim lub tłuszczem z ogona owczego nie pogarszało wzrostu w krótkotrwałym doświadczeniu, ale prowadziło do wyraźnych zmian profilu kwasów tłuszczowych ryb. W doświadczeniu Caballero i in. (2002) smalec był jednym z alternatywnych źródeł lipidów testowanych u pstrąga obok olejów sojowego, rzepakowego, palmowego i oliwy. Badanie potwierdziło możliwość znacznego ograniczenia udziału oleju rybnego bez pogorszenia wzrostu, przy jednoczesnych zmianach strawności i składu kwasów tłuszczowych tkanek.

W przypadku tłuszczów zwierzęcych szczególne znaczenie może mieć ich pochodzenie i sposób pozyskania. Są one bowiem często produktami ubocznymi przemysłu spożywczego. Z punktu widzenia gospodarki surowcowej może to być zaletą, ponieważ umożliwia zagospodarowanie produktów ubocznych, ale jednocześnie wymaga odpowiedniej kontroli jakości surowca.

2.4. Oleje mikroalgowe i inne źródła mikrobiologiczne

Jedną z najważniejszych nowych grup źródeł lipidów są oleje produkowane przez mikroorganizmy, w tym mikroalgi oraz organizmy należące do thraustochytridów. Ich szczególne znaczenie wynika z możliwości produkcji długołańcuchowych kwasów tłuszczowych n-3 bez konieczności pozyskiwania ich bezpośrednio z ryb morskich (Tocher, 2015).

W przeciwieństwie do większości olejów roślinnych niektóre oleje mikrobiologiczne mogą dostarczać znacznych ilości DHA i/lub EPA. Santigosa i in. (2020) oceniali u pstrąga tęczowego nowy olej pochodzenia morskiego zawierający zarówno EPA, jak i DHA. Autorzy stwierdzili możliwość zastosowania tego oleju w paszy przy jego udziale sięgającym 10%, bez pogorszenia jej smakowitości, oraz wykazali jego przydatność jako źródła długołańcuchowych kwasów tłuszczowych n-3.

Innym tańszym podejściem jest wykorzystanie całej biomasy mikroalgalnej bez kosztownej rafinacji oleju. Serrano i in. (2021) badali częściowe zastąpienie oleju rybnego przez *Schizochytrium limacinum* i *Nannochloropsis oceanica* w paszach dla pstrąga tęczowego. Istotną różnicą pomiędzy olejem mikroalgalnym a biomasą mikroalgalną jest nie tylko stopień koncentracji lipidów, ale również ich forma występowania w komórce. W rafinowanych olejach z mikroalg olejowych, takich jak *Schizochytrium* spp., dominują lipidy neutralne, przede wszystkim triacyloglicerole; w analizowanych olejach TAG stanowiły około 94% całkowitej frakcji lipidowej, a DHA około 45% wszystkich kwasów tłuszczowych (Shen i in. 2024). W całej biomasie mikroalgalnej proporcje te mogą być jednak zasadniczo odmienne. Przykładowo w biomasie *Nannochloropsis* lipidy neutralne stanowiły około 53% lipidów, podczas gdy glikolipidy i fosfolipidy odpowiednio

32,8% i 14,2%; co szczególnie istotne, około 85% EPA występowało w lipidach polarnych (Callejón i in. 2020). Oznacza to, że podanie rybie biomasy mikroalgalnej nie jest równoważne podaniu tej samej ilości wyekstrahowanego oleju. W pierwszym przypadku ryba otrzymuje mieszaninę TAG, fosfolipidów i glikolipidów zamkniętych w strukturze komórkowej, wraz z białkiem, węglowodanami, minerałami i innymi składnikami biomasy; w drugim — przede wszystkim skoncentrowaną frakcję TAG. Różnica ta może mieć znaczenie dla dostępności lipidów i poszczególnych kwasów tłuszczowych w przewodzie pokarmowym, a w konsekwencji również dla ilości i charakteru lipidowej frakcji wydalanej do wody.

2.5. Tłuszcze z owadów

Kolejnym rosnącym źródłem lipidów są owady, przede wszystkim *Hermetia illucens* (mucha czarna, black soldier fly). W tym przypadku zainteresowanie wynika nie tylko z wartości energetycznej tłuszczu, lecz również z możliwości wykorzystania owadów w systemach produkcji opartych na zagospodarowaniu produktów ubocznych i materiałów organicznych.

Tłuszcz owadzi wyróżnia się na tle większości tradycyjnych źródeł lipidów specyficznym profilem kwasów tłuszczowych, a jego właściwości zależą w dużym stopniu od gatunku owada i składu podłoża, na którym był on hodowany. W przypadku larw *Hermetia illucens* tłuszcz jest zdominowany przez triacyloglicerole, przy czym w analizowanym tłuszczu ich udział może przekraczać 99% całkowitej frakcji lipidowej, podczas gdy fosfolipidy, diacyloglicerole i inne klasy lipidów występują w ilościach śladowych. Charakterystyczną cechą tłuszczu *H. illucens* jest bardzo wysoki udział kwasu laurynowego (12:0); w oleju zastosowanym w doświadczeniu na pstrągu tęczowym stanowił on 40,1% wszystkich kwasów tłuszczowych, podczas gdy kwas oleinowy stanowił 12,0%, palmitynowy 13,1%, a stearynowy 2,12% (Fawole i in. 2021). W tym samym oleju udział kwasu linolowego wynosił zaledwie 0,01%, co wyraźnie odróżnia tłuszcz owadzi od olejów sojowego czy rzepakowego. Tak wysoka zawartość kwasu laurynowego wpływa również na właściwości fizyczne tłuszczu. W zależności od sposobu jego pozyskania temperatura topnienia tłuszczu *H. illucens* wynosi około 20–26°C, a więc jest znacznie wyższa od temperatury wody typowej dla intensywnej hodowli pstrąga. Oznacza to, że nierafinowany lub niewłaściwie frakcjonowany tłuszcz z *H. illucens* może w temperaturze 7–15°C występować w znacznej części jako tłuszcz stały, w przeciwieństwie do większości olejów rybnych i wielu olejów roślinnych. Właściwości tłuszczu można modyfikować poprzez frakcjonowanie; np. usunięcie frakcji bogatej w trilaurynę obniżało temperaturę topnienia oleju *H. illucens* do około 20°C.

Tłuszcz mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*) pod względem składu kwasów tłuszczowych przypomina bardziej niektóre oleje roślinne niż tłuszcze zwierzęce o wysokim stopniu nasycenia. Podobnie jak inne tłuszcze owadzie, jest zdominowany przez triacyloglicerole, natomiast pozostałe klasy lipidów występują w znacznie mniejszych ilościach. W analizowanym oleju z larw *T. molitor* kwasy nienasycone stanowiły około 66–74% wszystkich kwasów tłuszczowych, a największy udział miał kwas oleinowy (18:1n-9), stanowiący około 44,5–48,7%, następnie kwas linolowy (18:2n-6) – około 19,5–25,1%, oraz kwas palmitynowy (16:0) – około 16–18%. Kwas laurynowy, charakterystyczny dla tłuszczu *Hermetia illucens*, występował jedynie w ilości około 0,3% (Kim i Oh, 2022). W rezultacie tłuszcz mącznika ma znacznie bardziej nienasycony charakter niż tłuszcz *H. illucens*, a jego właściwości fizyczne są odpowiednio odmienne. Dostępne dane dotyczące właściwości fizykochemicznych oleju *T. molitor* wskazują na jego stosunkowo niską temperaturę przejścia ze stanu stałego do ciekłego. W konsekwencji część tłuszczu z mącznika może pozostawać płynna w temperaturach typowych dla hodowli pstrąga.

W przypadku tłuszczów owadzych szczególnie istotna jest zmienność wynikająca z gatunku owada oraz warunków jego produkcji (podłoża hodowlanego).

3. Rola tłuszczu w żywieniu ryb

Tłuszcze należą do najważniejszych składników energetycznych paszy dla ryb. Ich znaczenie wynika przede wszystkim z bardzo wysokiej wartości energetycznej – około 38,5 kJ energii brutto na gram, podczas gdy białko dostarcza około 23,6 kJ/g, a węglowodany około 17,3 kJ/g. Dzięki temu zwiększenie udziału dobrze przyswajalnego tłuszczu w paszy pozwala dostarczyć rybie dużą ilość energii przy stosunkowo niewielkiej masie pobranej paszy. Ma to szczególne znaczenie w żywieniu ryb mięsożernych, w tym łososiowatych, których zdolność do wykorzystania węglowodanów jest ograniczona w porównaniu z gatunkami wszystkożernymi (Glencross 2009).

3.1. Tłuszcz jako źródło energii

Podstawową funkcją tłuszczu w paszy jest dostarczanie energii potrzebnej do utrzymania metabolizmu, aktywności ruchowej, wzrostu oraz syntezy nowych tkanek. W przeciwieństwie do białka, którego aminokwasy są potrzebne przede wszystkim do budowy i odnowy tkanek, energia pochodząca z lipidów może być wykorzystana do pokrycia znacznej części potrzeb energetycznych organizmu. W konsekwencji większa dostępność energii z tłuszczu może ograniczać wykorzystywanie aminokwasów jako substratów energetycznych. Zjawisko to określane jest jako *protein-sparing effect*, czyli oszczędzanie białka przez tłuszcz. W doświadczeniach na pstrągu tęczowym wykazano,

że zwiększenie udziału energii z lipidów poprawiało wykorzystanie białka i jego retencję w organizmie (Reinitz i in. 1978).

Mechanizm ten ma bardzo praktyczne znaczenie w produkcji pstrąga. Białko paszy jest zazwyczaj jej najdroższym składnikiem, a jego wykorzystanie do produkcji energii oznacza jednocześnie mniejszą efektywność wykorzystania aminokwasów do syntezy białka ryby. Odpowiednio dobrany poziom tłuszczu może zatem poprawiać wykorzystanie białka, wzrost i współczynnik wykorzystania paszy. W doświadczeniu Chen i in. (2023), obejmującym diety zawierające 4, 9 i 14% tłuszczu oraz 44 lub 49% białka, zwiększenie poziomu lipidów przy stałej zawartości białka zwiększało przyrost masy, retencję białka i *protein efficiency ratio* oraz poprawiało FCR (Chen i in. 2023).

Nie oznacza to jednak, że im więcej tłuszczu, tym lepiej. Zdolność ryby do wykorzystania energii jest ograniczona, a zwiększanie koncentracji energii paszy może zmieniać pobranie paszy i prowadzić do zwiększonego odkładania lipidów w organizmie. W badaniach na pstrągu wykazywano dodatnią zależność między poziomem tłuszczu w paszy a zawartością tłuszczu w ciele ryb. Przy nadmiernym pobraniu energii dochodzi do odkładania lipidów w wątrobie i tkance trzewnej (Eya i in. 2013).

3.2. Tłuszcz jako źródło niezbędnych kwasów tłuszczowych

Drugą, niezależną od funkcji energetycznej rolę lipidów jest dostarczanie niezbędnych kwasów tłuszczowych (EFA, essential fatty acids). Ryby, podobnie jak inne kręgowce, mają ograniczoną zdolność syntezy niektórych kwasów tłuszczowych i dlatego muszą otrzymywać je z paszą. U ryb łososiowatych szczególne znaczenie mają wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodzin n-3 i n-6. Historyczne doświadczenia na pstrągu tęczowym wykazały, że brak odpowiednich kwasów tłuszczowych prowadzi do zmian w profilu lipidowym tkanek, natomiast ich obecność w diecie wpływa na skład fosfolipidów błon komórkowych (Castel i in. 1972).

W przypadku ryb łososiowatych szczególne znaczenie mają długołańcuchowe PUFA n-3, przede wszystkim EPA (20:5n-3) i DHA (22:6n-3). Są one nie tylko składnikami lipidów strukturalnych, ale uczestniczą również w regulacji procesów fizjologicznych. Ich znaczenie wynika m.in. z udziału w budowie błon komórkowych oraz w syntezie lipidowych mediatorów odpowiedzi fizjologicznej. Znaczenie odpowiedniego zaopatrzenia ryb w te kwasy jest szczególnie duże ze względu na ograniczoną możliwość ich endogennej syntezy u wielu gatunków ryb morskich i słodkowodnych, choć zdolność ta różni się między gatunkami i zależy m.in. od stadium rozwojowego i temperatury (FAO 1980).

Znaczenie źródła lipidów staje się tutaj szczególnie wyraźne. Olej rybny dostarcza bezpośrednio EPA i DHA, podczas gdy wiele olejów roślinnych dostarcza przede wszystkim kwasów C18, takich jak kwas α -linolenowy (18:3n-3) i linolowy (18:2n-6).

Ryba może w pewnym zakresie przekształcać krótsze PUFA do długołańcuchowych form, ale zdolność ta nie jest wystarczająca, aby traktować wszystkie źródła tłuszczu jako równoważne. Najnowsza metaanaliza badań na pstrągu tęczowym obejmująca 119 diet z 29 doświadczeń wykazała, że zawartość EPA i DHA w paszy była dobrym predyktorem ich odkładania w mięśniach, natomiast zastępowanie oleju rybnego lipidami pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego nie prowadziło do równoważnego transferu długołańcuchowych PUFA do tkanek.

3.3. Lipidy jako element struktur komórkowych

Tłuszcz w organizmie ryby nie jest wyłącznie materiałem energetycznym. Lipidy, przede wszystkim fosfolipidy i cholesterol, są podstawowymi składnikami błon komórkowych i organelli. Ich skład decyduje m.in. o płynności, przepuszczalności i właściwościach funkcjonalnych błon. Szczególne znaczenie mają tutaj PUFA, których wysoki stopień nienasycenia umożliwia utrzymanie odpowiednich właściwości błon w niskiej temperaturze otoczenia. Jest to szczególnie istotne u ryb łososiowatych, których metabolizm zachodzi w temperaturach znacznie niższych niż temperatura ciała zwierząt stałocieplnych.

3.4. Tłuszcz a wykorzystanie innych składników pokarmowych

Odpowiednia ilość lipidów w paszy wpływa również na wykorzystanie innych składników pokarmowych. Wysoka koncentracja energii pozwala ograniczyć udział białka wykorzystywanego jako substrat energetyczny, ale efekt ten zależy od bilansu energii i białka całej diety. W badaniach na pstrągu zwiększenie poziomu lipidów przy odpowiednim poziomie białka prowadziło do zwiększenia retencji białka, podczas gdy nadmierna podaż energii sprzyjała odkładaniu tłuszczu w organizmie (Reinitz i in. 1978).

Jest to szczególnie ważne przy interpretacji FCR. Sama poprawa FCR po zwiększeniu udziału tłuszczu nie musi oznaczać proporcjonalnego zwiększenia produkcji białka ryby. Część dodatkowej energii może zostać przeznaczona na odłożenie lipidów. Dlatego ocena wartości tłuszczu powinna uwzględniać nie tylko wzrost i FCR, ale również retencję białka, skład ciała oraz wykorzystanie energii. Wysoka koncentracja energii paszy jest korzystna tylko wtedy, gdy odpowiada rzeczywistym potrzebom metabolicznym ryby.

3.5. Tłuszcz jako nośnik witamin i innych związków lipofilnych

Lipidy pełnią również funkcję rozpuszczalnika i nośnika związków lipofilnych, w tym witamin A, D, E i K oraz innych bioaktywnych składników. Ich obecność w diecie umożliwia prawidłowe wchłanianie i transport tych związków. Jednocześnie tłuszcz jest substratem procesów utleniania, dlatego jego stan oraz obecność naturalnych lub do-

danych przeciwutleniaczy mogą wpływać na stabilność nie tylko samej frakcji lipidowej, ale również składników odżywczych rozpuszczalnych w tłuszczach.

4. Jakość tłuszczu

4.1. Jakość tłuszczu jako cecha surowca paszowego

Wartość tłuszczu jako składnika paszy nie zależy wyłącznie od jego ilości ani od profilu kwasów tłuszczowych. Równie istotny jest stan chemiczny lipidów w momencie ich wprowadzenia do paszy oraz zmiany zachodzące podczas produkcji i przechowywania. Tłuszcz świeży i tłuszcz, który uległ częściowemu utlenieniu lub hydrolizie, mogą mieć podobną zawartość lipidów oznaczaną analitycznie, ale nie są równoważne pod względem wartości żywieniowej. Problem ten jest szczególnie istotny w paszach dla ryb, ponieważ stosowane w nich oleje często zawierają znaczne ilości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, podatnych na reakcje degradacyjne (FAO, 1980).

W kontekście niniejszej pracy jakość tłuszczu należy więc rozpatrywać jako zespół właściwości decydujących o tym, czy dostarczony lipid zachowuje swoją wartość żywieniową oraz w jakim stanie opuszcza paszę, jeżeli nie zostanie wykorzystany przez rybę. Ma to znaczenie szczególne w systemach RAS. Tłuszcz, który uległ degradacji jeszcze przed pobraniem paszy, może mieć inną wartość metaboliczną niż tłuszcz świeży, natomiast produkty jego przemian mogą wpływać na właściwości cząstek paszy i odchodów. Nie należy jednak utożsamiać tych zjawisk automatycznie z pogorszeniem jakości wody – bezpośredni wpływ lipidów na system oczyszczania będzie przedmiotem rozdziału 6.

4.2. Utlenianie lipidów – najważniejszy problem jakościowy

Najważniejszym procesem pogarszającym jakość tłuszczów stosowanych w paszach jest utlenianie lipidów. Proces ten jest szczególnie intensywny w przypadku kwasów wielonienasyconych. W uproszczeniu można go podzielić na trzy etapy: inicjację, propagację i terminację. W pierwszym etapie powstają rodniki lipidowe, które następnie reagują z tlenem, prowadząc do powstawania nadtlenków i wodoronadtlenków lipidowych. Produkty pierwotnego utleniania są jednak niestabilne i ulegają dalszym przemianom, prowadząc do powstawania m.in. aldehydów, ketonów i innych produktów wtórnego utleniania (FAO, 1980).

Szybkość tych procesów zależy od wielu czynników. Szczególne znaczenie mają stopień nasycenia kwasów tłuszczowych, temperatura, dostęp tlenu, światło, obecność wody oraz metali przejściowych, takich jak żelazo i miedź. Z tego względu oleje bogate w EPA i DHA są szczególnie podatne na degradację oksydacyjną. Znaczenie ma również sposób przetwarzania surowca i późniejsze warunki przechowywania (FAO 1980).

Jest to istotne w kontekście rozdziału 2. Źródło tłuszczu determinuje nie tylko jego skład odżywczy, ale również jego podatność na utlenianie. Olej rybny bogaty w EPA i DHA będzie z zasady bardziej podatny na utlenianie niż tłuszcz o większym udziale kwasów nasyconych, natomiast oleje roślinne bogate w kwas linolowy lub α -linolenowy również wymagają ochrony przed utlenianiem. W praktyce nie można zatem oceniać stabilności oleju wyłącznie na podstawie jego pochodzenia.

4.3. Produkty pierwotnego i wtórnego utleniania

Ocena jakości komponentów tłuszczowych w paszach dla ryb, ze szczególnym uwzględnieniem gatunków wysoce wrażliwych na stres oksydacyjny, takich jak pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*), opiera się na korelacji trzech kluczowych wskaźników chemicznych: liczby kwasowej (AV – Acid Value), liczby nadttlenkowej (PV – Peroxide Value) oraz liczby p-anizydynowej (p-AV – p-Anisidine Value). Liczba kwasowa jest wskaźnikiem stopnia hydrolizy lipidów i zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, których powstawaniu sprzyjają m.in. obecność wilgoci oraz aktywność enzymów lipolitycznych (Hag i in. 2017). Z kolei parametry PV i p-AV pozwalają monitorować pełen cykl autooksydacji kwasów tłuszczowych (Schaich 2016). PV określa stężenie pierwotnych wodoronadtlenków, które dominują w początkowej fazie jęłczenia. Są to struktury nie trwałe i ulegają dalszemu rozpadowi i przemianom chemicznym. p-AV mierzy obecność wtórnych, wysoce stabilnych i toksycznych aldehydów (głównie 2-alkenali i 2,4-dienali) oraz ketonów. Najbardziej kompleksowym odzwierciedleniem całkowitego stopnia jęłczenia tłuszczu jest indeks utlenienia całkowitego TOTOX ($TOTOX = 2 \times PV + p-AV$) (Shahidi i Zhong 2015). TOTOX pozwala umownie sklasyfikować surowiec na trzy klasy jakości: Klasę I (Premium; $TOTOX < 15$), Klasę II (Akceptowalną; $TOTOX 15-26$) oraz Klasę III (Zdegradowaną; $TOTOX > 26$). Należy zaznaczyć, że wartości powyższe dotyczą wyłącznie oleju (zalecenia branży producentów oleju) a nie pasz dla ryb.

Badania screeningowe wskazują, że komercyjne oleje rybne charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem jakości oksydacyjnej. W analizie ponad 1900 próbek olejów rybnych pochodzących z rynku 13,9% próbek miało liczbę nadttlenkową przekraczającą 5 meq O_2 /kg, a 2,2% przekraczało 10 meq O_2 /kg. Liczba kwasowa przekraczała 3 mg KOH/g w 2,1% próbek, natomiast wśród olejów niearomatyzowanych p-AV przekraczała 20 w 6,1% próbek, a 30 w 3,8%. Wartość TOTOX przekraczała 26 w 8,8% analizowanych olejów (De Boer i in., 2018). Autorzy porównali oleje rybne z innymi olejami. Mediana PV oleju rybnego była podobna do mediany dla oleju algowego i słonecznikowego, natomiast jego mediana AV była podobna do oleju algowego i oliwy extra virgin. Olej rybny miał przy tym około 3,4-krotnie większą medianę AV niż olej słonecznikowy, ale aż

11,9-krotnie niższą niż olej z kryla. Dane te pokazują, że na rynku komercyjnym występuje grupa olejów o wyraźnie podwyższonym stopniu degradacji lipidów.

4.3.1. Skutki fizjologiczne i patomorfologiczne u pstrąga tęczowego

Doświadczenia na pstrągu tęczowym wykazały, że skarmianie pasz zawierających silnie utleniony olej rybny może prowadzić do zaburzeń statusu antyoksydacyjnego organizmu, w tym obniżenia zasobów witaminy E i zwiększenia podatności erytrocytów na hemolizę (Hung i in., 1981), a przy wyższym stopniu utlenienia również do zmian hematologicznych i histopatologicznych (Moccia i in., 1984). Szczególnie wyraźnym następstwem długotrwałego skarmiania jełczatej paszy może być lipidowa degeneracja wątroby (ceroidoza), której występowanie u pstrąga wiązano z obecnością produktów degradacji lipidów i któremu można było przeciwdziałać poprzez odpowiednią ochronę antyoksydacyjną paszy (Smith, 1979). Utlenienie lipidów może również wpływać na wykorzystanie tłuszczu w przewodzie pokarmowym i jego metabolizm, chociaż dostępne wyniki nie wskazują jednoznacznie, że uszkodzenie struktury jelita jest uniwersalnym następstwem podawania utlenionego oleju. W jednym z nowszych doświadczeń na pstrągu, pomimo zastosowania utlenionego oleju rybnego, nie stwierdzono istotnych zmian histopatologicznych jelita (Rahimnejad i in., 2021). Wskazuje to, że skutki żywieniowe degradacji lipidów zależą nie tylko od obecności produktów utleniania, lecz również od ich stężenia, czasu ekspozycji oraz poziomu ochrony antyoksydacyjnej całej diety.

Negatywne konsekwencje pogorszenia jakości lipidów mogą obejmować również efektywność wykorzystania paszy oraz jakość surowca rybnego. Produkty utleniania lipidów mogą wpływać na właściwości sensoryczne i stabilność oksydacyjną mięsa ryb, a stopień podatności tkanki mięśniowej na dalsze utlenianie jest częściowo determinowany składem lipidowym diety oraz poziomem ochrony antyoksydacyjnej. U pstrąga tęczowego wykazano, że poziom witaminy E w paszy wpływa na jej akumulację w mięśniach i istotnie zwiększa stabilność oksydacyjną lipidów filetów, co znalazło również odzwierciedlenie w ocenie organoleptycznej mięsa (Frigg i in., 1990). Wykazano ponadto, że skład lipidowy diety może modyfikować podatność mięśni pstrąga na peroksydację lipidów (Regost i in., 1999).

4.3.2. Metodyka analityczna oznaczania wskaźników

Oznaczenia laboratoryjne parametrów AV, PV oraz p-AV wykonuje się dla wyekstrahowanej z paszy frakcji tłuszczowej lub dla surowego tłuszczu z wykorzystaniem zunifikowanych procedur analitycznych.

1. Liczba kwasowa (AV): oznaczana metodami miareczkowymi lub potencjometrycznymi zgodnie z PN-EN ISO 660:2020. W metodzie miareczkowej próbkę tłuszczu rozpuszcza się w odpowiednim, zneutralizowanym układzie rozpuszczalników,

a obecne kwasy miareczkuje mianowanym roztworem KOH lub NaOH. Wynik wyraża się jako mg KOH potrzebnych do zobojętnienia kwasów zawartych w 1 g próbki (mg KOH/g). Należy przy tym pamiętać, że metoda oznacza całkowitą kwasowość i nie jest specyficzna wyłącznie dla wolnych kwasów tłuszczowych.

2. Liczba nadtlenkowa (PV): oznaczana metodą jodometryczną zgodnie z PN-EN ISO 3960:2017. Nadtlenki obecne w próbce utleniają jony jodkowe do jodu, który następnie miareczkuje się mianowanym roztworem tiosiarczanu sodu. Wynik wyraża się w milirównoważnikach aktywnego tlenu na kilogram tłuszczu (meq O₂/kg). PV jest parametrem dynamicznym, którego wartość zależy od historii próbki i przebiegu procesu oksydacji.
3. Liczba p-anizydynowa (p-AV): oznaczana metodą spektrofotometryczną zgodnie z PN-EN ISO 6885:2016. Metoda polega na reakcji p-anizydyny z wtórnymi produktami utleniania lipidów, przede wszystkim aldehydami α,β -nienasyconymi, w środowisku kwasu octowego. Powstające produkty reakcji zwiększają absorbancję przy długości fali 350 nm, którą oznacza się spektrofotometrycznie. Wskaźnik p-AV definiuje się jako 100-krotność wzrostu absorbancji, mierzonego przy 350 nm w kuwecie o drodze optycznej 10 mm, w warunkach określonych w normie.

5. Przyswajalność tłuszczu z pasz

W poprzednich rozdziałach przedstawiono różnorodność źródeł tłuszczu wykorzystywanych w paszach dla ryb oraz znaczenie jego jakości chemicznej i oksydacyjnej. Z punktu widzenia praktyki żywieniowej sama zawartość tłuszczu w paszy nie jest jednak wystarczającą informacją do oceny jego rzeczywistej wartości dla ryby. O znaczeniu danego źródła lipidów decyduje bowiem nie tylko ilość dostarczonego tłuszczu, lecz również jego strawność i przyswajalność, zależne m.in. od struktury lipidów, profilu kwasów tłuszczowych, stopnia nasycenia, właściwości fizycznych tłuszczu, poziomu włączenia do paszy oraz warunków panujących w przewodzie pokarmowym. Badania na pstrągu tęczowym pokazują, że nawet przy izolipidowych dietach różne źródła tłuszczu mogą charakteryzować się odmiennym współczynnikiem pozornej strawności lipidów (ADC), a tym samym różną ilością tłuszczu pozostającą w kale (Staessen i in. 2021).

5.1. Od spożycia do absorpcji – dlaczego tłuszcz musi zostać zemulgowany?

Trawienie tłuszczu jest procesem zachodzącym na granicy dwóch faz: hydrofobowej fazy lipidowej i wodnego środowiska przewodu pokarmowego. Zdecydowana większość lipidów paszowych występuje w postaci triacylogliceroli (TAG), które przed hydrolizą muszą zostać udostępnione enzymom trawiennym. Kluczową rolę odgrywa tutaj emulgowanie tłuszczu, które zwiększa powierzchnię kontaktu kropli lipidowych z enzymami,

przede wszystkim lipazą. Produkty hydrolizy są następnie włączane do struktur micelarnych tworzonych z udziałem kwasów żółciowych i transportowane w kierunku powierzchni enterocytów, gdzie mogą zostać zaabsorbowane. W konsekwencji sprawność emulgowania i tworzenia miceli jest jednym z podstawowych warunków efektywnego wykorzystania lipidów przez rybę.

U ryb proces ten ma szczególne znaczenie ze względu na ich zależność od temperatury środowiska. Temperatura wpływa zarówno na właściwości fizyczne lipidów, jak i na aktywność enzymów trawiennych oraz metabolizm ryby. Znaczenie ma zatem nie tylko skład chemiczny tłuszczu, lecz także jego stan fizyczny w temperaturze, w której zachodzi trawienie. Badania na pstrągu wykazały na przykład, że temperatura wody może modyfikować strawność poszczególnych grup kwasów tłuszczowych, a jej wpływ może wchodzić w interakcje ze źródłem lipidów zastosowanym w paszy (Ng i in 2010).

W warunkach fizjologicznych głównymi czynnikami ułatwiającymi emulgowanie lipidów są kwasy żółciowe i fosfolipidy żółciowe. Kwasy żółciowe nie są przy tym jedynie „dodatkiem wspomagającym trawienie”, lecz stanowią element aktywnie regulowanego obiegu pomiędzy wątrobą, przewodem pokarmowym i krążeniem wątrobowo-jelitowym. U pstrąga większość kwasów żółciowych jest absorbowana już w początkowych odcinkach jelita, a ich ponowne wykorzystanie pozwala utrzymać odpowiednią pulę niezbędną do trawienia kolejnych porcji lipidów. Staessen i in. (2022) wykazali, że ponad połowa kwasów żółciowych jest absorbowana pomiędzy odcinkiem pylorycznym a środkową częścią jelita pstrąga, co wskazuje na znaczenie wczesnych odcinków przewodu pokarmowego w ich krążeniu wątrobowo-jelitowym.

Znaczenie tego mechanizmu staje się szczególnie widoczne w sytuacji, gdy dochodzi do zwiększonej utraty kwasów żółciowych z kałem. Staessen i in. (2020) wykazali u pstrąga, że zwiększenie poziomu polisacharydów nieskrobiowych (NSP) w diecie zwiększało utratę kwasów żółciowych z kałem i mogło wiązać się z pogorszeniem strawności tłuszczu. Dodatek taurocholalanu sodu ograniczał ten efekt, wskazując, że dostępność kwasów żółciowych może stanowić jeden z czynników ograniczających wykorzystanie lipidów przez pstrąga.

5.2. Źródło tłuszczu a jego strawność

Różnice w przyswajalności lipidów między źródłami tłuszczu wynikają z wielu wzajemnie powiązanych cech. Znaczenie ma przede wszystkim profil kwasów tłuszczowych, ich długość łańcucha i stopień nasycenia, ale także sposób występowania kwasów tłuszczowych w cząsteczkach TAG, zawartość wolnych kwasów tłuszczowych, obecność fosfolipidów oraz właściwości fizyczne całej frakcji lipidowej. Dlatego dwa surowce zawierające podobną ilość tłuszczu mogą dostarczać rybie różnej ilości rzeczywiście

przyswojonej energii i kwasów tłuszczowych. Zależność pomiędzy profilem kwasów tłuszczowych a strawnością tłuszczu u ryb została również uwzględniona w modelach pozwalających przewidywać wartość energetyczną różnych źródeł lipidów (Hua & Bureau, 2009). Znaczenie profilu kwasów tłuszczowych potwierdzają również badania na pstrągu, w których różnice pomiędzy dietami o różnym składzie lipidowym przekładały się na różną strawność tłuszczu.

Interesującym przykładem jest porównanie oleju rybnego z tłuszczem o wysokiej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych. W badaniu na pstrągu zastąpienie części oleju rybnego palmowym destylatem kwasów tłuszczowych (PFAD), zawierającym znaczną ilość wolnych kwasów tłuszczowych, nie prowadziło do pogorszenia strawności wszystkich grup kwasów tłuszczowych. Przeciwnie, wraz ze wzrostem udziału PFAD obserwowano zwiększenie strawności nasyconych kwasów tłuszczowych, zarówno przy 15°C, jak i 20°C. Wynik ten pokazuje, że nie można utożsamiać wysokiej zawartości SFA z automatycznie niską strawnością; znaczenie ma również chemiczna forma, w jakiej kwasy te występują w tłuszczu (Ng i in. 2010).

Jednocześnie poziom tłuszczu w samej paszy również może wpływać na jego wykorzystanie. Staessen i in. (2021) wykazali, że u pstrąga pasze o wysokiej zawartości tłuszczu charakteryzowały się konsekwentnie niższym ADC tłuszczu niż pasze o niższej zawartości tłuszczu. Autorzy wskazali, że jednym z możliwych wyjaśnień jest ograniczona dostępność kwasów żółciowych w stosunku do ilości lipidów dostarczanych wraz z paszą. Zależność ta jest szczególnie interesująca w kontekście intensywnego żywienia pstrąga, gdzie wysoka koncentracja energii w paszy jest jednym z podstawowych narzędzi poprawy efektywności produkcji (Staessen, Verdegem i Shrama 2020).

Nie należy przy tym zakładać, że zwiększenie ilości tłuszczu w paszy musi prowadzić do proporcjonalnego zwiększenia ilości tłuszczu przyswojonego przez rybę. W pewnych warunkach zwiększenie podaży lipidów może powodować zmniejszenie ich względnej strawności, a więc zwiększenie różnicy pomiędzy ilością tłuszczu spożytą a ilością faktycznie wykorzystaną przez organizm. Z punktu widzenia środowiska hodowlanego oznacza to, że dwie pasze o identycznej zawartości tłuszczu mogą generować różne obciążenie systemu oczyszczania, jeżeli różnią się rzeczywistą strawnością lipidów.

5.3. Kwasy żółciowe i emulgatory paszowe – czy można poprawić wykorzystanie tłuszczu?

Naturalny mechanizm emulgowania lipidów może być wspomagany poprzez zastosowanie w paszy dodatkowych substancji emulgujących. W praktyce żywieniowej stosuje się m.in. kwasy żółciowe, fosfolipidy oraz różnego rodzaju emulgatory. Ich po-

tencjalna funkcja polega na zwiększeniu dyspersji tłuszczu w treści pokarmowej, zwiększeniu powierzchni dostępnej dla lipaz oraz ułatwieniu transportu produktów hydrolizy w strukturach micelarnych. Jednak nie każdy dodatek emulgujący automatycznie poprawia strawność każdego źródła tłuszczu.

Dobrym przykładem jest doświadczenie Adhami i in. (2017), w którym młode pstrągi otrzymywały dietę zawierającą proszek tłuszczowy z dodatkiem kwasu cholowego lub Tween-80. Dodatek emulgatorów zwiększał aktywność lipazy, szczególnie w grupie otrzymującej Tween-80, jednak nie doprowadził do poprawy strawności tłuszczu w porównaniu z dietą kontrolną zawierającą olej rybny. Autorzy wskazali, że zwiększona aktywność lipazy nie kompensowała niekorzystnych właściwości zastosowanego proszku tłuszczowego. Wynik ten ma istotne znaczenie dla interpretacji problemu jakości tłuszczu. Emulgator może poprawić warunki fizyczne trawienia, ale nie „naprawia” właściwości chemicznych źródła lipidów. Jeżeli niska strawność wynika z określonego składu kwasów tłuszczowych, struktury TAG, wysokiej zawartości trudniej dostępnych frakcji lub innych właściwości surowca, zwiększenie aktywności lipazy może nie wystarczyć do uzyskania wysokiego ADC.

Jeszcze bardziej bezpośrednich dowodów dostarcza najnowsze badanie Amirkolaie i in. (2025), w którym pstrągi otrzymywały izo-lipidowe pasze zawierające olej rybny, olej sojowy lub proszek tłuszczowy pochodzenia zwierzęcego, z dodatkiem żółci wołowej. Dodatek żółci zwiększył strawność lipidów w diecie zawierającej proszek tłuszczowy z około 50,0 do 57,3%, natomiast nie wykazywał takiego samego korzystnego efektu we wszystkich źródłach tłuszczu.

5.4. Czynniki ograniczające przyswajalność tłuszczu

Przyswajalność lipidów jest zatem wynikiem działania wielu czynników jednocześnie. Do najważniejszych należą: źródło i struktura tłuszczu, profil kwasów tłuszczowych, poziom tłuszczu w paszy, temperatura wody, dostępność kwasów żółciowych, skład pozostałych komponentów paszy oraz stan funkcjonalny przewodu pokarmowego. Istotną rolę mogą odgrywać również składniki ograniczające krążenie kwasów żółciowych, czego przykładem są niektóre frakcje NSP (Saessen, Verdegem i Shrama 2020).

Szczególnie interesująca jest zależność pomiędzy ilością tłuszczu a dostępnością kwasów żółciowych. Przy zwiększonej podaży lipidów pula kwasów żółciowych musi obsłużyć większą ilość substratu. Staessen i in. (2021) sugerują, że właśnie stosunek dostępnej puli kwasów żółciowych do ilości tłuszczu w diecie może częściowo wyjaśniać zmniejszenie ADC przy wysokiej zawartości lipidów. Jednocześnie późniejsze badania wykazały, że relacja pomiędzy wielkością puli kwasów żółciowych a strawnością tłuszczu jest bardziej złożona i zależy również od składu kwasów tłuszczowych. Na uwagę

zasługuje również wpływ czasu adaptacji. Autorzy zanotowali, że strawność składników pokarmowych, w tym tłuszczu, zwiększała się w kolejnych tygodniach po zmianie diety, a stabilny poziom trawienia osiągnęto około trzeciego tygodnia doświadczenia (Staessen, Verdegem i Shrama 2020).

Ważnym czynnikiem jest również stan zdrowotny przewodu pokarmowego. Zaburzenia wydzielania żółci, uszkodzenie błony śluzowej jelita czy zmiany aktywności enzymów trawiennych mogą zmniejszać zdolność ryby do wykorzystania lipidów niezależnie od ich jakości chemicznej. W praktyce oznacza to, że wysoka zawartość niestrawionego tłuszczu w kale nie musi świadczyć o złej jakości samego oleju. Może być również konsekwencją niedopasowania źródła lipidów do możliwości trawiennych ryby albo zaburzeń funkcjonowania przewodu pokarmowego.

5.5. Od niskiej strawności do obciążenia systemu RAS

Z punktu widzenia środowiska hodowlanego najważniejszą konsekwencją niskiej przyswajalności tłuszczu jest zwiększenie różnicy pomiędzy ilością lipidów dostarczonych wraz z paszą a ilością wykorzystaną przez rybę. Niewykorzystana część trafia przede wszystkim do kału, a następnie do środowiska hodowlanego. W klasycznej ocenie efektywności żywienia zjawisko to jest ujmowane poprzez współczynnik strawności pozornej (ADC), jednak z punktu widzenia funkcjonowania systemu RAS istotne jest również to, w jakiej postaci fizycznej niewykorzystane lipidy opuszczają przewód pokarmowy.

W przypadku dobrze uformowanego kału większa część nierozpuszczalnej frakcji organicznej może zostać stosunkowo szybko usunięta przez filtrację mechaniczną. Lipidy mają jednak odmienne właściwości fizyczne niż większość składników mineralnych i białkowych kału. Mogą występować jako element organicznych cząstek stałych, jako warstwa powierzchniowa cząstek kałowych lub jako drobne krople lipidowe. W warunkach intensywnego mieszania wody może to sprzyjać ich rozproszeniu w fazie wodnej. Nie oznacza to jednak, że każda forma tłuszczu wydalonego z kałem tworzy w wodzie stabilną emulsję. Na tym etapie dostępne dane dotyczące systemów RAS są niewystarczające, aby takie stwierdzenie traktować jako ogólną prawidłowość.

Jest to jednak istotny problem praktyczny, ponieważ fizyczna postać lipidów może decydować o tym, czy zostaną one skutecznie zatrzymane przez filtrację mechaniczną, czy też pozostaną w drobnej frakcji zawieszanej i będą transportowane dalej wraz z wodą. W konsekwencji ta sama ilość tłuszczu wydalonego przez ryby może stanowić różne obciążenie dla systemu oczyszczania w zależności od postaci, w jakiej występuje w kale i wodzie.

W tym miejscu należy również rozróżnić dwa procesy, które często są intuicyjnie łączone, lecz biologicznie i fizykochemicznie nie są tym samym. Emulgowanie tłuszczu w przewodzie pokarmowym jest procesem fizjologicznym ułatwiającym jego trawienie i absorpcję. Natomiast rozproszenie lipidów w wodzie hodowlanej jest procesem środowiskowym, którego przebieg zależy m.in. od właściwości cząstek kałowych, mieszania, obecności substancji powierzchniowo czynnych i charakterystyki samego tłuszczu. Literatura dotycząca żywienia pstrąga bardzo dobrze dokumentuje pierwszy z tych procesów, natomiast drugi – szczególnie w odniesieniu do RAS – pozostaje znacznie słabiej poznany.

Z punktu widzenia niniejszej pracy jest to jednak niezwykle istotna luka. Jeżeli niska przyswajalność określonego źródła lipidów zwiększa ilość tłuszczu wydalanego z kałem, a właściwości fizyczne tej frakcji utrudniają jej zatrzymanie w filtracji mechanicznej, wówczas część lipidów może przedostawać się do dalszych etapów oczyszczania. W konsekwencji problem, który rozpoczyna się jako problem żywieniowy, może stać się problemem technologicznym i środowiskowym.

6. Czy dobra pasza rzeczywiście „psuje” wodę?

Rozwój pasz wysokotłuszczowych był jednym z ważnych etapów zwiększania koncentracji energii w paszach dla pstrąga i innych łososiowatych. Współczesne pasze ekstrudowane stosowane w tuczu pstrąga tęczowego zawierają często około 21-24% tłuszczu, a w doświadczeniach żywieniowych stosowano jeszcze wyższe poziomy.

Wysoka zawartość lipidów nie musi przy tym oznaczać większego obciążenia środowiska. W doświadczeniach Green, Hardy i Brannon (2002) zwiększenie zawartości tłuszczu w paszy dla pstrąga z 17 do 31% zwiększało tempo wzrostu i efektywność wykorzystania paszy oraz zmniejszało ilość azotu wydalanego w przeliczeniu na przyrost masy. Wynik ten dobrze ilustruje znaczenie tzw. *protein-sparing effect* lipidów: część energii potrzebnej do pokrycia kosztów metabolizmu może pochodzić z tłuszczu zamiast z katabolizowanego białka.

Oznacza to, że sama wysoka zawartość tłuszczu w dobrej jakości paszy nie jest powodem pogorszenia jakości wody. Przeciwnie, odpowiednio skomponowana pasza wysokotłuszczowa może poprawiać wykorzystanie składników pokarmowych i ograniczać niektóre formy wydalania azotu. Problem zaczyna się dopiero wtedy, gdy ilość tłuszczu wprowadzona do systemu jest większa niż ilość, którą ryby są w stanie prawidłowo wykorzystać.

Ostateczna ilość materii organicznej trafiającej do systemu oczyszczania zależy nie tylko od składu paszy, ale również od sposobu jej wykorzystania przez ryby. Pierwszym

źródłem obciążenia jest pasza niezjedzona. W przypadku przekarmiania część granulatu pozostaje w wodzie i ulega wymywaniu oraz rozpadowi. Drugim jest frakcja wydalana z kałem, obejmująca niestrawione składniki pokarmowe. Badania nad właściwościami kału pstrąga wykazały, że skład paszy wpływa na ilość, wielkość i właściwości fizyczne powstających cząstek kałowych, a tym samym na ich zachowanie w systemie oczyszczania (Unger i Brinker 2013).

Z punktu widzenia praktyki hodowlanej można wskazać kilka sytuacji, w których wzrasta prawdopodobieństwo przechodzenia tłuszczu z paszy do strumienia odpadów.

Pierwszą są błędy technologiczne podczas produkcji paszy. Nadmierna zawartość tłuszczu, niewłaściwa technologia jego aplikacji lub niewystarczająca stabilność granulatu mogą zwiększać straty lipidów do wody. Wysoka zawartość tłuszczu jest korzystna tylko wówczas, gdy jest technologicznie możliwe jego stabilne związanie z granulatem.

Drugą jest nieprawidłowe żywienie. Przekarmianie zwiększa ilość paszy niezjedzonej oraz ilość materii wydalanej przez ryby. W przypadku RAS ma to szczególne znaczenie, ponieważ niezjedzona pasza i odchody stanowią podstawowe źródło cząstkowej materii organicznej wymagającej usunięcia.

Trzecią jest jakość samego tłuszczu. Utlenione lipidy mogą pogarszać wartość biologiczną paszy i wpływać niekorzystnie na zdrowie oraz wykorzystanie składników pokarmowych. Zagadnienie to zostało omówione szerzej w rozdziale 4.

Czwartą są zaburzenia funkcjonowania przewodu pokarmowego. Jeżeli procesy trawienia, emulgowania i wchłaniania lipidów zostają ograniczone, większa część tłuszczu może pozostać w treści jelitowej i zostać wydalona.

W konsekwencji ilość tłuszczu obecnego w odchodach jest wynikiem współdziałania składu paszy, jakości surowców, technologii produkcji, sposobu karmienia oraz zdolności ryby do trawienia i wykorzystania lipidów.

W kontekście obserwowanych w praktyce problemów z jakością wody szczególnie ważne jest rozdzielenie obserwacji hodowlanej od potwierdzonego mechanizmu naukowego.

Na podstawie dostępnej literatury nie można obecnie stwierdzić, że tłuszcz pochodzący z paszy dla pstrąga bezpośrednio hamuje bakterie nitryfikacyjne. Istnieją bardzo dobre dowody, że wysokie obciążenie materią organiczną może zmieniać strukturę mikrobiologiczną biofiltra i pogarszać nitryfikację, ale badania te dotyczą całkowitego obciążenia organicznego, a nie specyficznie lipidów.

Podobnie nie wykazano, że tłuszcz obecny w wodzie w postaci drobnej zawiesiny lub emulsji powoduje bezpośrednie uszkodzenie skrzel pstrąga. Badania dotyczące zwiększonego stężenia zawiesiny w RAS nie pozwalają na takie proste uogólnienie.

Dlatego obserwacja „tłustej” lub mętnej wody nie może sama w sobie stanowić dowodu szkodliwego działania lipidów na ryby.

Nie wykazano również, że każdy wzrost zawartości tłuszczu w paszy prowadzi do pogorszenia jakości wody. Wręcz przeciwnie – badania żywieniowe wskazują, że zwiększenie udziału lipidów może poprawiać wzrost, wykorzystanie paszy i retencję składników pokarmowych.

Dobrze udokumentowany jest natomiast wpływ całkowitego obciążenia systemu materią organiczną i zawiesiną. W RAS zwiększenie ilości cząstkowej materii organicznej prowadzi do zwiększenia aktywności mikrobiologicznej. Badania Michaud i in. (2006) wykazały, że wzrost dostępności organicznego węgla wpływa na populacje bakterii heterotroficznych oraz efektywność nitryfikacji w filtrach biologicznych. W dużym systemie RAS Guerdat i in. (2011) wykazali natomiast, że zwiększenie obciążenia biofiltra biodegradowalnym węglem organicznym prowadziło do istotnego zmniejszenia szybkości usuwania TAN. Wyniki te wskazują na znaczenie konkurencji pomiędzy szybko rosnącymi mikroorganizmami heterotroficznymi a organizmami odpowiedzialnymi za nitryfikację.

Nowsze badania prowadzone w RAS z pstrągiem potwierdzają znaczenie kontroli zawiesiny. Przy wysokim obciążeniu TSS obserwowano większą koncentrację i aktywność bakterii, zmiany mikrobioty wody i biofiltra oraz niekorzystne zmiany parametrów azotowych. Po 128 dniach przyrost biomasy ryb był o około 14% niższy niż w systemach z niskim obciążeniem zawiesiną. Jednocześnie skuteczne usuwanie frakcji stałej ograniczało ilość materii organicznej pozostającej w wodzie. Badania filtracji mechanicznej wykazały, że odpowiedni dobór filtracji bębnowej może znacząco zmniejszyć stężenie cząstek, cząstkowego BOD i COD oraz aktywność mikrobiologiczną w wodzie.

Tłuszcz sam w sobie nie jest „trucizną dla biofiltra”. Warto również pamiętać, że tłuszcz stanowi tylko jedną z wielu frakcji materii organicznej pochodzącej z paszy.

W przypadku niezjedzonego granulatu oraz odchodów równocześnie do wody trafiają białka, peptydy, aminokwasy, węglowodany, włókno, składniki mineralne i inne związki organiczne. Ich podatność na rozkład biologiczny jest różna, a znaczenie dla systemu oczyszczania nie może być sprowadzone do jednego składnika.

Dlatego nawet jeżeli w praktyce hodowca obserwuje „tłustą wodę”, nie można automatycznie przypisać wszystkich zmian jakości wody lipidom. Rzeczywiste obciążenie RAS jest sumą wielu strumieni materii organicznej.

Z drugiej strony nie oznacza to, że tłuszcz można pominąć. Współczesne pasze dla pstrąga zawierają go dużo, a jego strawność może być zmienna. Jest więc składnikiem, którego los w przewodzie pokarmowym i w strumieniu odpadów powinien być uwzględniany w ocenie jakości paszy.

Czy zatem dobra pasza „psuje” wodę? Odpowiedź brzmi: nie – przynajmniej nie dlatego, że zawiera dużo tłuszczu. Dobra pasza dla pstrąga powinna zawierać odpowiednią ilość lipidów, ponieważ są one niezbędnym źródłem energii i kwasów tłuszczowych, a ich obecność może poprawiać wykorzystanie białka i efektywność produkcji.

Problem pojawia się wtedy, gdy ilość lub jakość tłuszczu nie odpowiada potrzebom ryby albo możliwościom technologicznym paszy, gdy pasza jest podawana w nadmiarze, gdy jej granulat jest niestabilny, gdy tłuszcz jest zdegradowany lub gdy ryba z przyczyn fizjologicznych bądź zdrowotnych nie wykorzystuje prawidłowo dostarczonych lipidów.

Wówczas większa część składników odżywczych może przejść do strumienia odpadów. W przypadku tłuszczu oznacza to zwiększenie jego udziału w materii kałowej, a w konsekwencji zwiększenie ilości materii organicznej, którą musi usunąć system RAS.

Wodę psują przede wszystkim błędy w zaprojektowaniu paszy, jej wyprodukowaniu, przechowywaniu lub zastosowaniu – oraz sytuacji, w których możliwości ryby do wykorzystania dostarczonych składników zostają przekroczone.

W tym sensie jakość paszy należy oceniać nie tylko przez pryzmat jej wartości pokarmowej dla ryby, ale również przez ilość i charakter odpadów, które pozostawia w systemie produkcyjnym. Dobra pasza to zatem niekoniecznie pasza zawierająca mało tłuszczu. Jest to pasza, której skład odpowiada potrzebom ryby, której tłuszcz jest dobrej jakości i wysoko dostępny, której granulat zachowuje stabilność w wodzie i która jest podawana w ilości odpowiadającej rzeczywistemu zapotrzebowaniu ryb.

Piśmiennictwo

- Adhami, B., Amirkolaie, A.K., Oraji, H., Kenari, R.E. (2017). Growth performance, nutrient digestibility and lipase activity in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed fat powder in diet containing emulsifiers (cholic acid and Tween-80). *Aquaculture Nutrition*, 23, 1153–1159. <https://doi.org/10.1111/anu.12484>
- Amirkolaie, A.K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3, 19–26. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x>
- Amirkolaie, A.K., Benito, M.M., Kumar, V., Romano, N.P., Hong, J., Small, B.C. (2025). Bile acid supplementation in alternative lipid-based diets: Effects on growth, histopathology and digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Feed Science and Technology*, 319, 116179. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116179>
- Azcuy, R.L., Villasante, A., Perelman, S., Casaretto, M.E., Dantagnan, P., Morales, G.A., Colombo, S. (2026). Toward sustainable rainbow trout lipid nutrition: A Sys-

- tematic review of lipid optimization strategies in controlled conditions. Reviews in Aquaculture, 18(3), e70176. <https://doi.org/10.1111/raq.70176>
- Bao, W., Zhu, S., Jin, G., & Ye, Z. (2019). Generation, characterization, perniciousness, removal and reutilization of solids in aquaculture water: a review from the whole process perspective. Reviews in Aquaculture, 11, 1342–1366. <https://doi.org/10.1111/raq.12296>
 - De Boer, A.A., Ismail, A., Marshall, K., Bannenberg, G., Yan, K.L., Rowe, W.J. (2018). Examination of marine and vegetable oil oxidation data from a multi-year, third-party database. Food Chemistry, 254, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.180>
 - Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M.S. (2002). Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 214, 253–271. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00852-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00852-3).
 - Castell, J.D., Lee, D.J., Sinnhuber, R.O. (1972). Essential Fatty Acids in the Diet of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*): Lipid Metabolism and Fatty Acid Composition. The Journal of Nutrition, 102(1), 93–99. <https://doi.org/10.1093/jn/102.1.93>
 - Chen Y.-F., Cao K.-L., Huang H.-F., Li X.-Q., Leng X.-J. (2023). Dietary effects of lipid and protein levels on growth, feed utilization, lipid metabolism, and antioxidant capacity of triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Nutrition, 2023, Article 8325440. <https://doi.org/10.1155/2023/8325440>
 - Cho, C.Y., & Bureau, D.P. (2001). A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture Research, 32(Suppl. 1), 349–360. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>
 - Eya J.C., Yossa R., Ashame M.F., Pomeroy C.F., Gannam A.L. (2013). Effects of dietary lipid levels on growth, feed utilization and mitochondrial function in low- and high-feed efficient families of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 416–417: 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.022>
 - Fawole, F.J., Labh, S.N., Hossain, M.S., Overturf, K., Small, B.C., Welker, T.L., Hardy, R.W., Kumar, V. (2021). Insect (black soldier fly larvae) oil as a potential substitute for fish or soy oil in the fish meal-based diet of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Animal Nutrition, 7, 1360–1370. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.07.008>
 - FAO. Digestion Physiology and anatomy. United Nations Development Programme, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome 1980. ISBN 92-5-100901-5

- Fernandes, P.M., Pedersen, L.-F., & Pedersen, P.B. (2017). Influence of fixed and moving bed biofilters on micro particle dynamics in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 78, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.09.002>
- Fernandes, P. M., Forbord Fiksdal, L. W., Rojas-Tirado, P., Ringbakken Stenhaug, S., Khadka, S., Calabrese, S., Powell, M. D, Dahle, H., Bakke, I., Hess-Erga, O.-K., Fredriksen, S. (2026). Biofilter performance, water quality, and microbial dynamics in RAS operated under high or low suspended solids load. *Aquaculture*, 614, 743559. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743559>
- Frigg, M., Prabucki, A.L., Ruhdel, E.U. (1990). Effect of dietary vitamin E levels on oxidative stability of trout fillets. *Aquaculture*, 84(2), 145–158. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90344-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90344-M)
- Glencross, B.D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1, 71– 124. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01006.x>
- Green, J.A., Hardy, R.W., Brannon, E.L. (2002). Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1. Laboratory-scale study. *Aquaculture Nutrition*, 8, 279–290. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00218.x>
- Guerdat, T.C., Losordo, T.M., Classen, J.J., Osborne, J.A., DeLong, D.P. (2011). Evaluating the effects of organic carbon on biological filtration performance in a large scale recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 44, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.10.002>
- Hag, M., Park, S.-I., Kim, M.-J., Chao, Y.-J., Chun, B.-S. (2017). Modifications of Atlantic salmon by-product oil for obtaining different ω 3 polyunsaturated fatty acids concentrates: An approach to comparative analysis. *Journal of Food and Drug Analysis* 26(2):545–556. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.05.006>
- Honjoh, T., Kumazawa, H., Oosaki, M., Yonemura, T., Kashiwa, G. (1967). Effects of oxidized fish oils and added ethoxyquin on the culture of rainbow trout. *Journal of the Japan Oil Chemists' Society*, 16(3), 135–137. <https://doi.org/10.5650/jos1956.16.135>
- Hung, S.S.O., Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1981). Effect of oxidized fish oil, DL- α -tocopheryl acetate and ethoxyquin supplementation on the vitamin E nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed practical diets. *The Journal of Nutrition*, 111(4), 648–657. <https://doi.org/10.1093/jn/111.4.648>

- ISO. (2020). ISO 660:2020. Animal and vegetable fats and oils — Determination of acid value and acidity. 4th ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2017). ISO 3960:2017. Animal and vegetable fats and oils — Determination of peroxide value — Iodometric (visual) endpoint determination. 5th ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2016). ISO 6885:2016. Animal and vegetable fats and oils — Determination of anisidine value. 4th ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- Ling, J., Chen, Sh. (2005) Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquaculture Engineering* 33, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.12.002>
- Michaud, L., Blancheton, J.-P., Bruni, V., Piedrahita, R. (2006). Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering*, 34, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.005>
- Moccia, R.D., Hung, S.S.O., Slinger, S.J., Ferguson, H.W. (1984). Effect of oxidized fish oil, vitamin E and ethoxyquin on the histopathology and haematology of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Diseases*, 7(4), 269–282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1984.tb00932.x>
- Ng, W.-K., Campbell, P.J., Dick, J.R., & Bell, J.G. (2003). Interactive effects of dietary palm oil concentration and water temperature on lipid digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Lipids*, 38, 1031–1038. <https://doi.org/10.1007/s11745-006-1157-y>
- Pedersen, L.-F., Oosterveld, R., & Pedersen, P.B. (2015). Nitrification performance and robustness of fixed and moving bed biofilters having identical carrier elements. *Aquacultural Engineering*, 65, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.005>
- Penionez, J.L.F., Ellar, G.M.L., Manzano, A.T., Mayakie, Z.A., Pandili, X.R., Fuerzas, C.P., Saladan, R.N., Bertulfo, R.M.G., Cortes, J.R. (2026). Microalgal omega-3 oils in salmonid aquaculture: nutritional, immunological, and sustainability perspectives beyond fish oil. *Frontiers in Aquaculture*, 5, 1880980. <https://doi.org/10.3389/faqac.2026.1880980>
- Pulkkinen, J.T., Eriksson-Kallio, A. M., Aalto, S. L., Tiirola, M., Koskela, J., Kiuru, T., Vielma, J. (2019). The effects of different combinations of fixed and moving bed bio-reactors on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and health, water quality and nitrification in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 85, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.004>

- 33. Rahimnejad, S., Dabrowski, K., Izquierdo, M., Hematyar, N., Imentai, A., Steinbach, C., Policar, T. (2021). Effects of Vitamin C and E Supplementation on Growth, Fatty Acid Composition, Innate Immunity, and Antioxidant Capacity of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed Oxidized Fish Oil. *Frontiers in Marine Science*, 8, 760587. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.760587>
- Reintz, G.L., Orme, L.E., Lemm, C.A., Hitzel, F.N. (1978) Influence of varying lipid concentrations with two protein concentrations in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Transactions of the American Fisheries Society* 107(5): 751-754. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1978\)107<751:IOVLCW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1978)107<751:IOVLCW>2.0.CO;2)
- Regost, C., Jakobsen, J.V., Rørå, A.M.B., Jørgensen, K., Lampe, J., Thomassen, M.S. (1999). Dietary fish oil and digestible protein modify susceptibility to lipid peroxidation in the muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *British Journal of Nutrition*, 82, 145–152. <https://doi.org/10.1017/S0007114598001330>
- Santigosa, E., Constant, D., Prudence, D., Wahli, T., Verlhac-Trichet, V. (2020). A novel marine algal oil containing both EPA and DHA is an effective source of omega-3 fatty acids for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 51, 649–665. <https://doi.org/10.1111/jwas.12699>
- Schaich, K.M. (2016). Analysis of Lipid and Protein Oxidation in Fats, Oils, and Foods. W: Hu, M., Jacobsen, C. (eds.), *Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats*. Academic Press and AOCS Press, Cambridge, MA, USA, pp. 1–131. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00001-X>.
- Serrano, E., Simpfendorfer, R., Medina, A., Sandoval, C., Martínez, A., Morales, R., Davies, S.J. (2021). Partially replacing fish oil with microalgae (*Schizochytrium limacinum* and *Nannochloropsis oceanica*) in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in saltwater with reference to growth performance, muscle fatty acid composition and liver ultrastructure. *Aquaculture Research*, 52, 4401–4413. <https://doi.org/10.1111/are.15279>
- Shahidi, F., Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18(Part B), 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Smith, C.E. (1979). The prevention of liver lipid degeneration (ceroidosis) and microcytic anaemia in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson fed rancid diets: a preliminary report. *Journal of Fish Diseases*, 2(5), 429–437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1979.tb00394.x>
- Staessen, T.W.O., Verdegem, M.C.J., Weththasinghe, P., Schrama, J.W. (2020). The effect of dietary non-starch polysaccharide level and bile acid supplementation on

- fat digestibility and the bile acid balance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 523, 735174. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735174>.
- Staessen, T.W.O., Verdegem, M.C.J., Schrama, J.W. (2021). Time-related changes in nutrient digestibility and faecal bile acid loss of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as affected by dietary fat level and non-starch polysaccharide level. *Aquaculture Nutrition*, 27, 129–141. <https://doi.org/10.1111/anu.13170>
 - Staessen, T.W.O., Verdegem, M.C.J., Nederlof, M.A.J., Eding, E.H., Schrama, J.W. (2021). Effect of type of dietary non-protein energy source (starch vs. fat) on the body bile acid pool size and composition, faecal bile acid loss and bile acid synthesis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 27, 865–879. <https://doi.org/10.1111/anu.13231>
 - Staessen, T.W.O., Verdegem, M.C.J., Schrama, J.W. (2022). Effect of dietary NSP level and bile acid supplementation on nutrient digestibility and the bile acid metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 561, 738724. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738724>
 - Tocher, D.R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 11, 107–184. <https://doi.org/10.1080/713610925>
 - Tocher, D.R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>
 - Trullàs, C., Fontanillas, R., Tres, A., Barroeta, A.C., Sala, R. (2015a). Acid and re-esterified rapeseed oils as alternative vegetable oils for rainbow trout diets: Effects on lipid digestibility and growth. *Aquaculture*, 451, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.021>
 - Trullàs, C., Fontanillas, R., Tres, A., Sala, R. (2015b). Vegetable re-esterified oils in diets for rainbow trout: Effects on fatty acid digestibility. *Aquaculture*, 444, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.018>
 - Turchini, G.M., Torstensen, B.E., & Ng, W.-K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 1, 10–57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>
 - Unger, J., Brinker, A. (2013). Feed and treat: What to expect from commercial diets. *Aquacultural Engineering* 53: 19-20. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.01>
 - Yıldız, M., Şener, E., Cebeci, A., i in. (2018). The effects of fish oil replacement by vegetable oils on growth performance and fatty acid profile of rainbow trout: Re-feeding with fish oil finishing diet improved the fatty acid composition. *Aquaculture*, 488, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.030>

Środowiskowe aspekty produkcji pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) w systemach śródlądowych – wyzwania i rekomendacje dla branży hodowców ryb

Anna Małgorzata Wiśniewska

Katedra Ichtiologii i Akwakultury

Wydział Bioinżynierii Zwierząt

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 5, dariama@uwm.edu.pl

1. Wstęp

Środowiskowa ocena produkcji pstrąga tęczowego nie może być ograniczana do jakości wody odprowadzanej z gospodarstwa. Powinna równocześnie uwzględniać zużycie wody i energii, wykorzystanie paszy, emisję azotu, fosforu i zawiesin, wpływ na temperaturę wody oraz oddziaływanie poboru i piętrzenia na ekosystem rzeczny. Wyniki analiz cyklu życia (LCA) wskazują, że nie istnieje jeden system produkcji minimalizujący wszystkie kategorie oddziaływania. Systemy recyrkulacyjne zmniejszają pobór wody i umożliwiają skuteczniejsze przechwytywanie zanieczyszczeń, ale zwiększają znaczenie energii. Z kolei gospodarstwa przepływowe wykorzystujące naturalny spad mogą być bardzo efektywne energetycznie, lecz pozostają silniej zależne od dostępności wody. Szczególnie perspektywiczne dla istniejących gospodarstw wydają się rozwiązania pośrednie: częściowa recyrkulacja, szybka separacja zawiesin, poprawa efektywności żywienia oraz wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Fotowoltaika zintegrowana z przestrzenią produkcyjną może dodatkowo ograniczać nagrzewanie wody, jednak stopień zacienienia powinien być ustalany indywidualnie. Modernizacja technologiczna powinna być również powiązana z ograniczeniem presji hydromorfologicznej na cieki.

Słowa kluczowe: *Oncorhynchus mykiss*, pstrąg tęczowy, akwakultura, LCA, RAS, częściowa recyrkulacja, aquavoltaics, emisja biogenów, ciągłość ekologiczna rzek.

2. Wprowadzenie

Produkcja pstrąga tęczowego jest silnie związana z zasobami wodnymi. W klasycznym gospodarstwie przepływowym woda dostarcza tlen, odbiera produkty metabolizmu i odprowadza zawiesiny. Jeżeli jej transport odbywa się grawitacyjnie, zapotrzebowanie na energię może być stosunkowo małe. Jednocześnie taki model wymaga znacznego przepływu i powoduje bezpośrednie powiązanie gospodarstwa z ekosystemem cieku.

Rozwój recyrkulacji, natleniania, filtracji mechanicznej i biofiltracji umożliwił znaczne ograniczenie jednostkowego poboru wody. Nie oznacza to jednak automatycznej poprawy całkowitego bilansu środowiskowego. Analizy LCA wykazują, że ograniczanie jednego rodzaju presji może zwiększać znaczenie innego, zwłaszcza zapotrzebowania na energię elektryczną. Dlatego ocena systemu produkcji powinna obejmować równocześnie wodę, energię, paszę, emisję biogenów i ślad klimatyczny (Roque d'Orbcastel et al., 2009; Samuel-Fitwi et al., 2013; Wind et al., 2022; Sanchez-Matos et al., 2023).

3. System przepływowy, częściowa recyrkulacja czy RAS?

Porównanie systemu przepływowego i recyrkulacyjnego przeprowadzone przez Roque d'Orbcastel et al. (2009) wykazało, że recyrkulacja może radykalnie zmniejszyć zależność produkcji od zasobów wodnych i ograniczyć potencjał eutrofizacji, ale odbywa się to kosztem zwiększonego zapotrzebowania na energię. Podobny charakter zależności wykazali Samuel-Fitwi et al. (2013). Oznacza to, że pytanie o „najbardziej ekologiczny” system nie ma jednej odpowiedzi – wynik zależy od lokalnej dostępności wody, źródła energii, technologii oczyszczania oraz efektywności produkcji.

W polskich warunkach szczególne znaczenie może mieć częściowa recyrkulacja (PRAS), pozwalająca zachować część korzyści systemu przepływowego, w tym wykorzystanie naturalnego spadku, a równocześnie zmniejszyć pobór wody i ułatwić kontrolę jakości środowiska hodowlanego. Rozwój europejskich RAS i systemów częściowej recyrkulacji wskazuje, że stopień zamknięcia obiegu powinien być dostosowany do warunków konkretnego gospodarstwa, a nie traktowany jako cel sam w sobie (Martins et al., 2010; Dalsgaard et al., 2013).

Istotne znaczenie ma również źródło energii. Wind et al. (2022), analizując typowe gospodarstwo pstrągowe w strefie klimatu umiarkowanego, wykazali korzyści wynikające z wykorzystania naturalnego gradientu hydraulicznego, a jednocześnie wskazali możliwość dalszego ograniczenia śladu klimatycznego poprzez produkcję energii fotowoltaicznej.

Tabela 1. Porównanie podstawowych systemów produkcji pstrąga tęczowego z punktu widzenia oddziaływania środowiskowego

Kryterium	System przepływowy	Częściowa recyrkulacja (PRAS)	Pełny RAS
Pobór wody	wysoki	znacznie ograniczony	bardzo niski
Zapotrzebowanie na energię	niskie, szczególnie przy przepływie grawitacyjnym	umiarkowane	wysokie

Kryterium	System przepływowy	Częściowa recyrkulacja (PRAS)	Pełny RAS
Możliwość wykorzystania naturalnego spad	bardzo duża	duża	ograniczona
Kontrola warunków hodowlanych	ograniczona przez parametry wody dopływającej	duża	bardzo duża
Możliwość przechwytywania zawiesin	zależna od wyposażenia odpływu	duża	bardzo duża
Kontrola emisji N i P	ograniczona, szczególnie dla frakcji rozpuszczonej	większa niż w systemie przepływowym	największa, zależna od zastosowanej technologii oczyszczania
Zależność od warunków hydrologicznych ciek	duża	zmniejszona	mała
Znaczenie źródła energii dla śladu środowiskowego	stosunkowo małe	istotne	bardzo duże
Możliwość modernizacji istniejącego obiektu bez całkowitej przebudowy	–	duża	ograniczona
Główna zaleta środowiskowa	małe zużycie energii przy przepływie grawitacyjnym	kompromis między oszczędnością wody i energii	minimalizacja poboru wody i wysoka kontrola odpływu
Główne ograniczenie	duże użycie wody i bezpośrednie powiązanie z ciek	większa złożoność techniczna	energochłonność i wysokie wymagania technologiczne

Źródła: Roque d'Orbcastel et al. (2009); Martins et al. (2010); Samuel-Fitwi et al. (2013); Dalsgaard et al. (2013); Wind et al. (2022).

Najważniejszym wnioskiem wynikającym z zestawienia jest to, że wzrost stopnia recyrkulacji ogranicza zależność od zasobów wodnych, ale równocześnie zwiększa znaczenie zużycia i źródła energii. Z tego względu częściowa recyrkulacja może stanowić szczególnie interesujący kierunek modernizacji istniejących gospodarstw wykorzystujących naturalny spad terenu.

4. Pasza i ograniczanie emisji z gospodarstwa

Pasza jest źródłem zarówno produkowanej biomasy, jak i znacznej części azotu, fosforu i materii organicznej opuszczających system hodowlany. Z tego względu poprawa wykorzystania paszy oddziałuje jednocześnie na ekonomię produkcji i jej presję

środowiskową. Analizy LCA pasz pokazują jednak, że proste zastępowanie składników pochodzenia morskiego składnikami roślinnymi nie musi zmniejszać wszystkich kategorii oddziaływania. Może ograniczać wykorzystanie zasobów morskich, a jednocześnie zwiększać presję związaną np. z użytkowaniem gruntów lub produkcją surowców roślinnych (Boissy et al., 2011; Ghamkhar i Hicks, 2020).

Z punktu widzenia gospodarstwa podstawowym działaniem powinno być więc utrzymywanie możliwie dobrego współczynnika wykorzystania paszy oraz ograniczanie jej strat. Drugim elementem jest szybkie oddzielenie frakcji stałej. Fekalia i niewykorzystana pasza są łatwiejsze do usunięcia przed ich rozdrobnieniem i mineralizacją. Technologie stosowane w systemach przepływowych obejmują m.in. osadniki oraz filtrację mechaniczną, pozwalające skoncentrować zanieczyszczenia w znacznie mniejszej objętości niż całkowity przepływ gospodarstwa (Bergheim i Brinker, 2003).

W Polsce wymagania dla wód wykorzystanych w przepływowych obiektach chowu lub hodowli ryb z poborem zwrotnym określa załącznik nr 8 do rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z 12 lipca 2019 r. Najwyższy dopuszczalny wzrost wynosi odpowiednio: 3 mg O₂/l dla BZT₅, 7 mg O₂/l dla ChZT, 6 mg/l dla zawiesin ogólnych, 1 mg N/l dla azotu ogólnego oraz 0,1 mg P/l dla fosforu ogólnego.

Spełnienie wymagań stężeniowych jest podstawowym obowiązkiem prawnym, ale dla porównywania efektywności środowiskowej gospodarstw celowe byłoby dodatkowe monitorowanie ładunku zanieczyszczeń w przeliczeniu na jednostkę produkcji, np. kg N, P i zawiesiny na tonę wyprodukowanego pstrąga. Pozwala to odróżnić rzeczywiste ograniczenie emisji od efektu wynikającego jedynie z jej większego rozcieńczenia.

5. Energia i aquavoltaics

Wraz ze wzrostem udziału recyrkulacji rośnie znaczenie energii zużywanej do pompowania, natleniania i oczyszczania wody. Dekarbonizacja źródła energii może zatem istotnie wpływać na wynik środowiskowy nowoczesnego gospodarstwa. Bezpośredniego argumentu dostarcza analiza Wind et al. (2022), w której zwiększenie wykorzystania fotowoltaiki poprawiało wynik klimatyczny modelowanego gospodarstwa pstrągowego.

W przypadku hodowli pstrąga interesujące jest jednak nie tylko wytwarzanie energii, lecz także możliwość lokalizacji paneli nad częścią basenów, kanałów i osadnikach. Badania systemów fishery-PV oraz FPV wskazują, że zacienienie zmienia bilans promieniowania i może obniżać temperaturę wody. Song et al. (2024), badając przybrzeżne stawy akwakulturowe, stwierdzili ograniczenie promieniowania docierającego do powierzchni wody o 89–93% oraz średnią temperaturę wody niższą o około 1,5°C pod instalacją. W eksperymencie całego jeziora Nobre et al. (2025) również stwierdzili

wyraźne obniżenie temperatury po instalacji FPV. Wyników tych nie można jednak bezpośrednio przeliczać na wielkość efektu w przepływowym gospodarstwie pstrągowym. Potwierdzają one przede wszystkim sam mechanizm oddziaływania zacienienia na bilans cieplny wody.

Jednocześnie większe pokrycie powierzchni wody panelami nie musi być rozwiązaniem korzystniejszym. Ray et al. (2024), w eksperymencie na stawach z około 70% pokryciem FPV, stwierdzili po instalacji wzrost emisji gazów cieplarnianych wyrażonych jako CO₂-eq o 26,8%, co pokazuje, że silne ograniczenie dostępu światła i wymiany z atmosferą może zmieniać funkcjonowanie ekosystemu.

Dlatego obecna literatura nie uzasadnia wskazania uniwersalnego procentu powierzchni basenów, który powinien zostać przykryty panelami w polskich gospodarstwach pstrągowych. Właściwym kierunkiem jest etapowe wdrażanie instalacji i równoczesny monitoring temperatury wody, tlenu rozpuszczonego oraz warunków hydraulicznych. W przypadku pstrąga szczególne znaczenie powinno mieć ograniczenie letnich maksimów temperatury, a nie samo zmniejszenie średniej temperatury rocznej.

6. Pobór wody i ciągłość ekologiczna rzek

Ocena środowiskowa gospodarstwa pstrągowego nie kończy się na jakości odpływu. Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE wśród elementów hydromorfologicznych rzek wskazuje m.in. wielkość i dynamikę przepływu oraz ciągłość rzeki.

Ma to istotne znaczenie dla gospodarstw korzystających z historycznych jazów i ujęć grawitacyjnych. Budowle te mogą być ważnym elementem infrastruktury produkcyjnej, ale równocześnie wpływać na migrację organizmów, warunki przepływu oraz siedliska rzeczne. Polskie Prawo wodne w art. 187 ust. 2 wymaga, aby budowle piętrzące umożliwiały migrację ryb.

Dodatkowy kontekst tworzy rozporządzenie (UE) 2024/1991 w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych. Ustanawia ono na poziomie UE cel odtworzenia do 2030 r. co najmniej 25 000 km rzek o swobodnym przepływie oraz wymaga identyfikacji sztucznych barier, przy czym przy ich usuwaniu priorytet mają bariery zbędne. Nie oznacza to nakazu likwidacji wszystkich istniejących piętrzeń, lecz zwiększa znaczenie oceny rzeczywistej funkcji każdej bariery.

Również sama obecność przepławki nie przesądza o pełnym przywróceniu ciągłości. Analiza Noonan et al. (2012) wykazała duże zróżnicowanie skuteczności urządzeń migracyjnych. Dodd et al. (2017), badając naturalistyczny kanał obejściowy dla pstrąga potokowego, rozdzielała skuteczność odnalezienia wejścia, wejścia do urządzenia, prze-

ścia i wyjścia. Ocena funkcjonalności powinna zatem dotyczyć rzeczywistego przejścia ryb, a nie wyłącznie parametrów konstrukcyjnych urządzenia.

Tam, gdzie piętrzenie utraciło funkcję gospodarczą, usunięcie bariery może być rozwiązaniem korzystniejszym od jej technicznego udrażniania. W rzece Villestrup po usunięciu sześciu jazów Birnie-Gauvin et al. (2018) stwierdzili wzrost liczby migrujących smoltów pstrąga. Szersze badania 22 niskich barier w Danii i północnej Anglii potwierdziły możliwość odtwarzania siedlisk lotycznych i zwiększenia zagęszczenia łososiowatych, ale wykazały również silną zależność efektu od warunków lokalnych (Bubb et al., 2021).

Z punktu widzenia modernizacji polskich hodowli oznacza to możliwość poszukiwania synergii. Zmniejszenie poboru wody dzięki częściowej recyrkulacji może w niektórych gospodarstwach pozwolić pozostawić większy przepływ w naturalnym korycie, a w określonych warunkach także zmniejszyć zależność produkcji od istniejącego piętrzenia. Nie jest to efekt automatyczny, lecz zagadnienie, które powinno być analizowane podczas projektowania modernizacji.

Tabela 2. Rekomendowane wskaźniki środowiskowej efektywności gospodarstwa pstrągowego

Obszar oceny	Zalecany wskaźnik	Pożądany kierunek zmian	Znaczenie środowiskowe
Żywienie	FCR – kg paszy/kg przyrostu	↓	mniejsze zużycie paszy oznacza ograniczenie zużycia surowców i potencjalnego ładunku N i P
Woda	m ³ wody/kg wyprodukowanej ryby	↓	pozwała ocenić rzeczywistą efektywność wykorzystania zasobów wodnych
Energia	kWh/kg ryby	↓	szczególnie istotne w systemach PRAS i RAS
Energia odnawialna	udział OZE w całkowitym zużyciu energii (%)	↑	ogranicza ślad klimatyczny energochłonnych technologii
Azot	kg N/t wyprodukowanej ryby	↓	umożliwia ocenę rzeczywistego ładunku zamiast wyłącznie stężenia na odpływie
Fosfor	kg P/t wyprodukowanej ryby	↓	bezpośrednio związany z potencjałem eutrofizacji
Zawiesiny	kg TSS/t wyprodukowanej ryby	↓	wskazuje skuteczność przechwytywania frakcji stałej
Temperatura	liczba godzin powyżej przyjętej temperatury progowej	↓	pozwała ocenić ekspozycję ryb na warunki termiczne potencjalnie ograniczające dobrostan i produkcję

Obszar oceny	Zalecany wskaźnik	Pożądany kierunek zmian	Znaczenie środowiskowe
Tlen	czas lub liczba zdarzeń poniżej przyjętego DO	↓	wskaźnik bezpieczeństwa środowiska hodowlanego
Fotowoltaika nad basenami	produkcja PV oraz udział zacinionej powierzchni	optymalizacja lokalna	pozwała równocześnie oceniać efekt energetyczny i wpływ zacinienia na warunki wodne
Pobór z ciek	udział poboru w aktualnym przepływie (%)	↓	pokazuje rzeczywistą presję gospodarstwa na reżim hydrologiczny
Ciągłość ekologiczna	rzeczywista skuteczność migracji ryb	↑	ważniejsza od samego stwierdzenia obecności przepławki

Źródła: Bergheim i Brinker (2003); Roque d'Orbcastel et al. (2009); Boissy et al. (2011); Noonan et al. (2012); Samuel-Fitwi et al. (2013); Wind et al. (2022); Song et al. (2024); Nobre et al. (2025).

Wskaźniki te nie są proponowane jako nowe wartości normatywne. Ich zadaniem jest umożliwienie porównywania efektywności środowiskowej gospodarstw niezależnie od ich wielkości i wielkości przepływu. W szczególności uzupełnienie obowiązujących wskaźników stężeniowych o ładunki odniesione do jednostki produkcji pozwala odróżnić rzeczywiste ograniczenie emisji od efektu rozcieńczenia.

7. Rekomendacje dla polskich hodowli

Na podstawie dostępnej literatury można sformułować następujące kierunki modernizacji:

1. **Ograniczać jednostkowy pobór wody, ale nie utożsamiać modernizacji z obowiązkiem przejścia na pełny RAS.** Dla wielu istniejących gospodarstw racjonalnym rozwiązaniem może być częściowa recyrkulacja zachowująca możliwość wykorzystania naturalnego spadku terenu (Roque d'Orbcastel et al., 2009; Martins et al., 2010; Dalsgaard et al., 2013; Wind et al., 2022).
2. **Traktować efektywność żywienia i szybkie przechwytywanie zawiesiny jako podstawowe działania środowiskowe.** Ograniczenie ilości paszy potrzebnej do uzyskania jednostki przyrostu redukuje zarówno zużycie surowców, jak i ilość składników biogennych trafiających do systemu, a mechaniczna separacja powinna następować przed rozpadem frakcji stałej (Bergheim i Brinker, 2003; Boissy et al., 2011).
3. **Rozszerzyć monitoring gospodarstwa poza wymagane prawem stężenia na odpływie.** Do oceny efektywności środowiskowej powinny służyć również FCR, m³ wody/kg ryby, kWh/kg ryby oraz ładunki N, P i zawiesiny w przeliczeniu na tonę produkcji.

Takie wskaźniki umożliwiają porównywanie technologii niezależnie od wielkości przepływu.

4. **Łączyć rozwój recyrkulacji z dekarbonizacją energii.** Im większe zapotrzebowanie na pompowanie, natlenianie i oczyszczanie, tym większe znaczenie środowiskowe ma źródło energii (Samuel-Fitwi et al., 2013; Wind et al., 2022).
5. **Traktować PV nad basenami jako rozwiązanie wielofunkcyjne, ale wdrażać je etapowo.** Instalacja może jednocześnie produkować energię i ograniczać dopływ promieniowania do wody, jednak literatura nie pozwala obecnie wyznaczyć uniwersalnego optymalnego stopnia zacienienia dla gospodarstw pstrągowych. Każde wdrożenie powinno być połączone z monitoringiem temperatury i tlenu (Song et al., 2024; Ray et al., 2024; Nobre et al., 2025).
6. **Łączyć modernizację gospodarstwa z oceną hydromorfologiczną cieku.** Ograniczenie poboru powinno – tam, gdzie jest to technicznie możliwe – służyć zwiększeniu przepływu pozostającego w naturalnym korycie. Funkcjonalność istniejących przepławek powinna być oceniana na podstawie skuteczności migracji, a bariery, które nie pełnią już istotnej funkcji, powinny być rozpatrywane pod kątem możliwości przebudowy lub usunięcia (Noonan et al., 2012; Dodd et al., 2017; Birnie-Gauvin et al., 2018; Bubb et al., 2021).

8. Wnioski

Nie istnieje jedna technologia minimalizująca oddziaływanie produkcji pstrąga we wszystkich kategoriach środowiskowych. Pełna recyrkulacja pozwala silnie ograniczyć pobór wody i zwiększyć kontrolę nad odpływem zanieczyszczeń, ale powoduje wzrost znaczenia energii. System przepływowy może natomiast wykorzystywać praktycznie bezemisyjną energię hydrauliczną, lecz pozostaje zależny od zasobów cieku i bez odpowiedniego oczyszczania może zwiększać lokalny ładunek biogenów. Wyniki LCA przemawiają, za oceną wielokryterialną, a nie za promowaniem jednej technologii niezależnie od warunków lokalnych.

Dla istniejących gospodarstw pstrągowych w Polsce najbardziej perspektywiczny wydaje się model łączący naturalny spad hydrauliczny, częściową recyrkulację, efektywne natlenianie, precyzyjne żywienie, mechaniczną separację zawieszin, odnawialne źródła energii i stały monitoring parametrów środowiskowych.

Aquavoltaics może stać się dodatkowym elementem takiego modelu, szczególnie jeżeli panele zostaną wykorzystane jednocześnie do produkcji energii i kontrolowanego ograniczenia nagrzewania wody. Obecny stan wiedzy uzasadnia jednak przede wszyst-

kim badania pilotażowe w gospodarstwach pstrągowych strefy umiarkowanej, a nie przyjmowanie z góry określonego procentu powierzchni wymagającego zacienienia.

Modernizacja technologiczna powinna być wreszcie powiązana z funkcjonowaniem całego ekosystemu rzecznoego. Ograniczenie poboru wody, zwiększenie przepływu pozostającego w korycie i poprawa rzeczywistej ciągłości biologicznej mogą sprawić, że wzrost efektywności gospodarstwa będzie jednocześnie narzędziem ograniczania jego oddziaływania na rzekę. W tym ujęciu przyszłość zrównoważonego pstrągarstwa nie polega na przeciwstawieniu produkcji ryb ochronie środowiska, lecz na projektowaniu gospodarstw, w których oba cele są realizowane równocześnie.

Literatura

- Bergheim A., Brinker A. 2003. Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering* 27(1): 61–77.
- Birnie-Gauvin K., Candee M.M., Baktoft H., Larsen M.H., Koed A., Aarestrup K. 2018. River connectivity reestablished: Effects and implications of six weir removals on brown trout smolt migration. *River Research and Applications* 34(6): 548–554. doi: 10.1002/rra.3271.
- Boissy J. et al. 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture* 321: 61–70. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.08.033.
- Bubbs D.H., Birnie-Gauvin K., Tummers J.S., Aarestrup K., Jepsen N., Lucas M.C. 2021. Short-Term Effects of Low-Head Barrier Removals on Fish Communities and Habitats. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 697106. doi: 10.3389/fevo.2021.697106.
- Dalsgaard J., Lund I., Thorarinsdottir R., Drengstig A., Arvonen K., Pedersen P.B. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53: 2–13. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.008.
- Dodd J.R., Cowx I.G., Bolland J.D. 2017. Efficiency of a nature-like bypass channel for restoring longitudinal connectivity for a river-resident population of brown trout. *Journal of Environmental Management* 204: 318–326. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.004.
- Ghamkhar R., Hicks A. 2020. Comparative environmental impact assessment of aquafeed production: Sustainability implications of forage fish meal and oil free diets. *Resources, Conservation and Recycling* 161: 104849. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104849.

- Martins C.I.M. et al. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43: 83–93.
- Nobre R.L.G. et al. 2025. Floating photovoltaics strongly reduce water temperature: A whole-lake experiment. *Journal of Environmental Management* 375: 124230. doi: 10.1016/j.jenvman.2025.124230.
- Noonan M.J., Grant J.W.A., Jackson C.D. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* 13: 450–464. doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00445.x.
- Ray N.E., Holgersson M.A., Grodsky S.M. 2024. Immediate Effect of Floating Solar Energy Deployment on Greenhouse Gas Dynamics in Ponds. *Environmental Science & Technology* 58(50): 22104–22113. doi: 10.1021/acs.est.4c06363.
- Roque d'Orbcastel E., Blancheton J.P., Aubin J. 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering* 40: 113–119. doi: 10.1016/j.aquaeng.2008.12.002.
- Samuel-Fitwi B., Nagel F., Meyer S., Schroeder J.P., Schulz C. 2013. Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquacultural Engineering* 54: 85–92. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.12.002.
- Sanchez-Matos J., Regueiro L., González-García S., Vázquez-Rowe I. 2023. Environmental performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production in Galicia-Spain: A Life Cycle Assessment approach. *Science of the Total Environment* 856: 159049. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159049.
- Song F., Lu Z., Guo Z., Wang Y., Ma L. 2024. The Effects of a Fishery Complementary Photovoltaic Power Plant on the Near-Surface Meteorology and Water Quality of Coastal Aquaculture Ponds. *Water* 16: 526. doi: 10.3390/w16040526.
- Wind T., Schumann M., Hofer S., Schulz C., Brinker A. 2022. Life cycle assessment of rainbow trout farming in the temperate climate zone based on the typical farm concept. *Journal of Cleaner Production* 380: 134851. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134851.

Akty prawne i dokumenty:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1991 z dnia 24 czerwca 2024 r. w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych.

- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, tekst jednolity: Dz.U. 2025 poz. 960 z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych, Dz.U. 2019 poz. 1311.

Określenie możliwości hodowli pstrąga tęczowego w polskiej strefie przybrzeżnej Bałtyku z wykorzystaniem pływających platform hodowlanych

Tomasz Heese¹, Krzysztof Stanuch², Maciej Kiełpiński³, Katarzyna Pikuła¹

¹ Laboratorium Gospodarki Wodnej, Politechnika Koszalińska,
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, tomasz.heese@tu.koszalin.pl

² BalticNet Sp. z o.o., 76-150 Darłowo, ul. Conrada 1

³ Zarząd Morskich Portów Szczecin i Świnoujście Spółka
Akcyjna, ul. Bytomska 7, 70-603 Szczecin

Streszczenie

W artykule przedstawiono wstępne założenia przemysłowej technologii hodowli pstrąga tęczowego w polskiej strefie przybrzeżnej Bałtyku z wykorzystaniem platform hodowlanych. Ze względów technicznych istotne jest aby głębokość wody w miejscu kotwiczenia wynosiła co najmniej 20 m. Kolejnym czynnikiem mającym istotny wpływ na technologię z wykorzystaniem platform hodowlanych jest odległość od portu serwisowego do miejsc kotwiczenia posadowionych obiektów z obsadami ryb. Bardzo ważnym elementem proponowanej technologii jest optymalizacja konstrukcji platform hodowlanych dostosowanych do specyficznych warunków polskiej strefy przybrzeżnej (wytrzymałość, wyporność i dzielność morską). Wymagane jest zabezpieczanie konstrukcji po sezonie hodowlanym na okres jesienno-zimowy. Technologia obejmuje optymalizację warunków żywienia, bezpieczeństwa parazytologicznego, mikrobiologicznego i wirusologiczne ryb. W technologii uwzględniono ocenę wpływu na środowisko, zagrożenie chorobami czy zanieczyszczeniem wody. W razie konieczności istnieją techniczne możliwości ograniczenia tych zagrożeń. Pływająca platforma, z uwagi na ruch wody i prądy morskie, powinna mieć możliwość cyrkulacji od miejsca zakotwiczenia w granicach promienia 100÷200 m. Zamocowanie platformy hodowlanej o rozmiarach walca, np. o średnicy 50 m i wysokości 10 m, linią kotwiczną o długości 150 m spowoduje jej oddziaływania na powierzchnię dna i toni wodnej w obszarze od 3 do 12 ha.

1. Wstęp

Akwakultura należy dziś do najszybciej rozwijającego się sektora światowej produkcji żywności i jest najbardziej niskoemisyjną hodowlą białka zwierzęcego w porównaniu ze zwierzętami stałocieplnymi. Według szacunków już teraz akwakultura przewyższa

pod względem produkcji światowe połowy ryb dziko żyjących. To znaczy, że akwakultura staje się głównym źródłem ryb i owoców morza na świecie oraz wnosi znaczny wkład w globalny system żywnościowy. To nakłada na akwakulturę nowe obowiązki i musi być prowadzona w sposób zrównoważony. Ryby i owoce morza biją dziś rekordy popularności. Dla przykładu hodowla łososa atlantyckiego to branża warta 16 miliardów dolarów, zajmująca drugie miejsce pod względem wartości wśród organizmów hodowlanych, zaraz po krewetkach. Norwegia i Chile przodują w światowej produkcji i wysyłają większość swoich produktów do Stanów Zjednoczonych i Europy. Większość łososa hodowlanego hodzi się w otwartych sadzach sieciowych w zatokach lub fiordach (The Foodprint of farmed seafood, published: 10/14/20, Last updated: 5/21/25).

Globalna produkcja żywności pochodzenia wodnego nadal rośnie, osiągając w 2024 r. nowy rekordowy poziom 235 milionów ton, obejmujący zarówno zwierzęta wodne jak i glony, głównie dzięki akwakulturze. W 2024 r. ten podsektor przekroczył rekordowy poziom 142 milionów ton produkcji organizmów wodnych. W tym samym roku szacuje się, że na całym świecie do spożycia dostępnych było 21,3 kg żywności pochodzącej ze zwierząt wodnych na mieszkańca. Żywność pochodząca ze zwierząt wodnych stanowiła 15 procent dostępnego białka zwierzęcego na świecie oraz zapewniała co najmniej 20 procent dostępnego białka zwierzęcego dla ponad 40 procent światowej populacji istniejącej w 2023 roku (FAO. 2026. The State of World Fisheries and Aquaculture 2026 – Blue Transformation: turning vision into impact. Rome.<https://doi.org/10.4060/cd8357en>).

Morze Bałtyckie jako akwen o stosunkowo niskim zasoleniu oraz będące pod silną presją gospodarki, w trym transportu morskiego, oraz rolnictwa krajów nadbrzeżnych wydaje się mało predystynowane do akwakultury morskiej. Z wszystkich krajów nadbrzeżnych to praktycznie Polska ma najmniej korzystne warunki do rozwoju akwakultury. Uwarunkowania przyrodnicze stają się znaczącą przeszkodą w rozwijaniu metod hodowli ryb w specjalnych platformach pływających. Kraje takie jak Dania i Finlandia mają już znaczące doświadczenie w hodowli morskiej głównie pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) a w Finlandii dodatkowo siei (*Coregonus lavaretus*). Firmy prowadzą badania i inwestują w technologie hodowli głównie ograniczenia ładunku fosforu i azotu do wód Bałtyku. Modyfikują paszę i optymalizują proces karmienia tak by bilansować fizjologiczne potrzeby ryb a jednocześnie minimalizować wpływ hodowli na środowisko (Sugiura, 2018; Baeverfjord et al., 2019; Dalsgaard et al., 2023; Alltech Fennoaqua Ltd 2025).

Poniżej zaprezentowano uwarunkowania prawne i środowiskowe oraz założenia projektu konstrukcji i kotwiczenia platformy do hodowli ryb w warunkach polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku.

2. Formalne i prawne możliwości akwakultury w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyk

Dokumentem regulującym prawo do przestrzeni morskiej jest plan zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej (MPZP) wprowadzonym w oparciu o ustawę o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (UOM) - Dz. U. z 2024 r. poz. 1125 z późn. zm. Na podstawie załącznika nr 2 do MPZP można określić, na którym akwenie istnieje potencjalna możliwość prowadzenia akwakultury. Należy w tym przypadku odnieść się do określenia „funkcja akwakultury”. Oznacza to prowadzenie chowu lub hodowli organizmów morskich na podstawie ustawy z dnia 19 grudnia 2014 r. o rybołówstwie morskim (RM) - Dz. U. z 2025 r. poz. 590. Akwakultura w polskich obszarach morskich jest określona jako „funkcja dopuszczalna”. Oznacza to, że prowadzenie akwakultury nie może wypierać funkcji podstawowej ani jej zakłócać.

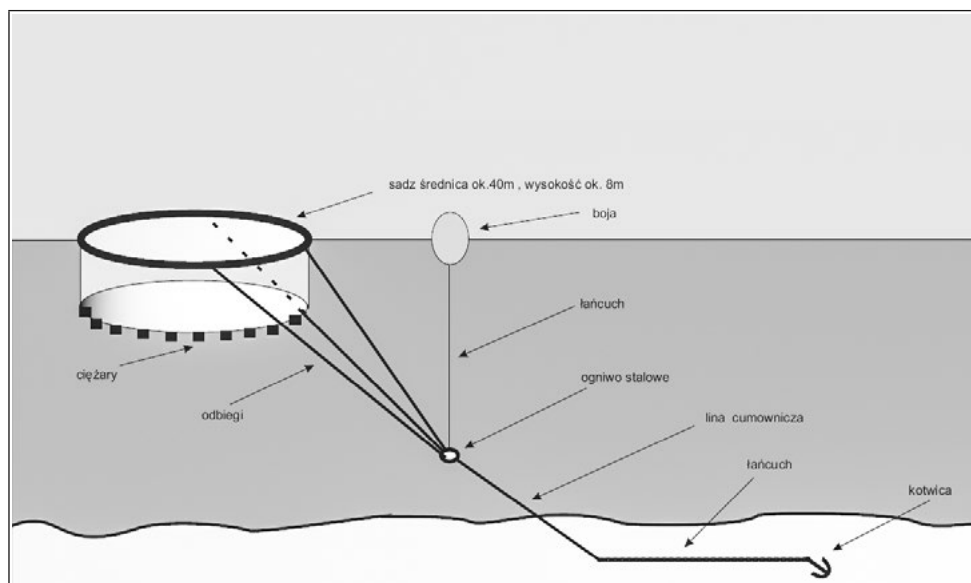
We wszystkich kartach akwenów akwakultura jest określona jako funkcja dopuszczalna i najczęściej na akwenach typu „Pw” co oznacza, że jest to rezerwa dla przyszłego rozwoju z dopuszczeniem wydobycia. Należy to tak rozumieć, że akwakultura jest dopuszczona między innymi gdy nie koliduje z wydobyciem oraz wymaga zgody koncesjonariusza złoża lub inwestora infrastruktury. Na 14 kartach akwenu w MPZP jest wskazanie o dopuszczeniu akwakultury. Zgodnie z polskimi przepisami należy najpierw wystąpić o ustalenie preferowanej lokalizacji hodowli zgodnie z postanowieniami MPZP, złożyć wnioski o wydanie decyzji lokalizacyjnej oraz wnioski o wydanie zezwolenia na prowadzenie hodowli. Komplet dokumentacji tworzy uzyskanie oceny oddziaływania na środowisko, decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, następnie jeszcze pozwolenie wodnoprawne i operat wodnoprawny.

3. Produkcja i rozwiązania konstrukcyjne

W warunkach polskich optymalnym rozwiązaniem może być wprowadzenie do platform morskich pstrąga tęczowego o masie 600÷800 g. Hodowla w morzu trwa od kwietnia do października. Po tym okresie jest możliwe uzyskanie ryb o masie od 3 do 4 kg. W wodach morskich dzięki stosunkowo niskiej temperaturze i wysokim natlenieniom mamy do czynienia z doskonałym współczynnikiem konwersji paszy, szybkim wzrostem oraz bardzo wysoką jakością produktu.

W akwakulturze fińskiej wprowadza się ryby o masie około 1000 g (Dalsgaard et al., 2023). Dzięki zastosowanej modyfikowanej paszy z dodatkiem fitazy ograniczono wydalania fosforu przez ryby łososiowate. Jako kryteria przyjęto stężenie fosforu w całym organizmie oraz przewidywaną indywidualną strawność surowców. Oszacowano, że specyficzny zrzut rozpuszczonego fosforu przez samice pstrąga tęczowego hodowane

w wodzie słonawej można zmniejszyć niemal o połowę w porównaniu z obecnymi poziomami, natomiast zrzut fosforu w postaci cząstek stałych można zmniejszyć o prawie 30% bez negatywnego wpływu na wydajność ryb i rozwój gonad (Dalsgaard et al., 2023).



Rysunek 1. Konceptcja konstrukcyjna platformy do hodowli ryb w morskiej strefie przybrzeżnej

W przypadku rozwiązań konstrukcyjnych planuje się wykonanie prototypu dostosowanego do warunków hydrologicznych panujących na południowym Bałtyku. Ideowo przedstawiono to na rysunku 1. Obecnie istnieje możliwość wykonania elementów konstrukcji z odpowiednio wytrzymałych tworzyw sztucznych, a zastosowane materiały sieciowe muszą być odpowiednio wytrzymałe i odporne na potencjalne ataki fok czy ptaków rybożernych. Istotnym elementem jest sposób kotwiczenia. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na bezpieczne utrzymanie lokalizacji i odporność na falowanie pojawiające się w okresie od kwietnia do października. Po tym okresie eksploatacji platformy planuje się składować w portach lub bezpośrednio na plaży. Konstrukcja pozwala na demontaż ograniczając składowaną powierzchnię. W sezonie planowana jest wymiana materiału sieciowego z uwagi na dostosowanie jej do wzrostu ryb.

Proponowany projekt akwakultury morskiej stanowi znaczącą szansę dla regionalnego rozwoju gospodarczego na polskim wybrzeżu. Po zrealizowaniu projektu pilotażowego i uzyskaniu pozytywnych rezultatów można wstępnie założyć poziom produkcji do 3 000 ton pstrąga tęczowego rocznie. To pozwoli stworzyć szeroki wachlarz wysoko wykwalifikowanych i długoterminowych miejsc pracy. Na to składa się również działalności wylęgarni słodkowodnych, produkcji ryb na lądzie przez dwa lata, produkcji morskiej,

eksploatacji statków, zarządzaniem zdrowiem ryb, inżynierii, logistyki, przetwórstwa, zapewnienia jakości oraz eksportu. Oprócz bezpośredniego zatrudnienia projekt pobudzi popyt na usługi lokalnych dostawców w zakresie usług morskich, konserwacji statków, produkcji sieci, operacji nurkowych, logistyki pasz, serwisu sprzętu i transportu.

4. Uwarunkowania środowiskowe

Uwarunkowania środowiskowe budzą najwięcej kontrowersji. Dysponujemy już coraz lepszymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i technologicznymi by minimalizować negatywny wpływ takich farm rybnych na środowisko morskie. Jednym z głównych celów projektu jest wykazanie, że akwakultura morska może przyczynić się do stworzenia gospodarki Morza Bałtyckiego opartej w większym stopniu na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, przy jednoczesnym zminimalizowaniu emisji biogenów. Planuje się w ramach pilotażu stosować nowoczesne diety o niskiej zawartości fosforu, uzupełnione enzymami fitazy. Fitaza zwiększa strawność fosforu, umożliwiając zmniejszenie jego zawartości w paszy bez obniżania wydajności w hodowli ryb. Dodatkowo planuje się instalowanie wymiennych ścian dna platform hodowlanych. Takie rozwiązanie pozwoli na usuwanie sedymentujących odchodów i niezjedzonych cząstek paszy, ułatwienie w usuwaniu martwych ryb oraz ograniczenie osadzania się sedymentującej materii bezpośrednio pod platformami.

5. Podsumowanie

Istnieje wiele nowych rozwiązań konstrukcyjnych do hodowli ryb w morzu. Mamy rozwiązania np., sadze w kształcie kuli gdzie na konstrukcji metalowej jest rozpostarta siatka a sadz w tym kształcie może nawet dryfować i jest bardziej odporny na falowanie. Kolejne rozwiązania to znaczące konstrukcje w postaci wielkich sadzy zatapianych w czasie sztormu. Innowacyjne rozwiązania idą w kierunku budowy farm rybnych niekiedy połączonych również z panelami słonecznymi. Z uwagi na problemy z chorobami i ucieczkami ryb opracowano, w ramach projektu NEPTUN finansowanego ze środków UE, metodę hodowli łososia atlantyckiego w zamkniętych systemach akwakulturowych (ang. closed cage aquaculture system, CCAS).

W przypadku polskiej strefy ekonomicznej nie mamy wielkiego wyboru. Z przyczyn środowiskowych i ochrony cennej przyrody hodowla w Zatoce Gdańskiej czy Puckiej oraz Pomorskiej jest praktycznie wykluczona. Pozostaje nam otwarta przestrzeń polskiej strefy ekonomicznej i to ze wskazaniem na kilka obszarów zgodnie z obowiązującym Planem dla Obszarów Morskich (MPZP).

Czy zaproponowana konstrukcja i materiały wytrzymają trudne warunki sztormowe na południowym Bałtyku? Bez testów tego się nie dowiemy. Możemy zadbać o minimalizację wpływu takiej farmy, składającej się z kilkunastu platform, na środowisko poprzez poszukiwanie nowych rozwiązań redukcji i minimalizacji negatywnego wpływu morskich farm rybnych na ekosystem strefy przybrzeżnej w tym szczególnie dna. Z drugiej strony dzięki takim inwestycjom możemy uzyskać efekt gospodarczy, rekompensatę dla rybaków za utratę łowisk, zatrudnienie i lokalnie uzyskać nowy potencjał rozwoju przetwórstwa rybnego.

6. Cytowana literatura

- Alltech Fennoaqua Ltd 2025. We Feed Success – Responsibly. Sustainability Report for Year 2025.
- Baeverfjord, G., Antony Jesu Prabhu, P., Fjelldal, P.G., Albrektsen, S., Hatlen, B., Denstadli, V., Ytteborg, E., Takle, H., Lock, E.-J., Berntssen, M.H.G., Lundebye, A.-K., Åsgård, T., Waagbø, R., 2019. Mineral nutrition and bone health in salmonids. *Rev. Aquacult.* 11, 740–765. <https://doi.org/10.1111/raq.12255>.
- Dalsgaard J., Ekmann K. S., Jensen M. D., Pedersen P. B., 2023. Reducing phosphorus emissions from net cage fish farming by diet manipulation. *Journal of Environmental Management* 334 (2023) 117445, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117445>
- FAO. 2026. The State of World Fisheries and Aquaculture 2026 – Blue Transformation: turning vision into impact. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd8357en>
- Sugiura, S.H., 2018. Phosphorus, aquaculture, and the environment. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 26, 515–521. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1471040>.

Spis rysunków:

- Rysunek 1. Schemat konstrukcji platformy do hodowli ryb w morzu i metody kotwienia (zaprezentowane rozmiary dotyczą konstrukcji testowej)

Molekularny monitoring wody z wykorzystaniem eDNA – przyszłość diagnostyki chorób oraz zarządzania hodowlą ryb

Radosław Kowalski¹, Maksymilian Krzyś²,
Karol Cieleń³, Beata Sarosiek¹, Michał Błitek¹

¹ Zespół Biotechnologii Organizmów Wodnych, InLife Instytut Rozrodu
Zwierząt i Badań Żywności PAN; ul. Trylińskiego 18, 10-683 Olsztyn

² PZW okręg w Nowym Sączu, Ośrodek Zarybieniowy w Łopusznej

³ Polski Związek Wędkarski Okręg we Wrocławiu, Ośrodek Zarybieniowy Szczodre.

W skrócie

Z próbki wody możemy dziś uzyskać informację, czy w zlewni znajduje się określony patogen, jakie gatunki ryb są obecne w rzece, czy pojawił się gatunek inwazyjny, a w wybranych zastosowaniach także śledzić zmiany liczebności ryb. eDNA nie zastępuje całej klasycznej diagnostyki i monitoringu, ale pozwala badać wodę szybciej, częściej i bez odławiania zwierząt.

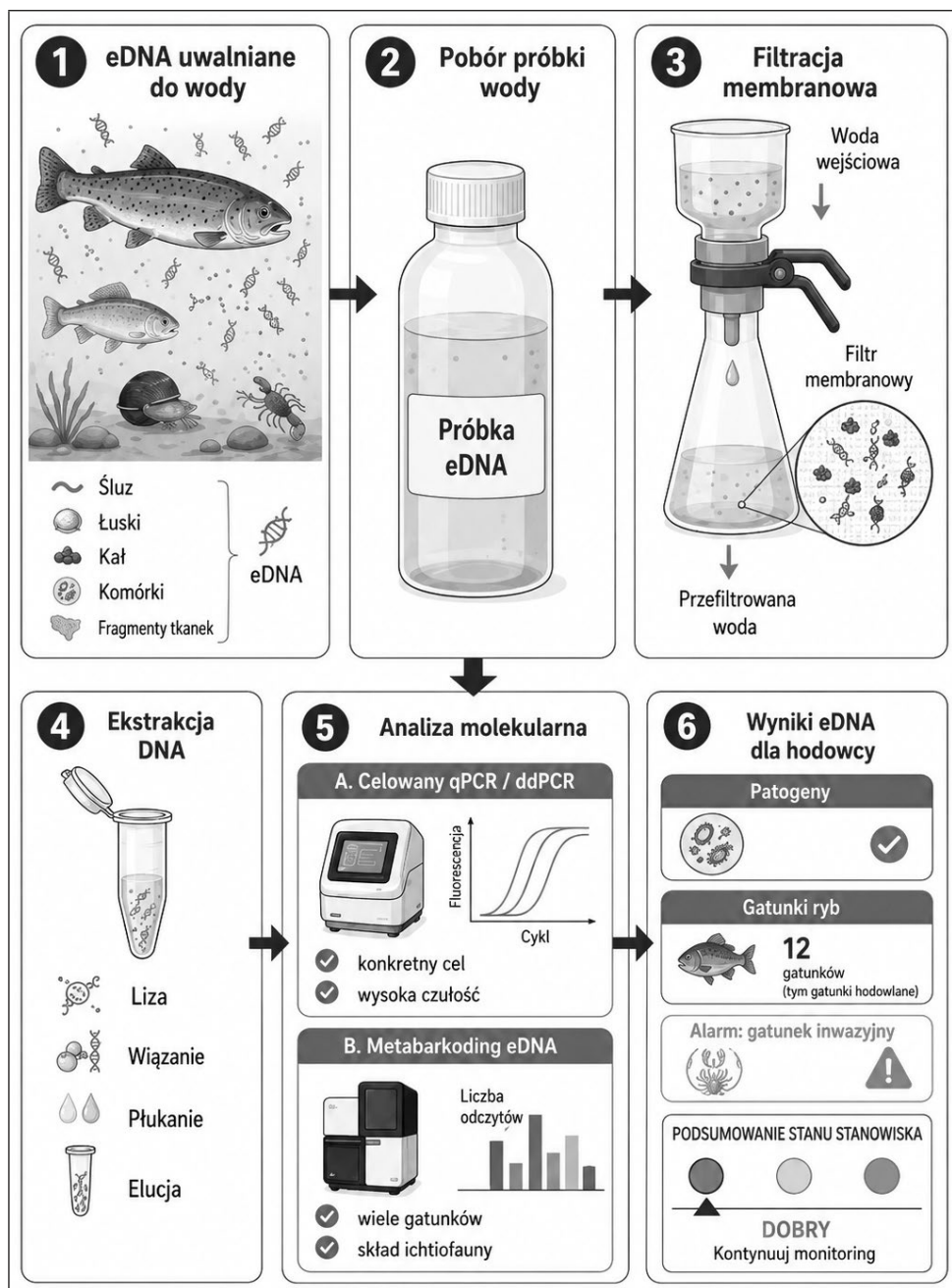
Woda jako próbka biologiczna

Hodowca patrząc na wodę ocenia zwykle jej temperaturę, natlenienie, przepływ, barwę czy zawiesinę. Coraz częściej do tej listy można dodać jeszcze jedną informację: materiał genetyczny organizmów, które w tej wodzie żyją albo niedawno się w niej znajdowały. Ryby, pasożyty, bakterie i inne organizmy pozostawiają w środowisku DNA pochodzące m.in. ze śluzu, komórek nabłonka, odchodów, gamet i fragmentów tkanek. To właśnie environmental DNA – eDNA.

Największą zaletą tego podejścia jest prostota samego poboru. Zamiast odławiać ryby, transportować je do laboratorium albo pobierać tkanki, można pobrać wodę w ustalonym punkcie. Następnie DNA jest koncentrowane, najczęściej na filtrze, izolowane i analizowane metodami molekularnymi. To sprawia, że monitoring można wykonywać seryjnie: na ujęciu, w zbiornikach, na odpływie i w rzece powyżej lub poniżej gospodarstwa.

Tabela 1. Dwa podstawowe sposoby „czytania” eDNA

Metoda	Najprostsze pytanie	Przykład dla rybactwa
qPCR / RT-qPCR / ddPCR	Czy jest tu konkretny organizm lub patogen?	Np. patogen łososiowatych, pstrąg/łosoś albo wybrany gatunek inwazyjny.
Metabarkoding	Co żyje w tej wodzie?	Jednoczesny obraz składu ichtiofauny w rzece lub zbiorniku.



Rysunek 1. Schemat analizy eDNA – od materiału biologicznego w wodzie, przez pobór i filtrację próbki, do analizy molekularnej i wyniku dla hodowcy.

Jak wygląda analiza eDNA od strony technicznej?

W praktyce wynik jest tak dobry, jak cały łańcuch od punktu poboru do interpretacji. Najważniejszy nie jest więc sam aparat PCR, lecz powtarzalność poboru, kontrola zanieczyszczeń i dobre dopasowanie metody do pytania. Dla hodowcy warto zapamiętać sześć kolejnych etapów:

- Projekt poboru. Najpierw ustala się, co chcemy wykryć i gdzie. W rzece ważne są punkty referencyjne powyżej badanego miejsca, kolejne punkty wzdłuż cieku i powtórzenia terenowe. W gospodarstwie naturalny układ to ujęcie – obiekt – odpływ – odbiornik. Jedna próbka daje zdjęcie chwili; seria próbek zaczyna tworzyć film.
- Pobór i filtracja. Zwykle pobiera się od kilkuset mililitrów do kilku litrów wody, zależnie od mętności, spodziewanej ilości DNA i rodzaju filtra. W przeglądzie Fu i wsp. (2021) najczęstszy był filtr 0,45 μm , ale dobór materiału i porowatości powinien wynikać z walidacji. W wodzie bardzo mętnej czasem lepiej przefiltrować kilka mniejszych objętości niż na siłę jedną dużą.
- Zabezpieczenie próbki. Filtr trzeba szybko zakonserwować lub zamrozić. Dla DNA logistyka jest względnie wybacząca; przy eRNA rygor jest większy, bo RNA zanika szybciej. To wada w transporcie, ale ogromna zaleta, gdy chcemy wykrywać zdarzenia trwające krótko – np. aktywność fizjologiczną lub tarło.
- Izolacja i kontrola inhibitorów. Z filtra odzyskuje się DNA/RNA metodą kolumnową, magnetyczną lub inną zwalidowaną procedurą. W wodach humusowych, bogatych w zawiesinę czy materię organiczną problemem są inhibitory reakcji PCR; dlatego dobry protokół zawiera kontrolę wydajności izolacji i inhibicji.
- Analiza molekularna. qPCR/ddPCR odpowiada najczęściej na pytanie o jeden lub kilka konkretnych celów. RT-qPCR dodaje etap odwrotnej transkrypcji i jest potrzebny przy wirusach RNA oraz przy badaniu eRNA. Metabarkoding wykorzystuje uniwersalne startery, sekwencjonowanie NGS i bioinformatykę, aby z jednej próbki odtworzyć wiele taksonów jednocześnie.
- Kontrole jakości. W monitoringu środowiskowym nie powinno zabraknąć prób ślepych terenowych, kontroli filtracji/izolacji, kontroli bez matrycy w PCR oraz kontroli dodatnich. Nowe wytyczne podkreślają także znaczenie walidacji testu, powtarzalności i porównań międzylaboratoryjnych (Hunter i wsp., 2026).

Praktyczna zasada

Nie ma jednej „idealnej” objętości wody ani jednego filtra dla wszystkich zastosowań. Protokół dla czystej górskiej rzeki nie musi działać równie dobrze w wodzie humusowej, po intensywnych opadach czy w odpływie z gospodarstwa. W monitoringu

seryjnym ważniejsza od maksymalnej objętości pojedynczej próbki jest powtarzalność sposobu poboru.

Ile dziś kosztuje analiza jednej próbki?

Nie istnieje jeden światowy cennik eDNA. Cena zależy od liczby próbek, liczby celów, tego czy laboratorium dostarcza zestaw terenowy, czy w cenie jest izolacja, sekwencjonowanie, bioinformatyka i raport, a także od tego, czy test dla danego gatunku jest już zwalidowany. Publiczne cenniki dostępne w sierpniu 2026 r. dają jednak użyteczny rzęd wielkości.

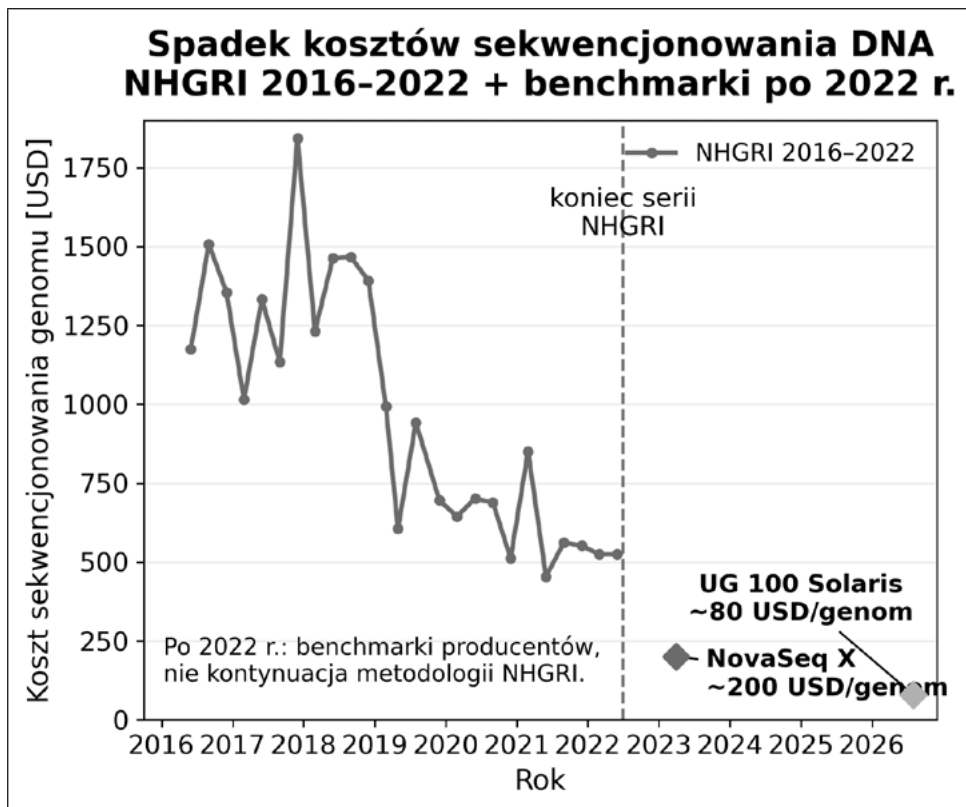
Tabela 2. Ile kosztuje analiza jednej próbki

Rodzaj analizy	Przykładowe publiczne ceny 2026	Orientacyjnie w PLN / próbkę
Celowany qPCR – 1 gatunek/cel	Jonah: 55 USD; Sylphium: 99 EUR przy >9 próbkach	ok. 205–426 zł
Celowany qPCR – 3 gatunki/cele	Jonah: 145 USD; Sylphium: 131 EUR przy >9 próbkach	ok. 540–564 zł
Metabarkoding ryb	Jonah: 95 USD + 20 USD za panel ryb; Sylphium: 320 EUR przy >9 próbkach	ok. 428–1378 zł
Szeroki panel wielomarkerowy	CALeDNA: 7500 USD / 30 próbek (6 markerów)	ok. 931 zł

Kwoty są jedynie benchmarkiem rynku, a nie ofertą dla konkretnego projektu; przeliczenie pomocnicze według kursów z 15.08.2026 (1 USD ≈ 3,72 zł; 1 EUR ≈ 4,31 zł). W małych seriach mogą dochodzić opłaty przygotowawcze, transport i VAT. Z drugiej strony duże serie są wyraźnie tańsze jednostkowo: np. Sylphium obniża cenę jednocelowego testu z 143 EUR dla 1–2 próbek do 99 EUR przy serii powyżej 9 próbek, a metabarkoding z 360 do 320 EUR. Podane wartości odnoszą się do analizy jednej próbki (jednego filtra/ekstraktu) w określonym zakresie usługi, a nie do całorocznego monitoringu gospodarstwa. Koszt programu monitoringowego wynika z liczby punktów × liczby terminów × liczby powtórzeń oraz ewentualnych kosztów poboru, transportu i raportowania.

Czy eDNA rzeczywiście taniej?

Tak – przede wszystkim dzięki tańszemu sekwencjonowaniu, automatyzacji i możliwości analizowania wielu próbek w jednym przebiegu. Nie ma jednak uczciwej, jednolitej serii „średniej ceny próbki eDNA” za całą dekadę, bo zmieniały się jednocześnie zakres usług i standardy jakości. Dlatego poniższy wykres pokazuje technologiczne tło: oficjalny benchmark NHGRI dla kosztu produkcji sekwencji DNA. Mediana rocznego kosztu na megabazę spadła między 2016 a 2022 r. o około 61%. Pełna cena usługi eDNA nie spada w identycznym tempie, bo nadal płacimy za pobór, izolację, walidację, kontrolę jakości, pracę ludzi i interpretację danych.



Rysunek 2. Spadek kosztów technologii sekwencjonowania DNA. Linia przedstawia jednorodną serię kosztów sekwencjonowania genomu człowieka publikowaną przez National Human Genome Research Institute (NHGRI; Narodowy Instytut Badań nad Genomem Człowieka), będący częścią amerykańskich National Institutes of Health (NIH). Publicznie dostępna seria NHGRI kończy się w maju 2022 r. na poziomie około 525 USD za genom. Dalszy postęp technologiczny pokazano jako osobne benchmarki producentów: około 200 USD/genom dla platformy Illumina NovaSeq X w 2023 r. oraz około 80 USD/genom dla Ultima Genomics UG 100 Solaris według aktualnej oferty. Punkty te nie są bezpośrednią kontynuacją metodologii NHGRI i odnoszą się przede wszystkim do kosztu sekwencjonowania przy wysokiej przepustowości, a nie do pełnej ceny badania eDNA obejmującej pobór prób, izolację DNA, przygotowanie bibliotek, kontrole jakości, bioinformatykę i interpretację.

Znaczenie dla eDNA. Spadek kosztu samego odczytu DNA jest jednym z powodów, dla których metabarkoding eDNA można dziś stosować w coraz większych seriach próbek. W praktyce coraz większą część kosztu kompletnego badania stanowią etapy przygotowania próbki, praca laboratoryjna, kontrola jakości i analiza bioinformatyczna.

Co to oznacza dla rybaka?

Jeszcze kilka lat temu eDNA było przede wszystkim narzędziem projektów naukowych. Dziś koszt pojedynczego celowanego oznaczenia jest porównywalny z wieloma rutynowymi analizami specjalistycznymi. Ekonomia zaczyna więc sprzyjać nie jednora-

zowemu badaniu, ale monitorowaniu seryjnemu – a właśnie seria w czasie daje hodowcy najwięcej informacji.

1. Patogeny – czy woda może ostrzec przed chorobą?

To prawdopodobnie najbardziej interesujące dla hodowców zastosowanie. W klasycznej diagnostyce często zaczynamy działać dopiero wtedy, gdy ryby wykazują objawy albo rośnie śmiertelność. Monitoring środowiskowego DNA lub RNA (eDNA/eRNA) daje możliwość przesunięcia obserwacji wcześniej – na etap obecności materiału genetycznego patogenu w wodzie. Dla wirusów o genomie RNA stosuje się analizę eRNA i etap odwrotnej transkrypcji (RT-qPCR), dlatego w praktyce wygodnie mówi się szerzej o środowiskowych kwasach nukleinowych (eNA).

Benedicenti i wsp. (2024) pokazali, że pojedynczy, praktyczny schemat filtracji i ekstrakcji można wykorzystać do przesiewowego wykrywania różnych patogenów istotnych dla akwakultury. W komercyjnym RAS dla łososa atlantyckiego Krishna i wsp. (2026) przez 12 tygodni monitorowali w wodzie SGPV, ISAV-HPR0, IPNV, PRV-1 oraz *Flavobacterium psychrophilum*. Dla SGPV i ISAV-HPR0 sygnał w wodzie dobrze odpowiadał dynamice zakażenia u ryb. Co szczególnie interesujące, podwyższony poziom SGPV w wodzie był obserwowany przed transferem ryb do systemu, w którym później wystąpiła większa śmiertelność. Nie wszystkie patogeny zachowywały się jednak równie przewidywalnie, co pokazuje, że test trzeba walidować dla konkretnej choroby i konkretnego systemu.

Dla gospodarstwa pstrągowego można wyobrazić sobie prostą sieć punktów: woda przed ujęciem, ujęcie, wybrane sektory produkcji, odpływ i odbiornik. Taki monitoring nie zastąpi badania klinicznego chorej ryby, ale może wskazywać, że presja patogenu rośnie i że warto zwiększyć czujność, ograniczyć transfery albo wcześniej pobrać materiał diagnostyczny.

Nie tylko „dodatni/ujemny” – ważne jest, gdzie sygnał rośnie

- Wzrost sygnału już w wodzie przed ujęciem sugeruje presję pochodzącą ze zlewni i daje czas na zwiększenie bioasekuracji przed wejściem problemu do gospodarstwa.
- Niski sygnał na ujęciu, a wzrost dopiero w sektorach produkcyjnych może wskazywać na źródło wewnątrz obiektu, utrzymywanie się patogenu w systemie albo intensywne uwalnianie materiału przez obsadę.
- Wzrost na odpływie trzeba interpretować łącznie z poziomem w obiekcie i przepływem. Sam dodatni wynik poniżej gospodarstwa nie dowodzi jeszcze, że w odbiorniku rozwija się choroba – pokazuje przede wszystkim obecność materiału genetycznego.

- Nagły wzrost w wielu punktach po ulewie lub wezbraniu może wynikać ze zmiany transportu materiału w zlewni. W takiej sytuacji szczególnie cenna jest szybka próbka powtórna.

Najważniejsze zastrzeżenie

Wynik dodatni oznacza wykrycie materiału genetycznego. Nie zawsze oznacza, że w próbce znajduje się żywy, zakaźny patogen ani że ryby są chore. Dlatego eDNA jest świetnym narzędziem przesiewowym i ostrzegawczym, ale wynik trzeba interpretować razem z obrazem klinicznym, epidemiologią i hydrologią.

Czy zabiegi profilaktyczne mogą zmienić wynik eDNA?

Tak – dlatego profilaktyka i leczenie powinny być traktowane jako ważne zdarzenia technologiczne w planie poboru. Kąpiele w formalinie, nadtlenu wodoru, soli lub innych środkach mogą zmniejszyć obciążenie patogenem i jego uwalnianie do wody, ale mogą też przejściowo zmieniać ilość materiału uwalnianego przez ryby, mikrobiom i warunki reakcji molekularnej. Nie należy więc zakładać stałego kierunku efektu. W praktyce przy każdym poborze warto zapisać rodzaj zabiegu, dawkę, czas jego rozpoczęcia i zakończenia oraz czas, jaki upłynął do pobrania próbki. Jeżeli celem jest porównywanie trendu między terminami, najlepiej pobierać próbki w standaryzowanym odstępie od zabiegów, a przy ocenie skuteczności profilaktyki – zaplanować próbkę przed zabiegiem i serię próbek po nim. Dla konkretnego patogenu i gospodarstwa zależność tę trzeba zwalidować lokalnie.

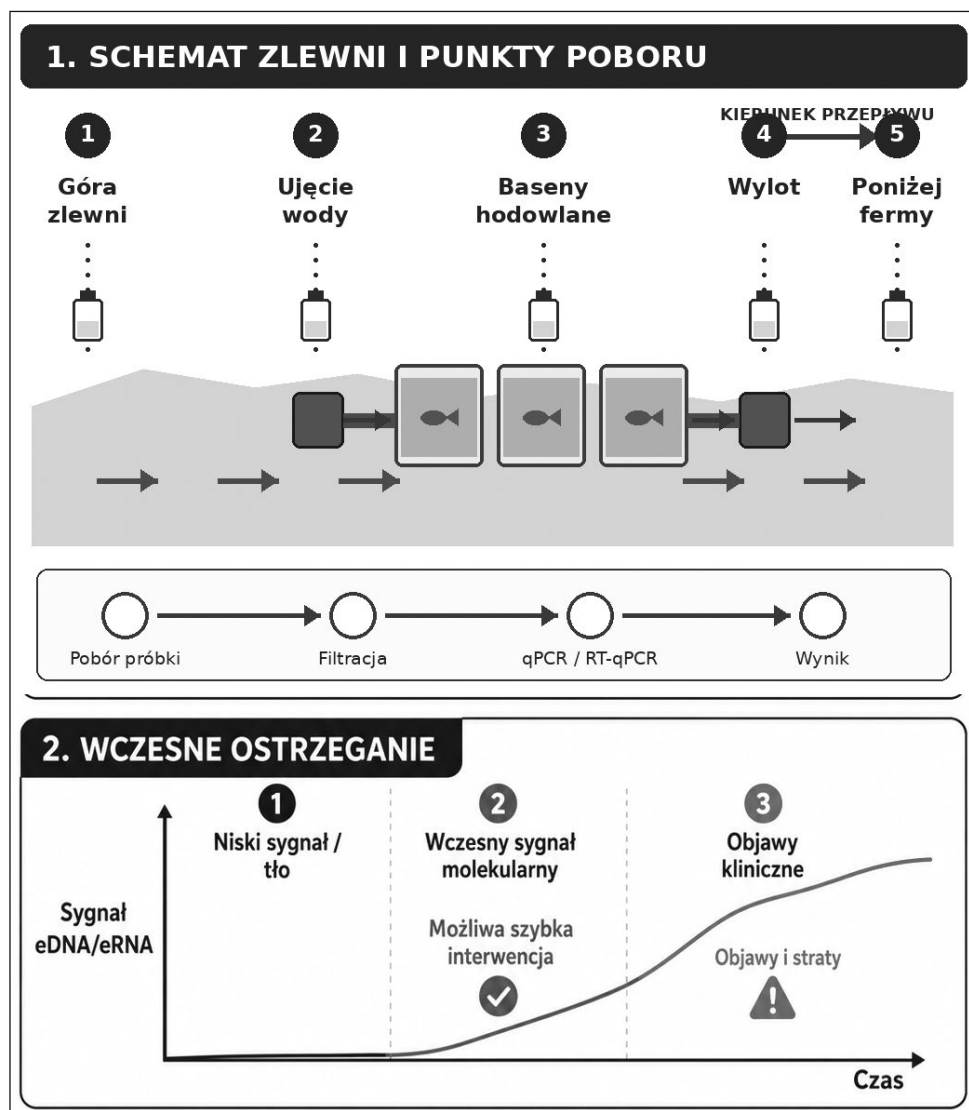
2. Co naprawdę pływa w rzece? Metabarkoding ichtiofauny

Drugie zastosowanie jest bardziej „ekologiczne”, ale dla zarybień i zarządzania wodami równie praktyczne. Z jednej próbki można próbować odtworzyć listę gatunków ryb obecnych w danym odcinku cieku. Wymaga to metabarkodingu – sekwencjonuje się fragment DNA wspólny dla wielu gatunków, a następnie porównuje uzyskane sekwencje z bazą referencyjną.

W estuarium Skaldy Van Driessche i wsp. (2024) wykryli przy użyciu eDNA 71 gatunków ryb, podczas gdy równoległe połowy wykazały 42 gatunki. Co ważne, metoda odtworzyła nie tylko samą listę gatunków, lecz także sezonowe i przestrzenne zmiany zespołu ryb. To dobrze pokazuje, dlaczego eDNA jest tak atrakcyjne w dużych, trudnych do odłowu systemach.

Dla rybaka interesujące są jednak nie liczby z jednej publikacji, ale pytania, na które można odpowiedzieć: czy gatunek docelowy nadal występuje w odcinku po zarybieniu? czy pojawił się drapieżnik lub konkurent? czy skład ichtiofauny różni się pomiędzy do-

plywami? czy w latach suchych zasięg wybranych gatunków się cofa? Regularny monitoring pozwala stworzyć mapę zmian, której pojedynczy elektroodłów nie pokaże.



Rysunek 3. Schemat zlewni i punktów poboru w gospodarstwie rybackim oraz idea wczesnego ostrzegania.

Kierunek przepływu wody: od góry zlewni przez ujęcie i obiekt hodowlany do odpływu i odbiornika.

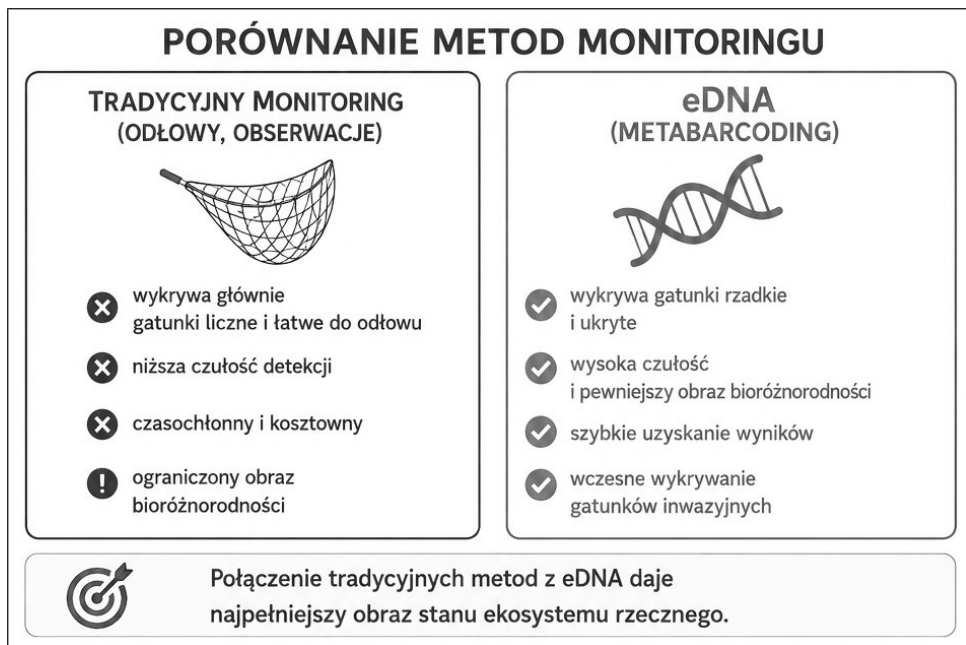
Dlaczego metabarkoding nie jest po prostu „spisem wszystkich ryb”?

- Startery nie amplifikuja wszystkich gatunków z identyczną wydajnością, a poprawność oznaczenia zależy od jakości biblioteki sekwencji referencyjnych. Brak gatunku w wyniku nie zawsze jest więc równoznaczny z jego pewną nieobecnością.

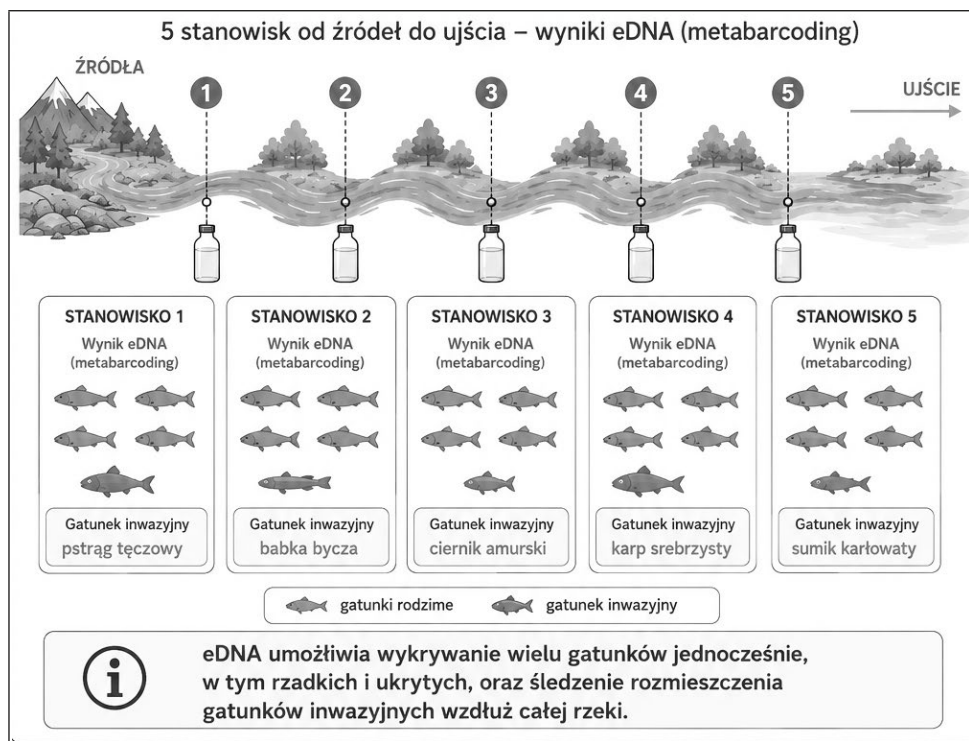
- W rzece DNA przemieszcza się z wodą. Dlatego najlepszą informację daje nie jedna butelka, lecz seria stanowisk ułożonych wzdłuż cieku – wtedy można obserwować, gdzie sygnał pojawia się, nasila lub zanika.
- Sezon ma znaczenie. Migracja, tarło, temperatura i przepływ zmieniają zarówno rozmieszczenie ryb, jak i ilość uwalnianego DNA. Dobrze zaprojektowany monitoring powinien więc powtarzać te same stanowiska w porównywalnych okresach roku.

Co jest szczególnie ważne w monitoringu wieloletnim?

- Stosować możliwie ten sam protokół poboru, filtracji i markerów. Zmiana metody pomiędzy latami może stworzyć pozorną zmianę składu ichtiofauny, której w rzeczywistości nie było.
- Zachowywać nie tylko końcową listę gatunków, ale również surowe dane i informację o wersji bazy referencyjnej. Bazy rosną, więc próbkę lub dane można w przyszłości przeanalizować ponownie i poprawić oznaczenia.
- Traktować wynik zerowy ostrożnie. Przy gatunkach rzadkich ważne są powtórzenia terenowe i laboratoryjne; brak sygnału w jednej próbce jest słabszym dowodem nieobecności niż brak sygnału w całej serii.



Rysunek 4. Porównanie tradycyjnego monitoringu ichtiofauny z metabarkodingiem eDNA – metody są komplementarne, a nie konkurencyjne.



Rysunek 5. Przykład przestrzennego monitoringu metabarkodingowego wzdłuż biegu rzeki – powtarzane stanowiska pozwalają śledzić zmiany składu ichtiofauny i lokalizować odcinki wymagające weryfikacji metodami klasycznymi.

Warto pamiętać: w rzece DNA jest transportowane z nurtem, dlatego pojedyncze wykrycie nie zawsze oznacza, że ryba stała dokładnie przy punkcie poboru. Gęsta sieć punktów i powtarzanie prób pozwalają jednak obserwować gradient sygnału i znacznie lepiej lokalizować źródło.

3. Gatunki inwazyjne – najlepiej znaleźć je, zanim będzie je widać

Przy gatunkach inwazyjnych przewaga eDNA jest szczególnie wyraźna. Największa szansa na ograniczenie inwazji istnieje wtedy, gdy liczebność jest jeszcze niska – czyli dokładnie wtedy, gdy klasyczny odłów może niczego nie wykazać. Wczesny dodatni sygnał molekularny może wskazać miejsce, w którym trzeba zwiększyć intensywność klasycznego monitoringu.

W ostatnich latach eDNA wykorzystywano do śledzenia ekspansji organizmów obcych w całych systemach rzecznych. Guo i wsp. (2024) pokazali szybkie rozprzestrzenianie się złotego matza w systemie wodnym Pekinu, a Coya i wsp. (2025) łączyli eDNA z hydroakustyką przy monitoringu inwazyjnego sumia europejskiego w Hiszpanii. Dla

praktyki ważny jest właśnie ten model: eDNA jako bardzo czuły „radar”, a metoda klasyczna jako narzędzie potwierdzające i opisujące skalę zjawiska.

Możliwy model dla gospodarstwa

Raz lub kilka razy w sezonie badać wodę zasilającą pod kątem krótkiej listy gatunków, których pojawienie się byłoby problemem dla gospodarstwa lub zlewni. Po dodatnim wyniku zagęścić pobór prób i uruchomić klasyczny monitoring.

4. Czy z DNA można policzyć ryby? – liczebność i skuteczność zarybień

To najbardziej kuszące pytanie, ale tutaj potrzebna jest ostrożność. Zasadniczo więcej ryb oznacza więcej uwalnianego DNA, jednak ilość DNA w próbce zależy też od przepływu, temperatury, pH, aktywności i wielkości ryb, tarta, tempa rozpadu DNA oraz miejsca poboru próbki.

Najnowsze badania coraz częściej próbują również półościowo wiązać wyniki metabarkodingu z biomasą ryb (Kasmi i wsp., 2025), ale zależność nie jest uniwersalna. Mimo to istnieją bardzo dobre przykłady ilościowe. Tillotson i wsp. (2018) wykazali silną zależność między stężeniem eDNA a liczbą tarlaków łososia czerwonego w małym cieku na Alasce. Pokazuje to, że eDNA może nie tylko odpowiadać na pytanie „czy jest?”, ale w odpowiednio skalibrowanym systemie także informować „czy jest go więcej czy mniej?”.

W kontekście zarybień szczególnie wartościowe byłoby nie tyle obiecywanie dokładnego policzenia ryb z litra wody, ile seryjne porównywanie tych samych odcinków. Przed zarybieniem – sygnał bazowy. Po zarybieniu – pojawienie się i rozprzestrzenienie sygnału. W kolejnych sezonach – trwałość obecności. Jeżeli dodatkowo część punktów kalibrujemy elektrodłowem, hydroakustyką albo inną metodą klasyczną, można z czasem zbudować lokalny model pozwalający znacznie lepiej ocenić skuteczność programu zarybieniowego.

Czy można odróżnić ryby z zarybienia od ryb z naturalnego tarła?

Standardowe eDNA na poziomie gatunku odpowiada na pytanie, czy dany gatunek jest obecny, ale samo w sobie nie rozróżnia pochodzenia osobników. Takie rozróżnienie jest jednak możliwe, jeżeli program zarybieniowy od początku ma „podpis genetyczny”: genotypowane są tarlaki, a potomstwo można później przypisywać do rodziców metodą parentage-based tagging (PBT), albo materiał zarybieniowy różni się od populacji naturalnej zwalidowanymi markerami SNP, mikrosatelitarnymi lub haplotypami. Metody te są dobrze rozwinięte dla łososiowatych, ale zwykle wymagają materiału tkankowego z odłowionych ryb; genotypowanie pochodzenia bezpośrednio z mieszaniny eDNA w rzece jest znacznie trudniejsze i nie powinno być obiecywane jako rutynowe narzędzie.

dzie. Dlatego w praktycznym monitoringu eDNA najlepiej służy do wskazania trwałości obecności i miejsc rekrutacji, natomiast pochodzenie „zarybienie vs naturalny rozród” potwierdza się okresowym odłowem i analizą genetyczną (np. PBT).

Jak skalibrować eDNA dla własnej rzeki?

1. Wybrać kilka stałych odcinków i pobierać eDNA tego samego dnia, w którym wykonywany jest elektroodłów, liczenie tarlaków albo pomiar hydroakustyczny.
2. Powtórzyć porównanie przy co najmniej kilku różnych warunkach przepływu i temperatury. Model z jednego dnia będzie zbyt łatwo mylił zmianę liczby ryb ze zmianą hydrologii.
3. Analizować przede wszystkim kierunek zmian: wzrost/spadek sygnału, zasięg wykrycia oraz utrzymanie się gatunku w kolejnych sezonach. Dopiero później próbować przeliczać sygnał na liczbę osobników.
4. Po dwóch–trzech sezonach lokalnych danych można budować własny model kalibracyjny dla konkretnej rzeki i gatunku – zwykle znacznie bardziej wiarygodny niż przelicznik przeniesiony z innego systemu.

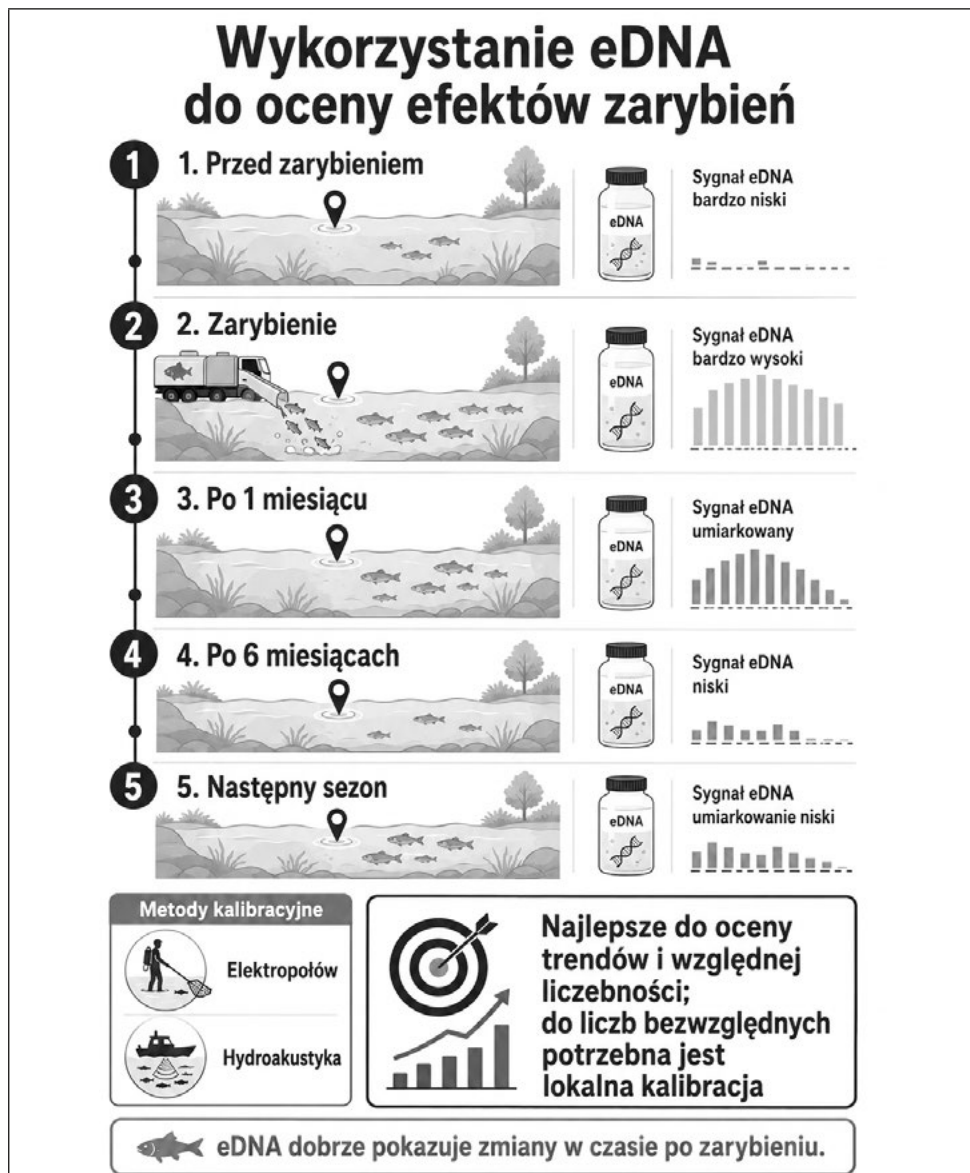
5. Naturalne tarło po restytucji – czy ryby nie tylko wróciły, ale też się rozmnażają?

W programach restytucji samo wykrycie dorosłych ryb w rzece jest dopiero pierwszym etapem sukcesu. Z punktu widzenia biologii populacji ważniejsze jest pytanie, czy ryby docierają do odpowiednich siedlisk, odbywają naturalne tarło i czy w kolejnym sezonie pojawia się rekrutacja młodych. Klasyczne liczenie tarlaków, gniazd tarłowych czy odłowy narybku pozostają bardzo cenne, ale są pracochłonne i mogą mieć niską wykrywalność przy małych populacjach.

eDNA już dziś dobrze nadaje się do śledzenia takiego procesu. Tillotson i wsp. (2018) wykazali silną zależność między stężeniem eDNA a liczebnością tarlaków łososia czerwonego. Homel i wsp. (2021) wykorzystali celowany qPCR do określania zasięgu tarła zagrożonego łososia keta w dopływach Kolumbii i wykryli współczesne miejsca tarła, których wcześniej nie dokumentowano. Z kolei Di Muri i wsp. (2023) pokazali w jeziorze Windermere, że sezonowe i przestrzenne piki sygnału eDNA golca arktycznego odpowiadały znanym oraz potencjalnym tarłiskom i były potwierdzane połowami dojrziałych ryb.

Jeszcze ciekawszy kierunek otwiera eRNA. Aminaka i wsp. (2025) wykazali u medaki, że w czasie zachowań godowych w wodzie wzrastała liczba transkryptów genu *klhl10*, swoistego dla gonad, a wzrost sygnału korelował z czasem prób kopulacji. Autorzy interpretują to jako sygnał uwalniania gamet. To ważna zmiana jakościowa: klasyczne eDNA mówi przede wszystkim „gatunek jest tutaj”, natomiast odpowiednio dobrany

eRNA może w przyszłości pomagać odpowiedzieć „co ten gatunek właśnie robi?”. W tym samym badaniu jeden z markerów nabłonkowych eRNA miał w wodzie w 25°C okres półtrwania rzędu kilkunastu minut, co pokazuje, że RNA może dawać bardzo świeży sygnał zdarzenia – ale jednocześnie wymaga szybkiego i dobrze wystandaryzowanego zabezpieczenia próbki.



Rysunek 6. Przykładowy schemat oceny skuteczności zarybień: pomiar bazowy przed zarybieniem, następnie seria pomiarów eDNA w kolejnych terminach, okresowo kalibrowana elektroodtętem lub hydroakustyką.

Dla restytucji łososia, troci, lipienia czy innych ryb reofilnych najbardziej praktyczny byłby monitoring trzystopniowy dostosowany do biologii gatunku: (1) na początku okresu tarła – np. jesienią u łososia i troci, a wiosną u lipienia czy głowacicy – pojawienie się dorosłych ryb w miejscach potencjalnego tarła, (2) w szczycie rozrodu – wzrost sygnału eDNA, a w przyszłości także zwalidowanych gatunkowo markerów eRNA związanych z gametami, (3) po okresie inkubacji i wylęgu – wykrycie potomstwa oraz potwierdzenie rekrutacji metodą klasyczną lub molekularną. Powtarzając ten schemat w kolejnych latach można odróżnić jednorazowy powrót ryb od rzeczywistego odtwarzania samopodtrzymującej się populacji.

6. Jak mógłby wyglądać prosty monitoring eDNA w gospodarstwie pstrągowym?

1. Wybrać 3–5 stałych punktów poboru: powyżej ujęcia, na ujęciu, w reprezentatywnym sektorze produkcji, na odpływie i poniżej gospodarstwa.
2. Na początek wybrać jeden cel: np. panel patogenów albo monitoring wybranego gatunku w zlewni.
3. Pobierać próbki seryjnie – np. co 2–4 tygodnie w okresach największego ryzyka – zamiast robić pojedynczą analizę raz w roku.
4. Zapisywać równolegle temperaturę, przepływ, opady, obsadę, karmienie oraz zdarzenia technologiczne – zwłaszcza kąpiele profilaktyczne, leczenie, dezynfekcję, sortowanie i transfery ryb. Bez tego później trudno wyjaśnić zmianę sygnału.
5. Pierwszy sezon potraktować jako kalibrację. Porównywać wyniki eDNA z klasyczną diagnostyką, odłowami lub obserwacjami gospodarstwa.
6. Dopiero po zebraniu serii danych ustalać progi alarmowe i decyzje operacyjne.

7. Ile kosztowałby prosty pilotaż?

Dla gospodarstwa, które chce najpierw sprawdzić użyteczność metody, rozsądnym początkiem byłoby np. 5 stałych punktów poboru × 6 terminów w sezonie, czyli 30 próbek. Przy dzisiejszych publicznych cennikach daje to orientacyjnie około 6–17 tys. zł za celowany panel qPCR obejmujący 1–3 cele albo około 13–41 tys. zł za metabarkoding ryb – przed doliczeniem transportu, VAT i ewentualnych usług niestandardowych. To pokazuje, że najtańszy program nie musi być największy: lepiej zacząć od dobrego pytania i 30 porównywalnych próbek niż od setki przypadkowych. Są to zatem koszty całej przykładowej serii 30 analiz w jednym sezonie, a nie koszt pojedynczego badania.

Wariant ekonomiczny

Pierwszy rok: panel 1–2 najważniejszych patogenów na ujęciu i w obiekcie + kilka terminów metabarkodingu w rzece. Drugi rok można rozszerzyć dopiero o te moduły, które rzeczywiście zmieniły sposób podejmowania decyzji.

8. Co eDNA potrafi – i czego jeszcze nie potrafi

Tabela 3. Co eDNA potrafi – i czego jeszcze nie potrafi

Dziś potrafi bardzo dobrze	Tu nadal potrzebna jest ostrożność
wykrywać obecność konkretnych gatunków i wielu patogenów	dokładne przeliczanie sygnału DNA na liczbę ryb bez lokalnej kalibracji
pokazywać zmiany składu ichtiofauny	rozdzielenie żywego patogenu od samego materiału genetycznego w każdym przypadku
wykrywać rzadkie i inwazyjne organizmy	wskazanie dokładnego miejsca pochodzenia DNA w szybko płynącej rzece
monitorować zmiany sygnału w czasie i przestrzeni	interpretacja pojedynczej próbki bez danych o przepływie i warunkach środowiskowych
ograniczać potrzebę częstych odłowów kontrolnych	zastąpienie diagnostyki klinicznej w przypadku chorej obsady

Jedna metoda to za mało – najlepszy wynik daje triangulacja

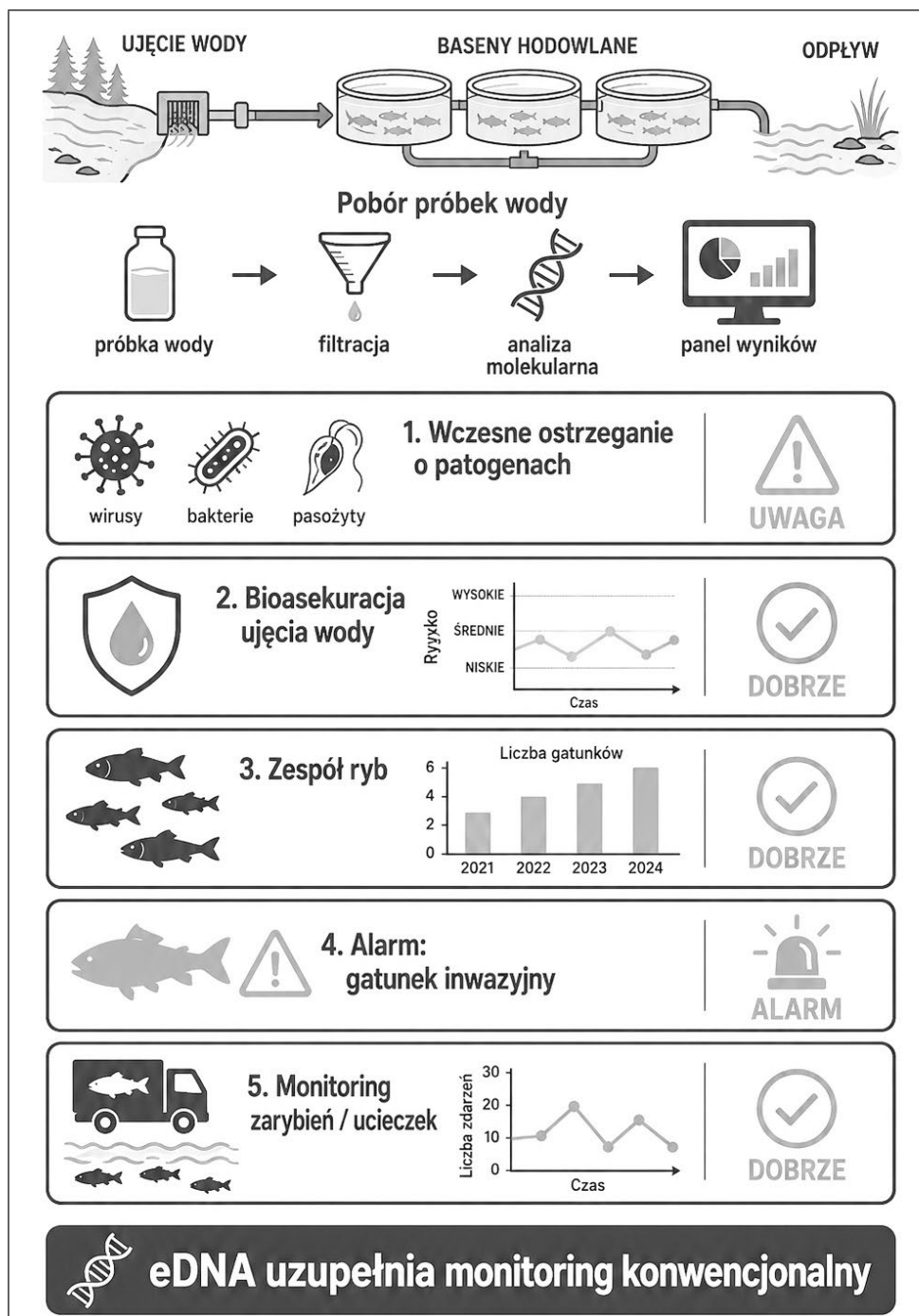
Najbardziej użyteczne programy monitoringowe nie przeciwstawiają eDNA metodom klasycznym. Łączą sygnał molekularny z przepływem, temperaturą i tlenem, a okresowo także z elektroodłowem, hydroakustyką albo obserwacją tarlisk. Dzięki temu dodatni wynik można osadzić w rzeczywistym kontekście biologicznym, a brak detekcji przestaje być automatycznie interpretowany jako brak ryb.

W praktyce eDNA jest szczególnie dobre jako „warstwa ciągła”: można pobierać wodę często i taniej niż wykonywać pełne odłow. Metody klasyczne mogą wtedy pełnić rolę punktów kalibracyjnych wykonywanych rzadziej, ale dostarczających informacji o wieku, rozmiarze, kondycji czy bezwzględnej liczebności, których sam sygnał DNA zwykle nie daje.

Im większe konsekwencje decyzji, tym bardziej warto wymagać dwóch niezależnych źródeł informacji. eDNA może świetnie powiedzieć „sprawdź to miejsce teraz”, ale decyzję o leczeniu stada, ograniczeniu zarybień czy interwencji wobec gatunku inwazyjnego lepiej opierać na potwierdzeniu inną metodą.

Ciekawostka – filtr jako kapsuła czasu

Jeżeli filtr lub wyizolowany DNA zostanie prawidłowo zarchiwizowany, można wrócić do niego po latach i zadać pytanie, którego w dniu poboru jeszcze nie stawiano. Dzisiejsza próbka może więc stać się materiałem do przyszłego monitoringu gatunków inwazyjnych, patogenów albo zmian bioróżnorodności.



Rysunek 7. Zintegrowany monitoring eDNA w gospodarstwie rybackim: patogeny, bioasekuracja ujęcia, ichtiofauna, gatunki inwazyjne oraz monitoring zarybień i ucieczek.

Przyszłość eDNA: integracja z systemami monitoringu jakości wody

Największy potencjał eDNA pojawi się wtedy, gdy przestaniemy traktować je jako pojedyncze badanie laboratoryjne, a zaczniemy integrować z rutynowym monitoringiem jakości wody. Boje pomiarowe, automatyczne stacje terenowe czy autonomiczne drony podwodne mogą w przyszłości łączyć klasyczne parametry fizykochemiczne – temperaturę, tlen, pH, przewodność, mętność czy skład chemiczny – z regularnym poborem próbek do analiz molekularnych. W rzece pozwalałoby to równocześnie śledzić jakość wody, pojawianie się zanieczyszczeń, patogenów i zmiany w rozmieszczeniu ryb wzdłuż cieku. W jeziorze autonomiczny system mógłby pobierać próbki w różnych punktach i na różnych głębokościach, tworząc przestrzenną mapę jakości wody oraz sygnału eDNA w całym akwenu.

Jeszcze ciekawsza jest możliwość tworzenia **historii molekularnej danego akwenu**. Jeżeli próbki wody byłyby pobierane systematycznie, według stałego protokołu, a część materiału lub wyizolowanego DNA byłaby archiwizowana, po kilku czy kilkunastu latach powstałby swoisty „bank pamięci biologicznej” rzeki lub jeziora. Do takich próbek można byłoby wracać i analizować je ponownie, nawet pod kątem gatunków czy markerów, których w momencie poboru jeszcze nie badano. Pozwalałoby to odtworzyć, kiedy pojawił się gatunek inwazyjny, kiedy zaczął zanikać gatunek rodzimy, jak zmieniała się ichtiofauna po regulacji rzeki, suszy, awarii środowiskowej, zmianie sposobu użytkowania zlewni czy rozpoczęciu programu zarybieniowego.

Taki długoterminowy zapis eDNA może stać się bardzo cennym narzędziem ochrony bioróżnorodności. Zamiast opierać ocenę stanu populacji wyłącznie na sporadycznych odłowach, można byłoby obserwować trendy rok po roku, porównywać całe odcinki rzek i wcześniej wykrywać niekorzystne zmiany. W połączeniu z danymi hydrologicznymi, chemicznymi i klasycznym monitoringiem biologicznym eDNA tworzyłoby nie tylko „zdjęcie” aktualnego stanu ekosystemu, ale **ciągły zapis jego zmian w czasie**.

W przyszłości monitoring wody może więc przestać odpowiadać jedynie na pytanie „jaka jest dziś jakość wody?”, a zacząć równocześnie odpowiadać: „co w tej wodzie żyje, jak to się zmienia i czy ekosystem zmierza w dobrym kierunku?”

Jak może wyglądać taki system za kilka lat?

Boja lub stacja terenowa może mierzyć parametry fizykochemiczne w sposób ciągły, a próbnik eDNA uruchamiać według harmonogramu albo po zdarzeniu – np. gwałtownym spadku tlenu, wezbraniu czy wzroście mętności. W jeziorze podobną rolę może pełnić autonomiczny pojazd lub próbnik pobierający wodę z różnych głębokości.

Największa wartość powstaje, gdy kolejne wyniki trafiają do jednej bazy danych razem z temperaturą, przepływem, opadami i informacją o zarybieniach. Po kilku latach

otrzymujemy nie serię pojedynczych raportów, lecz cyfrową historię biologiczną akwenu. Taki zapis może pokazać moment pojawienia się gatunku inwazyjnego, wieloletni spadek gatunku rodzimego albo zmianę wykorzystania tarlisk po renaturyzacji.

Ważne jest także archiwizowanie części filtrów lub ekstraktów. Rozwój nowych markerów może sprawić, że za pięć lat z próbki pobranej dziś będziemy potrafili odczytać informację, której obecnie jeszcze nie umiemy szukać.

Podsumowanie

Duże przeglądy literatury pokazują, że eDNA w ciągu ostatnich lat stało się jednym z głównych nieinwazyjnych narzędzi monitoringu wodnej bioróżnorodności (Sahu i wsp., 2025). eDNA nie jest już wyłącznie ciekawostką molekularną. W rybactwie może stać się odpowiednikiem nowego typu czujnika – tyle że zamiast mierzyć tlen czy temperaturę, odczytuje informację biologiczną zawartą w wodzie.

Największy potencjał dla hodowców widzę dziś w trzech obszarach: wczesnym monitoringu patogenów, kontroli biologicznej wody zasilającej i odbiornika oraz ocenie tego, co dzieje się z rybami w zlewni – w tym po zarybieniach. W tych zastosowaniach nie trzeba oczekiwać, aż technologia stanie się idealna. Trzeba natomiast wdrażać ją rozsądnie: seryjnie, z dobrymi kontrolami i zawsze z uwzględnieniem hydrologii oraz klasycznej wiedzy rybackiej.

Najbardziej realistyczna przyszłość nie polega więc na tym, że próbka wody zastąpi rybaka. Raczej na tym, że rybak dostanie z tej samej wody jeszcze jedną warstwę informacji – niewidoczną gołym okiem, ale potencjalnie bardzo użyteczną w decyzjach produkcyjnych.

Literatura

- Aminaka, Y., Wong, M. K.-S., Yada, T., & Hyodo, S. (2025). The use of environmental RNA for inferring fish spawning behavior. *Scientific Reports*, 15, 37559. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23861-8>
- Barnes, M. A., & Turner, C. R. (2016). The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics. *Conservation Genetics*, 17, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0775-4>
- Benedicenti, O., Måsøy Amundsen, M., Mohammad, S. N., Vrålstad, T., Strand, D. A., Weli, S. C., Patel, S., & Sindre, H. (2024). A refinement to eRNA and eDNA-based detection methods for reliable and cost-efficient screening of pathogens in Atlantic salmon aquaculture. *PLOS ONE*, 19(10), e0312337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312337>

- CALeDNA. (2026). NPS costs: Biodiversity. Accessed August 15, 2026.
- Chen, X., Li, S., Zhao, J., & Yao, M. (2024). Passive eDNA sampling facilitates biodiversity monitoring and rare species detection. *Environment International*, 187, 108706. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108706>
- Coxa, R., Rodríguez-Ruiz, A., Fueyo Rodríguez, Á., et al. (2025). Environmental DNA and hydroacoustic surveys for monitoring the spread of the invasive European catfish (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758) in the Guadalquivir River Basin, Spain. *Animals*, 15(2), 285. <https://doi.org/10.3390/ani15020285>
- Deiner, K., Bik, H. M., Mächler, E., et al. (2017). Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology*, 26(21), 5872–5895. <https://doi.org/10.1111/mec.14350>
- Di Muri, C., Lawson Handley, L., Bean, C. W., Benucci, M., Harper, L. R., James, B., Li, J., Winfield, I. J., & Hänfling, B. (2023). Spatio-temporal monitoring of lake fish spawning activity using environmental DNA metabarcoding. *Environmental DNA*, 5(5), 849–860. <https://doi.org/10.1002/edn3.343>
- Fu, M., Hemery, L., & Sather, N. (2021). Cost Efficiency of Environmental DNA as Compared to Conventional Methods for Biodiversity Monitoring Purposes at Marine Energy Sites (PNNL-32310). Pacific Northwest National Laboratory.
- Guo, W., Li, S., & Zhan, A. (2024). eDNA-based early detection illustrates rapid spread of the non-native golden mussel introduced into Beijing via water diversion. *Animals*, 14(3), 399. <https://doi.org/10.3390/ani14030399>
- Hiki, K., Yamagishi, T., & Yamamoto, H. (2023). Environmental RNA as a noninvasive tool for assessing toxic effects in fish: A proof-of-concept study using Japanese medaka exposed to pyrene. *Environmental Science & Technology*, 57(34), 12654–12662. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c03737>
- Homel, K. M., Franklin, T. W., Carim, K. J., McKelvey, K. S., Dysthe, J. C., & Young, M. K. (2021). Detecting spawning of threatened chum salmon *Oncorhynchus keta* over a large spatial extent using eDNA sampling: Opportunities and considerations for monitoring recovery. *Environmental DNA*, 3(3), 631–642. <https://doi.org/10.1002/edn3.159>
- Hunter, M. E., Sepulveda, A., Gleeson, D. M., Trujillo-Gonzalez, A., Helbing, C. C., Rees, H. C., Jones-Slobodian, D. N., Miliano, R. C., Minamoto, T., Theroux, S., Villacorta-Rath, C., Wilcox, T., Yamanaka, H., & Klymus, K. E. (2026). Best practice guidelines for targeted environmental DNA-based proficiency testing in non-regulatory contexts. *Environmental DNA*, 8, e70189. <https://doi.org/10.1002/edn3.70189>

- Jonah Ventures. (2026). Aquatic qPCR and aquatic metabarcoding pricing. Accessed August 15, 2026.
- Kasmi, Y., Núñez-Riboni, I., Blancke, T., Möckel, B., Bernreuther, M., Stransky, C., & Hanel, R. (2025). Fish diversity assessment and semi-quantitative biomass estimation through metabarcoding of environmental DNA. *Ecological Indicators*, 173, 113406. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113406>
- Krishna, D., Petersen, P. E., Dahl, M. M., Egholm, I., von Gersdorff Jørgensen, L., & Christiansen, D. H. (2026). Environmental DNA/RNA for non-invasive early detection and monitoring of pathogen dynamics in Atlantic salmon (*Salmo salar*) recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquaculture*, 611, 743060. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743060>
- Minamoto, T., Miya, M., Sado, T., Seino, S., Doi, H., Kondoh, M., Nakamura, K., Takahara, T., Yamamoto, S., Yamanaka, H., & Araki, H. (2021). An illustrated manual for environmental DNA research: Water sampling guidelines and experimental protocols. *Environmental DNA*, 3, 8–13. <https://doi.org/10.1002/edn3.121>
- Sahu, A., Singh, M., Amin, A., Malik, M. M., Qadri, S. N., Abubakr, A., Teja, S. S., Dar, S. A., & Ahmad, I. (2025). A systematic review on environmental DNA (eDNA) science: An eco-friendly survey method for conservation and restoration of fragile ecosystems. *Ecological Indicators*, 173, 113441. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113441>
- Sylphium Molecular Ecology. (2026). eDNA analysis prices. Accessed August 15, 2026.
- Tillotson, M. D., Kelly, R. P., Duda, J. J., Hoy, M., Kralj, J., & Quinn, T. P. (2018). Concentrations of environmental DNA (eDNA) reflect spawning salmon abundance at fine spatial and temporal scales. *Biological Conservation*, 220, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.030>
- Van Driessche, C., Everts, T., Neyrinck, S., et al. (2024). Environmental DNA metabarcoding reflects spatiotemporal fish community shifts in the Scheldt estuary. *Science of the Total Environment*, 934, 173242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173242>
- Steele, C. A., Anderson, E. C., Ackerman, M. W., Hess, M. A., Campbell, N. R., Narum, S. R., & Campbell, M. R. (2013). A validation of parentage-based tagging using hatchery steelhead in the Snake River basin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(7), 1046–1054. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0451>

- Vandeputte, M., et al. (2021). Can we identify wild-born salmon from parentage assignment data? A case study in the Garonne-Dordogne rivers salmon restoration programme in France. *Aquatic Living Resources*, 34, 5.
- Wetterstrand, K. A. (2023). DNA Sequencing Costs: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP). National Human Genome Research Institute. Accessed August 15, 2026.

Diagnostyka ultrasonograficzna (USG) w hodowli ryb – aktualne możliwości zastosowania i perspektywy rozwoju

Brzyszc Agnieszka, Błitek Michał, Sarosiek Beata, Kowalski Radosław Kajetan

Zespół Biotechnologii Rozrodu Organizmów Wodnych
InLife Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie
10-683 Olsztyn, ul. Trylińskiego 18, a.brzyszc@pan.olsztyn.pl; m.błitek@pan.olsztyn.pl

Rozwój i znaczenie diagnostyki obrazowej w akwakulturze

W ostatnich dekadach nastąpił znaczący rozwój nowoczesnych metod diagnostyki obrazowej. Wpłynęło to na sposób prowadzenia badań, a także na zarządzanie rozrodem zwierząt zarówno gospodarskich, jak i dzikich. Szczególne znaczenie zajmuje ultrasonografia (USG), która ze względu na swoją nieinwazyjność, wysoki profil bezpieczeństwa oraz możliwość uzyskania obrazu narządów wewnętrznych w czasie rzeczywistym stanowi jedno z podstawowych i najważniejszych narzędzi diagnostycznych zarówno w medycynie ludzkiej, jak i weterynaryjnej. W przeciwieństwie do metod wykorzystujących promieniowanie jonizujące, działanie ultrasonografii opiera się na falach mechanicznych o wysokiej częstotliwości. Ich wykorzystanie nie wiąże się z negatywnym wpływem na organizmy żywe, w związku z tym badanie takie może być wykonywane wielokrotnie u tego samego osobnika (Havlice i Taenzer, 1979; Perenguez Riofrio i in., 2025). Odgrywa to szczególne znaczenie w monitorowaniu procesów fizjologicznych zachodzących podczas wzrostu i dojrzewania.

Pierwsze aparaty ultrasonograficzne, które wykorzystywano w diagnostyce medycznej, pojawiły się pod koniec lat 50-siątych XX wieku (Donald i in. 1958, Rajamani i in., 2024). Urządzenia te miały ograniczoną możliwość obrazowania i prezentowały sygnał na ekranie oscyloskopowym w postaci prostych wykresów (Newman i Rozycki, 1998). Intensywny rozwój elektroniki, technik cyfrowego przetwarzania sygnału, a także miniaturyzacja komponentów elektronicznych doprowadziły do tego, że współczesne aparaty ultrasonograficzne mogą zapewniać wysoką rozdzielczość obrazów, zaawansowane funkcje analizy, a także możliwość pracy w terenie. W chwili obecnej na rynku dostępne są zarówno rozbudowane systemy stacjonarne, jak i kompaktowe urządzenia przenośne oraz bezprzewodowe urządzenia pozwalające na ocenę obrazu z wykorzystaniem smartfonu lub tabletu, co w znacznym stopniu poszerzyło zakres zastosowania tej technologii.



Rysunek 1. Mobilne aparaty ultrasonograficzne:
(a) Honda Electronics HS 2100, (b) Samsung HM70 EVO VET.

Ultrasonografia dość szybko znalazła również zastosowanie w akwakulturze i rybactwie. Pierwsze próby wykorzystania USG u ryb rozpoczęto na początku lat osiemdziesiątych XX wieku, w których koncentrowano się w głównej mierze na

gatunkach ryb o wysokim znaczeniu gospodarczym (Martin i in., 1983). Jednym z takich gatunków były jesiotry, u których zarówno brak wyraźnego dymorfizmu płciowego, jak i długi okres dojrzewania znacznie utrudniały prowadzenie hodowli. Zastosowanie ultrasonografii u tych ryb umożliwiło przyżyciowe rozpoznanie płci, ocenę stopnia rozwoju gonad oraz wielkości oocytów, a także przybliżone oszacowanie potencjału rozrodczego bez konieczności uśmiercania ryb bądź ingerencji chirurgicznej (Bryan i in., 2007).

W kolejnych latach zastosowanie diagnostyki usg systematycznie się rozszerzało. Wykorzystanie tej techniki opisywano nie tylko u ryb jesiotrowatych, ale również między innymi u łososia atlantyckiego (*Salmo salar*) (Mattson, 1991), pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) (Evans i in., 2004; Hliwa i in., 2014), dorsza (*Gadus morhua*) (Karlsen i Holm, 1994), halibuta atlantyckiego (*Hippoglossus hippoglossus*) (Shields i in., 1993), wskazując wysoką skuteczność tej metody w różnicowaniu płci i ocenie stopnia dojrzałości gonad. Znaczenie ultrasonografii w hodowli ryb łososiowatych niezmiennie wzrasta wraz z rosnącymi wymaganiami względem efektywności produkcji oraz dobrostanu zwierząt. Perspektywa wielokrotnego wykonania badania u tego samego osobnika pozwala na monitorowanie przebiegu dojrzewania gonad, wybieranie najlepszych tarlaków, planowanie terminów tarła, a także ograniczenie liczby zbędnych manipulacji związanych z kontrolą dojrzałości stada. Badanie USG jest znacznie mniej inwazyjne dla organizmu ryby w porównaniu z biopsją czy trokarowaniem gonad, a jednocześnie skraca czas obsługi i zmniejsza ryzyko uszkodzeń, zakażeń oraz śnięcia ryb (Guitreau i in., 2012).

Wzrost znaczenia diagnostyki obrazowej w akwakulturze wynika również z aspektów ekonomicznych prowadzenia nowoczesnych gospodarstw rybackich. Szybka, wiarygodna i nieinwazyjna ocena stanu gonad pozwala na podejmowanie bardziej trafnych decyzji odnośnie selekcji tarlaków, samej organizacji tarła, planowania produkcji materiału zarybieniowego czy wykorzystania zasobów ludzkich. Wszystko to przekłada się na zmniejszenie kosztów utrzymania stada i poprawę efektywności hodowli. Możliwość

archiwizacji obrazów oraz analizy w późniejszym czasie pozwala na zwiększenie powtarzalności oceny i dokumentowania wyników badań.

Podstawy ultrasonografii w diagnostyce

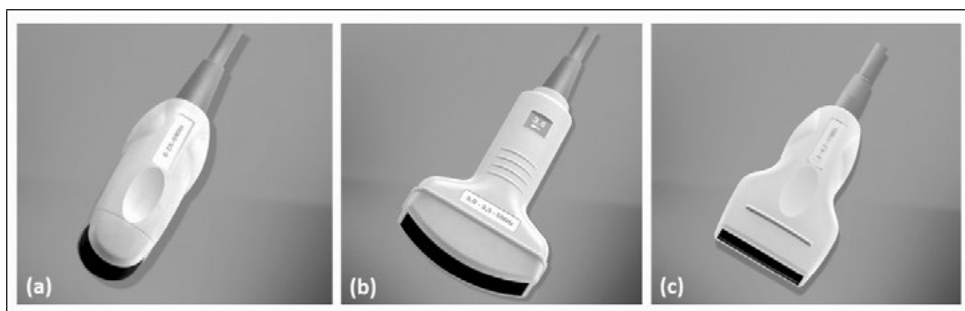
Metody oparte na ultrasonografii wykorzystują fale ultradźwiękowe do bezinwazyjnego obrazowania narządów wewnętrznych. Opierają się w praktyce na analizie zjawisk fizycznych, które zachodzą w czasie rozchodzenia się fal akustycznych o częstotliwości, która przekracza zakres słyszalności ludzkiego ucha (Hildebrandt i in., 2015). W zależności od właściwości akustycznych tkanek fale dźwiękowe mogą ulegać odbiciu, rozproszeniu, załamaniu lub częściowemu pochłonięciu (Evans i in., 2004). Sygnały, które wracają do głowicy, są przetwarzane przez układ elektroniczny aparatu na obraz i prezentowane w czasie rzeczywistym, co umożliwia ocenę budowy oraz położenia narządów wewnętrznych, a także zmian zachodzących w ich strukturze.

Główny element ultrasonografu stanowi głowica, która jest wyposażona w kryształy piezoelektryczne pełniące jednocześnie funkcje nadajnika oraz odbiornika fal ultradźwiękowych. W momencie przyłożenia napięcia elektrycznego dochodzi do odkształcenia kryształów i emisji fal ultradźwiękowych (Rajamani i in., 2024). Fale odbite od granic narządów o różnej impedancji akustycznej wracają do głowicy, powodując ponowne odkształcenie kryształów i generując sygnał elektryczny. Sygnał ten następnie jest wzmacniany, przetwarzany na obraz. Obrazy te mogą być uzyskiwane z wykorzystaniem różnych trybów odbioru i prezentacji echa ultradźwiękowego. Wyróżnia się między innymi tryb A (amplitudy), tryb B (dwuwymiarowy w odcieniach szarości), tryb M (analizy ruchu w czasie), tryby Dopplera (kolorowe, przepływy krwi) oraz nowoczesne techniki 3D/4D (Devasenathipathy i Panda, 2018).

Najczęściej wykorzystywanym sposobem prezentacji obrazu jest dwuwymiarowy tryb B w odcieniach szarości (Brightness Mode), w którym jasność poszczególnych punktów odpowiada intensywności odbitych fal akustycznych. Tkanki silnie odbijające ultradźwięki (np. tkanka kostna) przedstawiane są jako obrazy hiperechogeniczne, podczas gdy przestrzenie, przez które fale przechodzą niemal bez odbicia (wypełnione płynem), tworzą obraz bezechowy. Większość narządów parenchymatycznych, a także gonady wykazują zróżnicowaną echogeniczność. Jej charakter zmienia się w zależności od jej budowy, stopnia uwodnienia oraz przebiegu procesów fizjologicznych. Umiejętność interpretacji echogeniczności tych struktur oraz znajomość anatomii badanego gatunku i doświadczenie osoby przeprowadzającej badanie stanowią podstawę oceny ultrasonogramów.

Jednym z głównych parametrów, które decydują o jakości uzyskiwanego obrazu, jest częstotliwość pracy głowicy ultrasonograficznej. Im wyższa częstotliwość pracy,

tym zwiększa się rozdzielczość przestrzenna uzyskiwanego obrazu, co umożliwia dokładniejsze różnicowanie struktur anatomicznych. Z drugiej strony, im wyższa częstotliwość fal, tym silniej ulegają one tłumieniu w tkankach, co ogranicza głębokość penetracji (Chan i Perlas, 2011). Oznacza to zatem konieczność kompromisu w zakresie szczegółowości obrazu a możliwością zobrazowania głębiej położonych struktur. Ze względu na to, że u większości gatunków ryb, narządy rozrodcze położone są stosunkowo blisko powierzchni ciała, w obrazowaniu gonad najczęściej wystarczające są sondy pracujące w zakresie 7,5-10 MHz. Jednak w przypadku dużych osobników, np. ryb jesiotrowatych, korzystniejszym może okazać się wybór głowicy o niższych częstotliwościach, która zapewni większą głębokość obrazowania.



Rysunek 2. Przykłady głowic ultrasonograficznych. (a) – głowica mikrokonwexsowa, (b) – głowica konwexsowa, (c) – głowica linearna.

Źródło: <https://www.polrentgen.pl/10-xoferta-medyczna/ultrasonografy-dla-medycyny.html>

Ze względu na budowę oraz zastosowanie głowice ultrasonograficzne można podzielić na kilka podstawowych typów: liniowe, konwexsowe i mikrokonwexsowe oraz sektorowe (de Luca i in., 2021). Głowice liniowe generują równoległe wiązki fal ultradźwiękowych, co pozwala na uzyskanie wysokiej rozdzielczości obrazu przy niewielkim stopniu jego zniekształcenia. Z tego względu są to głowice, które najczęściej znajdują zastosowanie w badaniach ryb, w szczególności do obrazowania gonad. Głowice konwexsowe i mikrokonwexsowe pozwalają na uzyskanie obrazu o kształcie wachlarza. Zapewnia to szersze pole obrazowania i ułatwia obrazowanie struktur umiejscowionych głębiej, położonych za innymi narządami. Głowice sektorowe charakteryzują się niewielką powierzchnią kontaktu z ciałem, co może być przydatne w sytuacjach, gdy dostęp do badanego obszaru jest ograniczony. Współczesne aparaty ultrasonograficzne mogą być również wyposażone w możliwość obrazowania dopplerowskiego, które umożliwia ocenę stopnia unaczynienia narządów i struktur oraz ocenę przepływu krwi.

W praktyce rybackiej do oceny gonad ryb najczęściej wykorzystuje się głowice liniowe oraz klasyczny dwuwymiarowy tryb B. Zapewnia to wysoką skuteczność oceny budo-

wy narządów rozrodczych, ich wielkości oraz zmian zachodzących w czasie dojrzewania płciowego, a jednocześnie pozwala zachować prostotę badania i krótki czas obrazowania. Należy pamiętać jednak, że ostateczny dobór głowicy i parametrów badania powinien być uzależniony od gatunku ryby, jej wielkości oraz celu wykonywanego badania.

Systemy ultrasonograficzne wykorzystywane w akwakulturze

Mający miejsce w ostatnich latach intensywny rozwój technologiczny ultrasonografii przyczynił się do znacznego rozszerzenia możliwości wykorzystania diagnostyki obrazowej poza placówkami medycznymi. Pierwsze badania ryb przeprowadzano, wykorzystując do tego aparaty stacjonarne przeznaczone do medycyny człowieka oraz weterynarii. W chwili obecnej dostępne są urządzenia projektowane z myślą o pracy w terenie. Urządzenia te charakteryzują się kompaktowymi wymiarami, znaczną odpornością na czynniki środowiskowe oraz postępującą mocą obliczeniową. Doprowadziło to do tego, że ultrasonografia przestała być elementem badawczym, możliwym do wykorzystania tylko w warunkach ambulatoryjnych, i stała się narzędziem możliwym do wykorzystania w codziennej pracy w nowoczesnych gospodarstwach rybackich.

Obecnie na rynku dostępne są również bezprzewodowe głowice ultrasonograficzne, które mogą współpracować z tabletami i smartfonami. Konieczność wbudowania dużej baterii do sondy prowadzi do znacznego nagrzewania się, co po kilku badaniach wpływa na komfort i możliwość dalszej pracy operatora. Są to urządzenia, które wykorzystywane są głównie w szybkiej diagnostyce w medycynie człowieka oraz kosmetologii estetycznej, ze względu na krótki czas wykonywania badania. W przypadku ultrasonografii wykorzystywanej w akwakulturze najważniejsza nie jest wielkość wykorzystywanego urządzenia, a jego dostosowanie do specyfiki pracy z dużą ilością ryb. Należy przyjąć zasadę, że to ryby powinny być odpowiednio doprowadzone do stanowiska badawczego. Istotne są również odpowiednia jakość i czytelność obrazu, a także możliwość szybkiego zapisywania ich oraz sprawna obsługa urządzenia.

Szczególnego znaczenia w akwakulturze nabierają również cechy użytkowe aparatów, które w medycynie ludzkiej lub weterynarii mają zdecydowanie mniejsze znaczenie. Praca z rybami odbywa się w środowisku o podwyższonej wilgotności, w bezpośrednim kontakcie z wodą i w różnych warunkach atmosferycznych. Aparaty wykorzystywane w praktyce rybackiej



Rysunek 3. Bezprzewodowy ultrasonograf z podwójną głowicą.
Źródło: Ultrasonograf One Probe WiFi
beprzewodowe uniwersalne MOBILNE USG

powinny zatem charakteryzować się wysokim stopniem szczelności, odpornością na zachłapanie i możliwością łatwej i skutecznej dezynfekcji. Należy zwracać zatem uwagę na wytrzymałość głowic, które w czasie pracy mogą być narażone na kontakt z chropowatą powierzchnią tkanek, łusek czy tarczek kostnych, i, gdy jest to konieczne, stosować odpowiednie nakładki ochronne.

Wykonywanie badań USG u ryb

Prawidłowe wykonanie badania ultrasonograficznego wymaga odpowiedniego przygotowania zarówno stanowiska pracy, jak i ryby. W związku z tym, że badanie często odbywa się na otwartym powietrzu, należy odpowiednio przygotować miejsce wykonywanych czynności. Należy zabezpieczyć je przed opadami atmosferycznymi oraz przed dostępem promieni słonecznych. Mimo że samo badanie jest nieinwazyjne i trwa zazwyczaj bardzo krótko, bo od kilku do kilkudziesięciu sekund, zachowanie wartości



Rysunek 4. Badanie ultrasonograficzne jesiotra.

diagnostycznej zależy od odpowiedniej techniki obrazowania i ograniczenia czynników, które mogły pogorszyć jakość uzyskiwanych obrazów. Należy zatem unikać zbędnego ruchu osobnika, nieodpowiedniego przykładania sondy, czy nieodpowiednich ustawień parametrów obrazowania.

Przed rozpoczęciem procedury ryby należy odłowić w sposób ograniczający stres oraz wystąpienie uszkodzeń powłok ciała. U ryb łososiowatych i suma afrykańskiego badanie należy przeprowadzić po zastosowaniu sedacji, która znacznie ułatwi prawidłowe pozycjonowanie ryby oraz wyeliminuje gwałtowne ruchy, które utrudniają obrazowanie. Zastosowanie i wybór środka znieczulającego i jego stężenia powinny być uzależnione i dostosowane do gatunku ryb. W przypadku ryb jesiotrowatych znieczulenie ogólne nie jest konieczne. Po uzyskaniu odpowiedniego stopnia sedacji rybę należy umieścić na miękkim, wilgotnym podłożu lub w pozycjonerze. W odróżnieniu od badań przeprowadzanych u ssaków, w przypadku ryb zazwyczaj nie ma konieczności stosowania żelu ultrasonograficznego. Warstwa śluzu, która naturalnie pokrywa skórę, oraz obecność wody zapewniają odpowiednie przewodzenie ultradźwięków i z powodzeniem eliminują warstwę powietrza pomiędzy sondą a ciałem zwierzęcia (Hildebrandt i in., 2015). Badanie może być wykonywane zarówno podczas bezpośredniego kontaktu głowicy z wilgotną

powierzchnią ciała, jak i z wykorzystaniem cienkiej warstwy wody, która będzie stanowić medium sprzęgające, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia ochronnej warstwy śluzu.

Ułożenie ryby zależy od celu wykonywanego badania oraz badanego narządu. W obrazowaniu gonad najczęściej sondę przykładą się do bocznej powierzchni ciała, po uprzednim ułożeniu ryby na jednym z boków. Ocenę prowadzi się zarówno w przekroju podłużnym, jak i poprzecznym, co umożliwia ocenę zarówno struktury, jak i położenia oraz jej wielkości. Odpowiednie ułożenie głowicy może również znacząco poprawić jakość uzyskanego obrazu. Zmiana kąta przyłożenia pozwala ograniczyć występowanie artefaktów i ułatwia ocenę badanych struktur (Perenguez Riofrio i in., 2025). W przypadku ryb o większych gabarytach oraz u gatunków posiadających silnie rozwinięty szkielet konieczne może być wykonanie badania w kilku projekcjach. Technika badania oraz interpretacja obrazów wymagają odpowiedniej wiedzy z zakresu anatomii badanych gatunków ryb. Ważnym elementem jest również znajomość zmian zachodzących w obrębie układu rozrodczego podczas dojrzewania. Osoba przeprowadzająca badanie powinna także potrafić rozpoznać prawidłowe struktury oraz umieć odróżnić je od artefaktów (Nyland i Mattoon, 2002).

Istotnym obszarem rozwoju współczesnej ultrasonografii jest zaimplementowanie sztucznej inteligencji w analizę i interpretację uzyskiwanych obrazów. Zastosowanie algorytmów maszynowego uczenia może z dużym prawdopodobieństwem umożliwić automatyczną identyfikację struktur anatomicznych, wyznaczanie granic narządów oraz klasyfikację zmian uwidocznionych badaniem USG. Rozwiązanie to jest już wykorzystywane w medycynie ludzkiej i znajduje swoje zastosowanie w diagnostyce i ocenie różnych narządów. W przyszłości takie rozwiązania mogłyby pozwolić na automatyczne rozpoznanie płci, klasyfikację stadium rozwoju gonad czy prognozowanie czasu osiągnięcia dojrzałości płciowej oraz terminów tarła (Graham i in. 2022; Yari i in. 2024). Rozwój tych rozwiązań mógłby wpłynąć na zmniejszenie zależności wyników badania od doświadczenia operatora, a także przyczynić się do większej powtarzalności i standaryzacji diagnostyki ultrasonograficznej w różnych gospodarstwach. Dynamiczny postęp technologiczny wskazuje na rosnący potencjał wykorzystania nowoczesnych systemów ultrasonograficznych w zarządzaniu nowoczesną produkcją rybacką. Zwiększająca się mobilność urządzeń, a także poprawa jakości uzyskiwanych obrazów zwiększają dostępność tej metody w warunkach hodowlanych. Rozwój narzędzi do automatycznej analizy danych sprawia, że ultrasonografia przestaje być tylko metodą diagnostyczną, a także elementem wspierającym podejmowanie decyzji dotyczących prowadzenia hodowli. Integracja badań ultrasonograficznych, cyfrowych systemów dokumentacji oraz sztucznej inteligencji może w najbliższym czasie znacznie wpłynąć na sposób monitorowania stanu reprodukcyjnego ryb. Jednocześnie technologie mogą korzystnie wpłynąć na planowanie i organizację rozrodu.

Praktyczne zastosowania ultrasonografii w hodowli ryb

Identyfikacja płci u gatunków, u których brak wyraźnego dymorfizmu płciowego lub cechy płciowe pojawiają się dopiero w późnym okresie dojrzewania, jest jednym z najlepiej poznanych zastosowań ultrasonografii w akwakulturze. Możliwość przyżyciowego rozpoznania płci ma szczególne znaczenie w hodowli ryb jesiотrowatych, łososiowatych oraz innych gatunków o wysokim znaczeniu gospodarczym. Umożliwia to wcześniejsze planowanie obsady stad tarlaków i ograniczenie kosztów utrzymania osobników o niepożądaney płci. Skuteczność identyfikacji jest zależna od stopnia rozwoju gonad, doświadczenia osoby przeprowadzającej badanie oraz jakości uzyskiwanego obrazu.

Kolejnym istotnym zastosowaniem ultrasonografii jest ocena stopnia dojrzałości płciowej ryb. W trakcie rozwoju gonad dochodzi do zmian ich wielkości, kształtu oraz struktury (echogeniczności). Pozwala to na określenie stadium rozwoju gonad bez konieczności stosowania metod inwazyjnych. Systematyczne monitorowanie gonad i zmian w nich zachodzących umożliwia bardziej precyzyjne wyznaczenie optymalnego terminu pobierania gamet, synchronizację przebiegu tarła, a także ograniczenie liczby niepotrzebnych manipulacji przy tarlakach. Jest to szczególnie istotne u gatunków, u których okres dojrzałości gamet jest krótki, a nawet niewielkie przesunięcie terminu pozyskiwania materiału rozrodczego może wpłynąć na jego jakość.

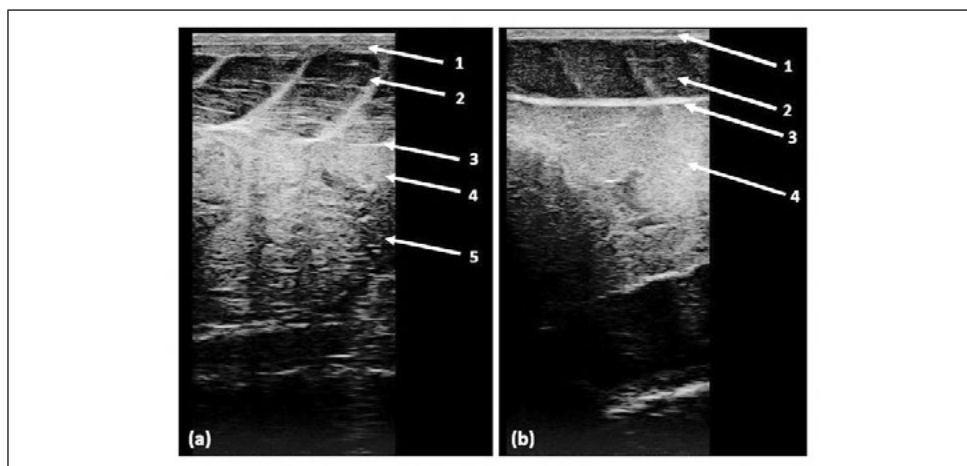
Badanie ultrasonograficzne pozwala również ocenić stan narządów rozrodczych oraz zidentyfikować obecność występujących w nich nieprawidłowości. Dla wprawionego diagnosty badanie pozwala wykrywać zmiany w morfologii gonad, ich asymetrię, a także zaburzenia prawidłowego rozwoju. Możliwe jest także wykrycie struktur, których obraz różni się od typowego obrazu prawidłowo rozwijających się lub zbudowanych gonad. Innym kierunkiem zastosowania diagnostyki USG jest ocena skuteczności tarła. Pozwala to na nieinwazyjne określenie stopnia opróżnienia gonad przed zabiegiem oraz po jego zakończeniu.

Perspektywicznym obszarem badań jest także wykorzystanie diagnostyki obrazowej do prognozowania dojrzewania neosamców w gospodarstwach nastawionych na produkcję populacji jedнопłciowych, gdzie właściwe określenie terminu dojrzałości gonad ma istotne znaczenie dla efektywnej organizacji rozrodu. Potencjalnie ultrasonografia może być również przydatnym narzędziem w samym procesie produkcji neosamców, szczególnie na etapie weryfikacji skuteczności zastosowanej hormonizacji i odwrócenia płci. Badanie to może umożliwić wczesną weryfikację przebiegu różnicowania gonad oraz ocenę obecności rozwijających się struktur charakterystycznych dla męskiego kierunku rozwoju gonad. Zabieg ten pozwala na identyfikację osobników, u których zastosowana procedura indukcji hormonalnej zakończyła się powodzeniem, jeszcze przed osiągnięciem przez ryby dojrzałości płciowej. Wczesna selekcja neosamców mogłaby umożliwić eliminację osob-

ników, u których nie uzyskano pożądanego efektu odwrócenia płci. W konsekwencji możliwym byłoby ograniczenie kosztów związanych z dalszym utrzymywaniem, żywieniem i odchowem ryb niespełniających założonego celu produkcyjnego, a tym samym zwiększenie efektywności selekcji oraz bardziej racjonalne wykorzystanie zasobów w hodowli ryb.

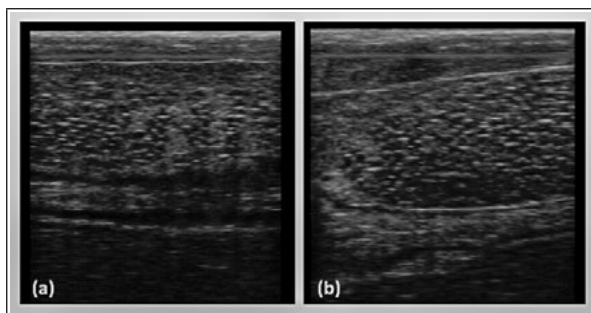
Wykorzystanie USG u ryb jesiotrowatych

W produkcji rybackiej ultrasonografia znajduje obecnie szerokie zastosowanie przede wszystkim w przypadku ryb jesiotrowatych. Jednym z najczęstszych zastosowań tej metody jest określanie płci osobników. Skuteczność tej metody zależy w dużym stopniu od wieku badanych ryb. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych stad, w których wczesne i możliwie dokładne wytypowanie samic i samców pozwala na bardziej efektywne zarządzanie utrzymywaną populacją ryb. Munhofen i in. (2013) wykazali, że zgodność rozpoznania płci jesiotra syberyjskiego (*Acipenser baerii*) na podstawie badania ultrasonograficznego z wynikami oceny histologicznej gonad wynosiła 88,3%. Uzyskane przez nich wyniki podkreślają jednocześnie, że USG było istotnie szybszym i mniej inwazyjnym badaniem od endoskopii. Nasze doświadczenia wskazują, że w przypadku jesiotra syberyjskiego w wieku około 3 lat skuteczność określenia płci na podstawie badania USG może wynosić zaledwie od kilku do kilkunastu procent. U osobników w wieku 4 lat przekracza 90%. Należy zaznaczyć, że dokładność badań uzależniona jest od dobrostanu ryb.



Rysunek 5. Sonogramy gonady samicy (a) oraz samca (b) jesiotra syberyjskiego. Aparat Samsung HM70 EVO VET. Sonda liniowa 3-16 MHz. 1 -powłoki jamy brzusznej, 2 - tkanka mięśniowa o mieszanej echogenności, 3 – otrzewna, 4 – gonada, 5 – pojedyncze oocyty.

Ultrasonografia w przypadku tych ryb jest również wykorzystywana do oceny stopnia dojrzałości gonad samic oraz do określania przybliżonej wielkości oocytów. Badanie jest pomocne zarówno przy wyborze osobników przeznaczonych do pozyski-

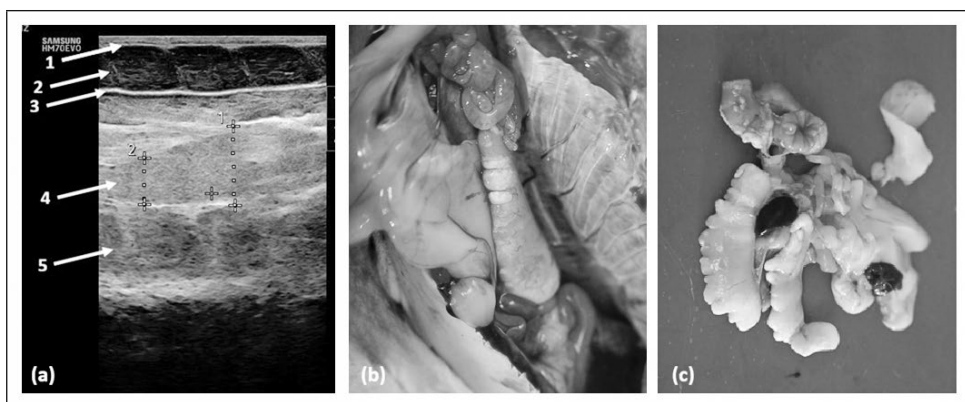


Rysunek 6. Sonogramy dojrzałej gonady samicy jesiotra syberyjskiego z wyraźnie widocznymi ziarnami ikry (a, b). Aparat Honda HS-1500. Sonda liniowa 7,5 MHz.

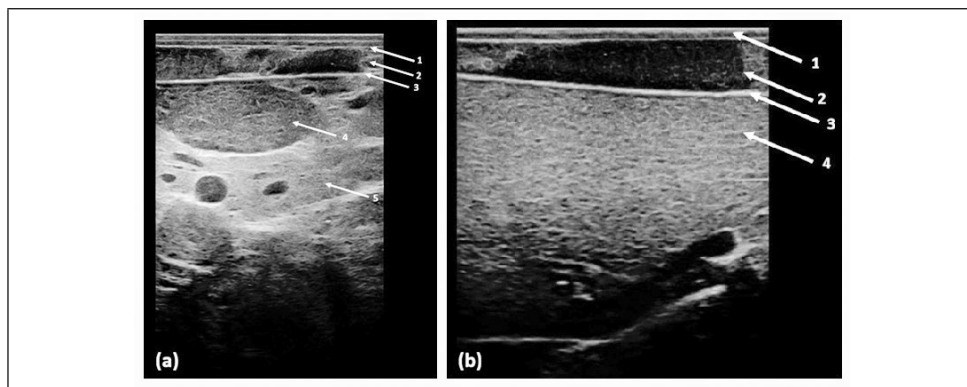
wania kawioru, jak i przy wyborze samic, które zostaną wykorzystane do dalszego rozrodu. USG pozwala na wstępną i nieinwazyjną ocenę stanu gonad, jednak jego wynik powinien zostać poparty trokarowaniem w celu ustalenia dokładnego stopnia dojrzałości ikry.

Rozpoznawanie płci i ocena dojrzałości gonad suma afrykańskiego

Ultrasonografia może spełniać szczególne znaczenie w ocenie dojrzałości gonad samców u suma afrykańskiego. W kontrolowanym rozrodzie obu tych gatunków ryb nasienie pozyskiwane jest pośmiertnie, dlatego uprzednia ocena stopnia dojrzałości gonady męskiej może mieć istotne znaczenie z punktu widzenia organizacji hodowli. Badanie ultrasonograficzne pozwala na ocenę gonad samców i określenie, czy osiągnęły one odpowiedni stopień dojrzałości do pozyskania nasienia. Pozwala to na ograniczenie przedwczesnego uśmiercania osobników, których gonady nie są jeszcze odpowiednio dojrzałe do wykorzystania, co zmniejsza straty w stadzie. Wykorzystując USG, można również w łatwy sposób przeprowadzić ocenę dojrzałości samic.



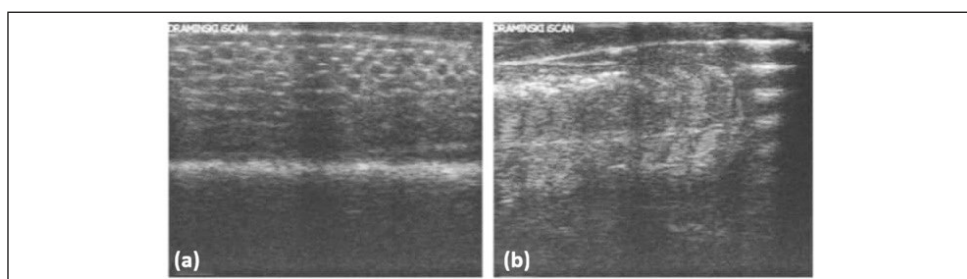
Rysunek 7. Niedojrzała gonada samca suma afrykańskiego (*Clarias gariepinus*). Na sonogramie (a) widoczne: 1 - powłoki jamy brzusznej, 2 - tkanka mięśniowa o mieszanej echogenności, 3 – otrzewna, 4 – gonada, 5 – jelita. Aparat Samsung HM70 EVO VET. Sonda liniowa 3-16 MHz. Zdjęcie (b) – obraz gonady po przecięciu powłok brzusznych. Zdjęcie (c) – niedojrzała gonada samca suma.



Rysunek 8. Sonogramy dojrzałych gonad samca (a) i samicy (b) suma afrykańskiego (*Clarias gariepinus*). Aparat Samsung HM70 EVO VET. Sonda liniowa 3-16 MHz. 1 - powłoki jamy brzusznej, 2 - tkanka mięśniowa o mieszanej echogenności, 3 – otrzewna, 4 – gonada, 5 – jelita.

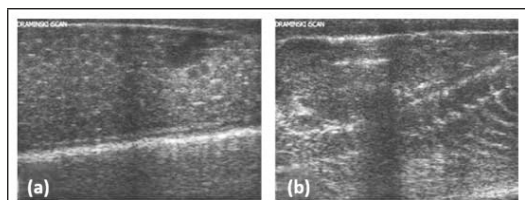
Ultrasonografia w ocenie skuteczności tarła pneumatycznego – na podstawie badań własnych

Jednym z rozwojowych kierunków zastosowania ultrasonografii w hodowli ryb jest wykorzystanie jej do oceny skuteczności tarła pneumatycznego. W badaniach własnych założono, że zmiana ciśnienia roboczego wykorzystanego do procedury opróżniania gonad może wpływać zarówno na ilość pozyskanej ikry, jak i na stopień opróżnienia gonad. W celu weryfikacji tych założeń zastosowano badanie USG jako metodę, która umożliwiła porównanie obrazu gonad przed zabiegiem oraz bezpośrednio po jego zakończeniu. Pozwoliło to na przyżyciową ocenę stopnia opróżnienia jajników oraz określenie, jaka liczba jaj pozostaje w gonadach po zakończeniu procedury.



Rysunek 9. Sonogramy gonad samicy palii alpejskiej przed (a) i po (b) pozyskaniu oocytów metodą pneumatyczną.

W badaniach porównywano skuteczność tarła przy zastosowaniu różnych wartości ciśnienia roboczego. Dla poszczególnych wariantów oceniano ilość pozyskanej ikry, a wyniki następnie odnoszono do obrazu ultrasonograficznego gonad po zakończeniu zabiegu. Pozwoliło to określić, czy zwiększenie ciśnienia prowadziło do zwiększenia skuteczności opróżnienia jajników, ponieważ sama masa i liczba pozyskanych jaj nie



Rysunek 10. Sonogramy gonad samicy pstrąga
źródłanego przed (a) i po (b) pozyskaniu
oocytów metodą pneumatyczną.

musi jednocześnie odzwierciedlać stopnia opróżnienia gonad.

Wyjątkowo cenne było porównanie obrazów ultrasonograficznych wykonanych przed rozpoczęciem tarła i po jego zakończeniu. Przed zabiegiem w obrazie USG samic były widoczne jajniki wypełnione licznymi

strukturami, które przedstawiały rozwinięte oocyty. W zależności od stopnia dojrzałości gonad obserwowano różnice w ich echogeniczności, ułożeniu oraz stopniu wypełnienia jamy ciała. Następnie ryby poddawano zabiegowi wykorzystując kilka określonych wariantów ciśnienia roboczego. Po zakończeniu tarła obserwowano zmniejszenie stopnia wypełnienia gonad, którego zakres zależał od skuteczności zastosowanych parametrów procedury. Obecność licznych struktur odpowiadających pozostającym w jajnikach ziarnom ikry wskazywała na niepełne opróżnienie gonad i stanowiła informację, której nie można było wywnioskować na podstawie samej ilości pozyskanej ikry.

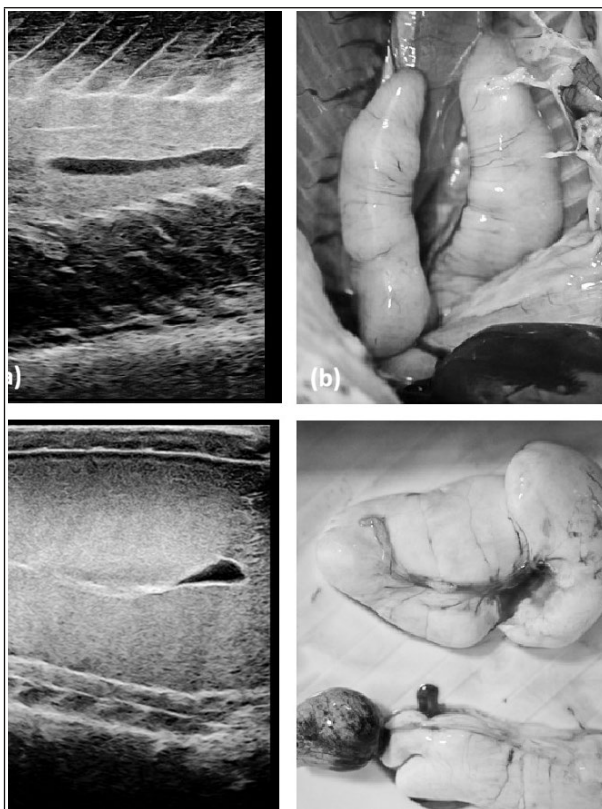
Prognozowanie dojrzałości neosamców pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*)

Perspektywicznym kierunkiem wykorzystania ultrasonografii w rozrodzie ryb jest również monitorowanie dojrzałości neosamców, czyli osobników o fenotypie samca powstałych w wyniku hormonalnego odwrócenia płci samic. Pozyskanie nasienia od tych ryb wiąże się z koniecznością ich uśmiercenia, szczególnie istotne jest osiągnięcie odpowiedniej dojrzałości gonad, aby możliwe było pozyskanie nasienia o odpowiedniej jakości. Zbyt wczesne lub zbyt późne uśmiercenie ryby może wiązać się z uzyskaniem materiału o niezadowalającej jakości, co może utrudniać organizację rozrodu. Wraz z dojrzewaniem jąder zachodzą zmiany w ich budowie i uwodnieniu, które znajdują odzwierciedlenie w obrazie ultrasonograficznym. Zmienia się echogeniczność ich struktur. Badanie to ma na celu wytypowanie osobników o odpowiedniej dojrzałości gonady do potencjalnego tarła. Ryby, u których obserwujemy niższą echogeniczność gonad, będą stanowiły osobniki, które mogą zostać wykorzystane dopiero w kolejnych planowanych tarłach.

Ultrasonograficzna weryfikacja skuteczności indukcji hormonalnej w produkcji neosamców palii alpejskiej (*Salvelinus alpinus*)

W ostatnim czasie przeprowadziliśmy również wstępne próby wykorzystania badań USG do wczesnej oceny skuteczności indukcji hormonalnej u młodych ryb w produkcji neosamców palii alpejskiej. Uzyskane przez nas dotychczas obrazy wskazują, że

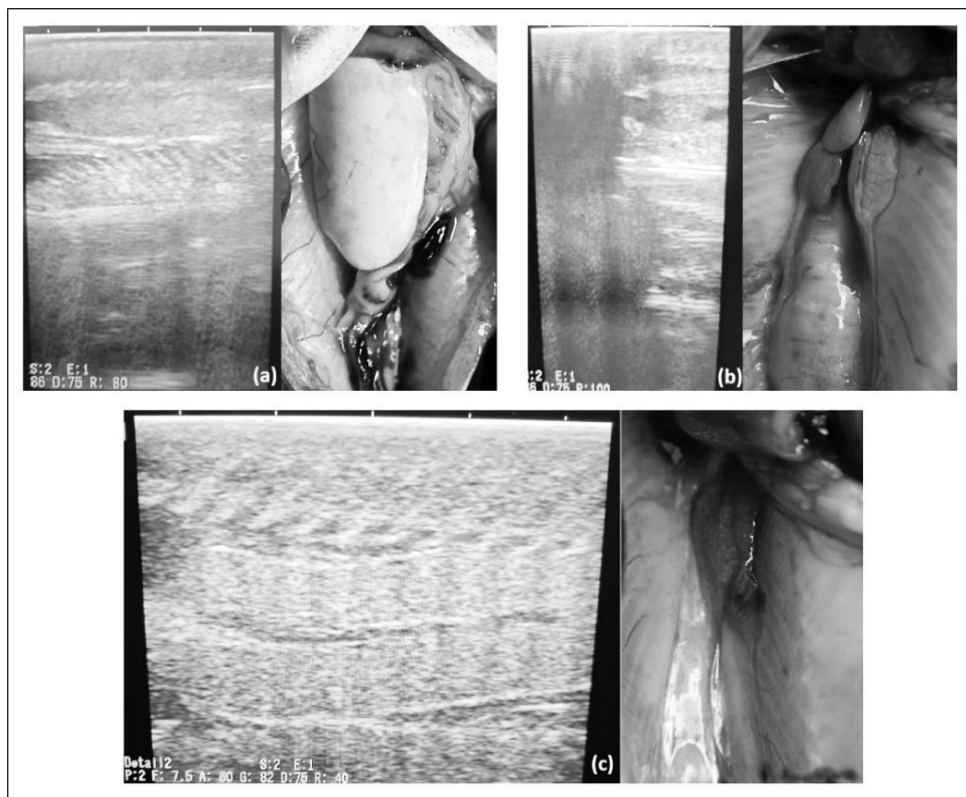
u części z osobników możliwe jest uwidocznienie rozwijającej się gonady oraz wstępne określenie jej charakteru. U niektórych badanych ryb obserwowaliśmy obraz odpowiadający gonadzie żeńskiej, natomiast u części osobników badanie uwidaczniało struktury mogące wskazywać na rozwój gonady męskiej. Jednocześnie u większości ryb jednoznaczna ocena nie była możliwa, ze względu na bardzo wczesny etap rozwoju gonad, na którym to nie są jeszcze wyraźnie zaznaczone struktury, które pozwalałyby na określenie kierunku ich różnicowania. Ograniczenie to dotyczyło jednak nie tylko badania ultrasonograficznego, ale również oceny wizualnej po uśmierceniu ryb.



Rysunek 11. Sonogramy oraz obraz makroskopowy gonad neosamców pstrąga tęczowego. (a, b) – gonada na 6 miesięcy przed tarciem, (c, d) – dojrzała gonada. Aparat Samsung HM70 EVO VET. Sonda liniowa 3-16 MHz.

Ocena stopnia dojrzałości ikry u łososia (*Salmo salar*) w hodowli stódkowodnej

Kolejnym wykorzystaniem ultrasonografii w praktyce rybackiej może być ocena stopnia dojrzałości oocytów u łososia atlantyckiego (*Salmo salar*), szczególnie istotna ze względu na stosunkowo krótki okres pomiędzy osiągnięciem przez ikrę optymalnej dojrzałości a rozpoczęciem procesu przejrzenia. Zbyt wczesne pozyskanie ikry może skutkować obniżoną jej jakością i niepełną gotowością do zapłodnienia, natomiast opóźnienie zabiegu może prowadzić do pogorszenia jakości oocytów i zmniejszenia wartości użytkowej materiału rozrodczego. Regularne badania ultrasonograficzne pozwalają na nieinwazyjne monitorowanie zmian zachodzących w jajnikach i mogą wspomagać określenie właściwego momentu pozyskania ikry łososia.



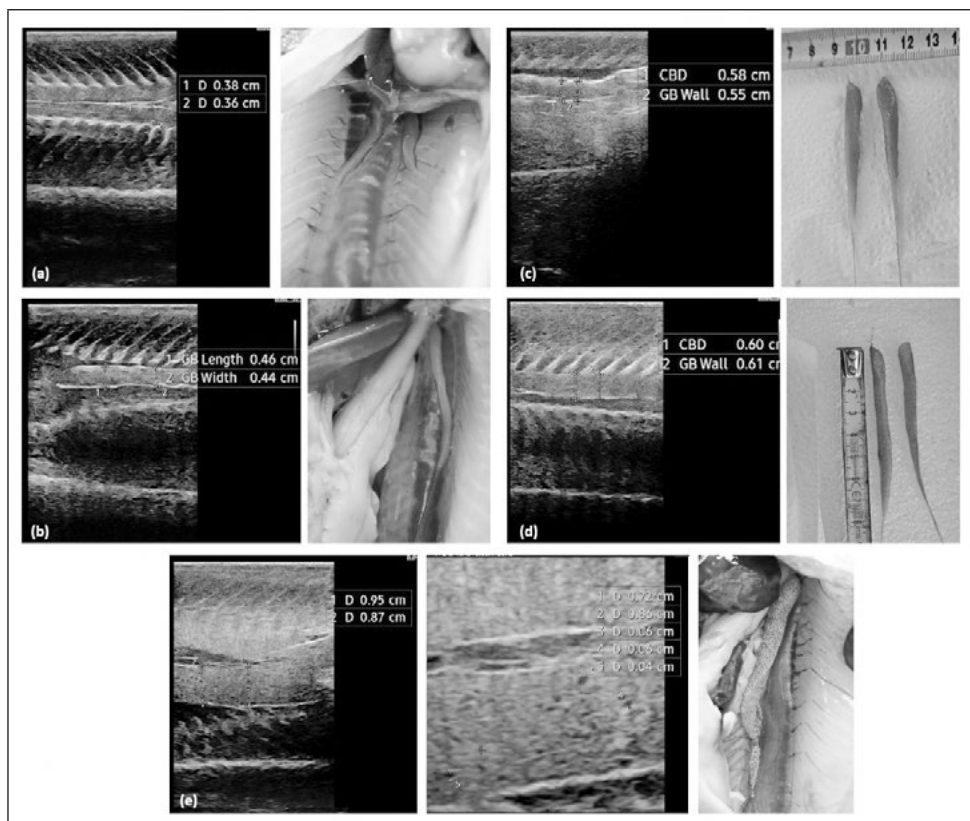
Rysunek 12. Weryfikacja skuteczności indukcji hormonalnej u palii alpejskiej. Ryby w wieku 2 lat.
(a) – dojrzała gonada męska; (b) – asymetryczne pęcherzyki świadczące o budowie gonady męskiej;
(c) – gonada żeńska z widocznymi ziarnami ikry. Aparat Honda Electronics HS 2100 Sonda liniowa 5.0-10.0 MHz.

Ocena stopnia dojrzałości gonady pstrąga tęczowego – monitoring od momentu zawiązania gonady do momentu uzyskania optymalnej ikry nadającej się do konsumpcji

W ostatnim czasie prowadzone są przez nas badania mające na celu szczegółowe prześledzenie rozwoju gonad samic pstrąga tęczowego. Obserwacje obejmują ryby w wieku od 2 lat, a monitoring prowadzony jest od wczesnych etapów rozwoju gonad (zawiązania gonady), poprzez kontrolę rozwoju na przestrzeni miesięcy, do osiągnięcia przez samice przydatności do tarła. Wykorzystując badanie ultrasonograficzne, prowadzony jest regularny, comiesięczny monitoring stada. Ryby do USG wybierane są losowo, a w czasie badania oceniany jest stopień rozwoju gonady oraz zachodzące w niej zmiany.

Głównym celem prowadzonych obserwacji jest określenie przebiegu rozwoju gonad oraz wyznaczenie optymalnego momentu pozyskania ikry o pożądanej jakości, która zostanie wykorzystana do produkcji ikry na cele konsumpcyjne. Dodatkowo monitoring obejmuje dwa, odmienne genetycznie stada ryb. W czasie dotychczasowych badań zaob-

serwowano między nimi wyraźne różnice w tempie i stopniu rozwoju gonad. W ramach prowadzonej diagnostyki USG możliwe jest również wykrycie oraz usunięcie ze stada ryb o zdeformowanej budowie gonady żeńskiej oraz wczesnej identyfikacji samców i usunięcia ich ze stada.



Rysunek 13. Gonada samicy pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) w kolejnych miesiącach monitoringu rozwoju. (a) – kwiecień 2026, ryba w wieku 24 m-cy; (b) – maj 2026, ryba w wieku 25 m-cy; (c) – czerwiec 2026, ryba w wieku 26 m-cy; (d) – lipiec 2026, ryba w wieku 27 m-cy; (e) – sierpień 2026, ryba w wieku 28 m-cy, w obrazie USG wyraźnie widoczne oocyty. Aparat Samsung HM70 EVO VET. Sonda liniowa 3-16 MHz.

Podsumowanie

Zastosowanie ultrasonografii w produkcji rybackiej nie zawsze musi wiązać się z bezpośrednimi i łatwo mierzalnymi korzyściami ekonomicznymi, tak jak w przypadku ryb jesiotrowatych. Może jednak przynosić wymierną oszczędność czasu i ograniczać liczbę niepotrzebnych manipulacji przy rybach. W przypadku gatunków, u których pozyskanie gamet wiąże się z koniecznością ich uśmiercenia, wcześniejsza ocena płci i dojrzałości gonad pozwala ograniczyć liczbę ryb przeznaczonych do rozrodu, które nie dostarczyłyby wartościowego

materiału rozrodczego. W przypadku łososi i pstrągów monitoring gonad może pomóc w określeniu właściwego terminu pozyskania gamet i ograniczyć ryzyko utraty oocytów lub nasienia wskutek przeprowadzenia zabiegu ich pozyskania w nieodpowiednim terminie.

Piśmiennictwo:

- Bryan, J.L., Wildhaber, M.L., Papoulias, D.M., Delonay, A.J., Tillitt, D.E., Annis, M.L. (2007). Estimation of gonad volume, fecundity, and reproductive stage of shovel-nose sturgeon using sonography and endoscopy with application to the endangered pallid sturgeon. *Journal of Applied Ichthyology* 23, 411–419. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0426.2007.00889.X>;
- Chan, V., Perlas, A. (2011). Basics of ultrasound imaging. *Atlas of Ultrasound-Guided Procedures in Interventional Pain Management* 13–19. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1681-5_2
- de Luca, R., Forzoni, L., Gelli, F., Bamber, J. (2021). An educational overview of ultrasound probe types and their fields of application. *Archives of Acoustics* 46, 3–15. <https://doi.org/10.24425/AOA.2021.136555>
- Devasenathipathy, K., Panda, A. (2018). Modes of Ultrasonography, In: *Ultrasound in Critical Care*. pp. 39–50.
- Donald, I., Macvicar, J., Brown, T.G. (1958). Investigation of abdominal masses by pulsed ultrasound. *Lancet* 7;1(7032):1188–95. doi: 10.1016/s0140-6736(58)91905-6
- Evans, A.F., Fitzpatrick, M.S., Siddens, L.K. (2004). Use of Ultrasound Imaging and Steroid Concentrations to Identify Maturational Status in Adult Steelhead. *N. Am. J. Fish. Manag.* 24, 967–978. <https://doi.org/10.1577/M03-112.1>
- Graham, C.A., Shamkhalichenar, H., Browning, V.B., Byrd, V.J., Liu, Y., Gutierrez-Wing, M.T., Novelo, N., Choi, J.W., Tiersch, T.R. (2022). A practical evaluation of machine learning for classification of ultrasound images of ovarian development in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 552: 738039. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738039
- Guitreau, A.M., Eilts, B.E., Novelo, N.D., Tiersch, T.R. (2012). Fish Handling and Ultrasound Procedures for Viewing the Ovary of Submersed, Nonanesthetized, Unrestrained Channel Catfish. *N. Am. J. Aquac.* 74, 182–187. <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.655852>
- Havlice, J.F., Taenzer, J.C. (1979). Medical Ultrasonic Imaging: An Overview of Principles and Instrumentation. *Proceedings of the IEEE* 67, 620–641. <https://doi.org/10.1109/PROC.1979.11287>
- Hildebrandt, T., Saragusty, J. (2015). Use of ultrasonography in wildlife species. In: *Fowler's zoo and wild animal medicine*, <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7397-8.00076-1>

- Hliwa, P., Bah, M., Kuźmiński, H., Kuźmiński, K., Dobosz, S., Ciereszko, A. (2014). Ultra-sound evaluation of the gonadal structure in sex-reversed rainbow trout females. *Aquaculture International* 22:1 22, 89–96. <https://doi.org/10.1007/S10499-013-9646-5>
- Karlsen, R., Holm, J.C. (1994). Ultrasonography, a non-invasive method for sex determination in cod (*Gadus morhua*). *J. Fish Biol.* 44, 965–971. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.1994.TB01268.X>
- Martin, R.W., Myers, J., Sower, S.A., Phillips, D.J., Mcauley, C. (1983). Ultrasonic Imaging, a Potential Tool for Sex Determination of Live Fish. *N. Am. J. Fish. Manag.* 3, 258–264. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1983\)3<258:UIAPTF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1983)3<258:UIAPTF>2.0.CO;2)
- Mattson, N.S. (1991). A new method to determine sex and gonad size in live fishes by using ultrasonography. *J. Fish Biol.* 39, 673–677. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.1991.TB04397.X>
- Munhofen, J.L., Jimenez, D.A., Peterson, D.L., Camus, A.C., Divers, S.J. (2013). Comparing Ultrasonography and Endoscopy for Early Gender Identification of Juvenile Siberian Sturgeon. *North Am. J. Aquacult.* 76(1): 14-23. <https://doi.org/10.1080/15222055.2013.826765>
- Newman, P.G., Rozycki, G.S. (1998). The history of ultrasound. *Surgical Clinics of North America* 78, 179–195. [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(05\)70308-X](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(05)70308-X)
- Penninck, D.G. (2002). Artifacts., In: *Small Animal Diagnostic Ultrasound*. pp. 19–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-7788-0.50008-3>
- Perenguez Riofrio, L.C., Luz, S.L., Santarosa, I.M., de Castro, M.A., dos Santos, E.D., de França, L.C.K., Hoffmann, K., Owatari, M.S., Brum, A., Magnotti, C. (2025). Ultrasonography Is a Valuable Tool for Assisting in Marine Fish Reproduction: Applications in Brazilian Sardine (*Sardinella brasiliensis*) and Lebranche Mullet (*Mugil liza*). *Fishes* 10(7): 312. <https://doi.org/10.3390/FISHES10070312>
- Rajamani, A., Arun Bharadwaj, P., Hariharan, S., Ragavan, A.V., Hassan, A., Arvind, H., Huang, S. (2024). A historical timeline of the development and evolution of medical diagnostic ultrasonography. *Journal of Clinical Ultrasound* 52, 1419–1437. <https://doi.org/10.1002/JCU.23808>
- Shields, R.J., Davenport, J., Young, C., Smith, P.L. (1993). Oocyte maturation and ovulation in the Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.), examined using ultrasonography. *Aquac. Res.* 24, 181–186. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.1993.TB00539.X>
- Yari, Y., Naeve, I., Hammerdal, A., Masoy S.E., Voormolen, M.M. (2024). Automated Measurement of Ovary Development in Atlantic Salmon Using Deep Learning. *Ultrasound in Medicine & Biology* 50: 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.11.008>

Notatki